

ВЕСТНИК НГАУ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
VESTNIK NGAU NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY



№2(67)
2023

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский
государственный
аграрный
университет

Научный журнал

№ 2(67)2023

Н.Н. Кочнев
главный редактор,
доктор биологических наук,
профессор

Учредитель:
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
аграрный университет»

Основан
в декабре 2005 года

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи и массовых
коммуникаций

ПИ № ФС 77-35145
29.01.2009.

Материалы издания
выборочно включаются
в международные базы данных
Agris, Ulrich's Periodicals Directory

Электронная версия журнала
на сайте: www.elibrary.ru

Адрес редакции:
630039, г. Новосибирск,
ул. Добролюбова, 160, каб. 106
журнал «Вестник НГАУ»
(Новосибирский государственный
аграрный университет)
Телефоны: +7 (383) 264-23-62;
+7 (383) 264-25-46 (факс)
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Подписной индекс издания 94091

Тираж 500 экз.

Редакционный совет:

Рудой Е.В. – д-р экон. наук, чл.-корр. РАН., ректор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, председатель редакционной коллегии (Новосибирск, Россия)

Кочнев Н.Н. – д-р биол. наук, проф., главный редактор, профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Камалдинов Е.В. – д-р биол. наук, доцент, зам. главного редактора (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии:

Абрамов Н.В. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)

Беляев А.А. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой защиты растений ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Буджапов Л.В. – д-р биол. наук, директор БурНИИСХ СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Булашев А.К. – д-р вет. наук, профессор кафедры биотехнологии и микробиологии Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (Нур-Султан, Казахстан)

Бямбаа Б. – д-р вет. наук, академик Монгольской академии наук, президент Монгольской академии аграрных наук (Улан-Батор, Монголия)

Власенко Н.Г. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИИЗХ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Вышегуров С.Х. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой ботаники и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Галеев Р.Р. – д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Гамзиков Г.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник НИЧ ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Главендекич М.М. – д-р биотехн. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры Университета г. Белграда (Белград, Сербия)

Гончаров Н.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Добровотворская Н.И. – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Донченко А.С. – д-р вет. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (Новосибирск, Россия)

Донченко Н.А. – д-р вет. наук, чл.-корр. РАН, руководитель ИЗВСИДВ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Дубовский И.М. – д-р биол. наук, зав. лабораторией биологической защиты и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Жучаев К.В. – д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой разведения, кормления и частной зоотехнии, декан биолого-технологического факультета ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Кауфман О. – д-р аграр. наук, профессор Гумбольдтского университета, факультет естественных наук, Институт сельского хозяйства и садоводства им. Альбрехта Даниэля Тзера, почетный доктор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Берлин, Германия)

Кашеваров Н.И. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, руководитель СибНИИ кормов СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Коуржил Я. – Ph. D., профессор лаборатории искусственного размножения рыб и интенсивной аквакультуры факультета рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета (Чешские Будевеице, Чехия)

Кочетов А.В. – д-р биол. наук, акад. РАН, директор ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Магер С.Н. – д-р биол. наук, проф., руководитель СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Мейсснер Р. – д-р техн. наук, профессор кафедры управления водобеспечением, Институт сельскохозяйственных наук и проблем питания в Мартин-Лютер университете (Халле-Виттенберг, Германия)

Ноздрин Г.А. – д-р вет. наук, проф., профессор кафедры фармакологии и общей патологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Нургазиев Р.З. – д-р вет. наук, профессор, акад. НАН КР, ректор КНАУ им. К.И. Скрябина (Бишкек, Кыргызстан)

Петухов В.Л. – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Поповски З. – д-р аграр. наук, профессор кафедры биохимии и генной инженерии Университета Св. Кирилла и Мефодия (Скопье, Северная Македония)

Солошенко В.А. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шарков И.Н. – д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шейко И.П. – д-р с.-х. наук, акад. НАН Республики Беларусь, первый зам. ген. директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» (Жодино, Беларусь)

Технический редактор *Мищенко О.Н.*

Редактор *Коробкова Т.К.*

Компьютерная верстка *Колбин В.С.*

Переводчик *Рюмкина И.Н.*

Дата выхода в свет 14 июля 2023 г. Свободная цена.
Формат 60 × 84 1/8. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2610.

Отпечатано в ИЦ НГАУ «Золотой колос»
630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. +7 (383) 267-09-10. E-mail: 213-45-39@mail.ru

VESTNIK NGAU

**Novosibirsk
State
Agrarian
University**

Scientific journal

No. 2(67)2023

**H.H. Kochnev
Editor-in-Chief,
Doctor of Biological Sc.
Professor**

**The founder is Federal State
State-Funded
Educational Institution
of Higher Education
“Novosibirsk State
Agrarian University”**

**The journal is based
in December, 2005**

**The journal is registered in the Federal
Service for Supervision in the Sphere
of Communications, Information
Technologies and Mass Media
Certificate PI No. FS 77-35145
29.01.2009.**

**The materials are included
into the database Agris,
Ulrich's Periodicals Directory
on a selective basis**

**Russian Science
Citation Index**

**E-journal is found at:
www.elibrary.ru**

Address:
630039, Novosibirsk,
160 Dobrolyubova Str., office 106
VESTNIK NGAU
of Novosibirsk State Agrarian University
Tel: +7 (383) 264-23-62;
Fax: +7 (383) 264-25-46
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Subscription index is 94091

Circulation is 500 issues

Editors:

Rudoi E.V. – Dr. of Economic Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of NSAU, the Chairman of the Editorial Board, (Novosibirsk, Russia)
Kochnev N.N. – Doctor of Biological Sc., Professor, the Editor-in-Chief, Professor at the Chair of Veterinary Genetics and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Kamaldinov E.V. – Dr. of Biological Sc., Associate Professor, the Deputy of Editor-in-Chief, (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board:

Abramov N.V. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Soil Science and Agrochemistry at Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)
Beliaev A.A. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Plant Protection at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Budazhapov L.V. – Dr. of Biological Sc., the Head of Buryat Research Institute of Agriculture SD RAS (Ulan-Ude, Russia)
Bulashev A.K. – Doctor of Veterinary Sc., Professor at the Chair of Biotechnology and Microbiology at Seifulin Kazakh Agrotechnical University (Nur-Sultan, Kazakhstan)
Byambaa B. – Doctor of Veterinary Sc., Academician of the Academy of Sciences in Mongolia, President of Mongolian Academy of Agricultural Sciences (Ulaan Baator, Mongolia)
Vlasenko N.G. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Science, Senior Research Fellow, Siberian Research Institute of Farming and Agricultural Chemicalization (Novosibirsk, Russia)
Vyshegurov S.Kh. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Botany and Landscape Architecture at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Galeev R.R. – Dr. of Agricultural Sc., Professor of the Chair of Crop and Feed Production at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Gamzikov G.P. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Chief Research Fellow at the Department of Science and Research of Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Glavendekich M.M. – Dr. Biological Sc., Professor at the Chair of Landscape Architecture at the University of Belgrade (Belgrade, Serbia)
Goncharov N.P. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Research Institute of Cytology and Genetics (Novosibirsk, Russia)
Dobrotvorskaia N.I. – Dr. of Agricultural Sc., Leading Research Fellow at Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology RAS (Novosibirsk, Russia)
Donchenko A.S. – Dr. of Veterinary Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Siberian Federal Research Centre of Agriculture and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Donchenko N.A. – Dr. of Veterinary Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head at the Institute of Experimentally Veterinary Medicine of Siberia and Far East, at Siberian Federal Research Centre of Agriculture and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Dubovskii I.M. – Dr. of Biological Sc., the Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Zhuchayev K.V. – Dr. of Biological Sc., Professor, the Head of the Chair of Animal Husbandry, Dean of Biology-Technological Faculty at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Kaufmann O. – Doctor of Agricultural Sc., Professor at Humboldt University, Faculty of Life Sciences, Albrecht Daniel Thaer - Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Honorary Doctor of Novosibirsk State Agrarian University (Berlin, Germany)
Kashevarov N.I. – Dr. of Agricultural Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Head of Siberian Federal Research Institute of Feed SFSCA RAS (Novosibirsk, Russia)
Kouril Ja. – Ph. D., Professor of the Laboratory of Artificial Fish Propagation and Intensive Aquaculture at the Faculty of Fisheries and Protection of Waters at University of South Bohemia (Ceske Budejovice, Czech Republic)
Kochetov A.V. – Dr. of Biological Sc., Academician of the Russian Academy of Sciences, the Head of Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Mager S.N. – Dr. of Biological Sc., Professor, the Head of Siberian Research Institute of Animal Husbandry (Novosibirsk, Russia)
Meissner R. – Dr. of Technical Sc., Professor at the Department of Water Management, Institute of Agricultural Sciences and Nutrition at Martin Luther University (Halle-Wittenberg, Germany)
Nozdrin G.A. – Dr. of Veterinary Sc., Professor, Professor at the Chair of Pharmacology and General Pathology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Nurgaziev R.Z. – Dr. of Veterinary Sc., Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Rector of Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin (Bishkek, Kyrgyzstan)
Petukhov V.L. – Doctor of Biological Sc., Professor, Professor at the Chair of Veterinary Genetics and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Popowski Z. – Doctor of Agricultural Sc., Professor at the Chair of Biochemistry and Genetic Engineering at Ss. Cyril and Methodius University (Skopje, Northern Macedonia)
Soloshenko V.A. – Doctor of Agricultural Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Siberian Research Institute of Animal Husbandry (Novosibirsk, Russia)
Sharkov I.N. – Dr. of Biological Sc., the Head of Siberian Research Institute of Farming and Chemicalization Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology RAS (Novosibirsk, Russia)
Sheiko I.P. – Doctor of Agricultural Sc., Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Vice-Head of Animal Husbandry Research Institute at National Academy of Sciences of Belarus (Zhodino, Belarus)

Typing: *Mishchenko O.H.*
Editor *T.K. Korobkova*
Desktop publishing: *Kolbin V.S.*
Translator: *Ryumkina. I.N.*

Date of publication July 14 2023. Free price.
Size is 60 × 84 1/8. Volume contains 31,5 publ. sheets. Offset paper is used.
Typeface "Times New Roman" is used. Order no. 2610.

Printed in "Zolotoy Kolos" Publ. of Novosibirsk State Agrarian University
160 Dobrolyubova Str., office 106, 630039 Novosibirsk. Tel.: +7 (383) 267-09-10
E-mail: 2134539@mail.ru

АГРОНОМИЯ

Альберт М.А., Галеев Р.Р., Петров Д.Д., Ковалёв Е.А., Самохвалов К.А. Оптимизация производства сортов зерновых культур при использовании спутниковой навигационной системы в лесостепи Приобья.

Вышегуров С.Х., Беланова А.П., Пономаренко Н.В., Пальчикова Е.В., Иванова Н.В., Биктимирова Е.В. Специализированные объекты ландшафтной архитектуры города Новосибирска.

Габышева Н.С. Оценка зимостойкости гибридных форм смородины черной в Якутии.

Кибальник О.П. Изменчивость основных селекционных признаков ЦМС-линий сорго в зависимости от метеоусловий Саратовской области.

Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Стекловидность зерна и оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области.

Коробова Л.Н., Риксен В.С., Ломова Т.Г. Микробиологические параметры как показатель агрогенной трансформации солонца среднего кормовыми севооборотами.

Королева Е.В. Разнокачественность семян нового сорта *Clarkia amoena* Малиновая чаша на юге Западной Сибири.

Ложкин А.В., Маркова М.Г., Сомова Е.Н. Адаптация микрорастений сливы домашней (*Prunus domestica*) к условиям *in vivo*.

Омельянюк Л.В., Сидорик И.В., Асанов А.М. Результаты изучения сортов сои Омского АНЦ в Костанайской области Республики Казахстан.

Постников П.А., Масленина Н.В., Васина О.В., Тиханская Е.Л. Агротехнологическая оценка возделывания ярового ячменя в условиях Среднего Урала.

Сурначёв А.С., Мусинов К.К., Лихенко И.Е., Ермошкина Н.Н., Размахнин Е.П., Петрова А.А. Урожайность озимой мягкой пшеницы в зависимости от сроков посева в условиях лесостепи Западной Сибири.

Фотев Ю.В., Кукушкина Т.А., Казакова О.А., Сунь Цзяпин. Влияние режима закалки контрастными температурами на всходы новых для России теплолюбивых овощных культур.

Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Серкова Г.А. Новые биоудобрения в технологии возделывания яровых зерновых культур.

AGRONOMY

Albert M.A., Galeev R.R., Petrov D.D., Kovalev E.A., Samokhvalov K.A. Optimization of the production of varieties of grain crops using a satellite navigation system in the forest-steppe of the Priobye region. **5**

Vyshegurov S.Kh., Belanova A.P., Ponomarenko N.V., Palchikova E.V., Ivanova N.V., Biktimirova E.V. Specialized objects of landscape architecture of the city of Novosibirsk. **14**

Gabysheva N.S. Evaluation of winter harder of black currant hybrid forms in Yakutia. **26**

Kibalnik O.P. Variability of the main breeding traits of sorgho CMS lines depending on the weather conditions of the Saratov region. **35**

Kiryakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G. Vitreousity of grain and evaluation of the adaptive capability of spring hard wheat perspective lines in the conditions of the Omsk region. **44**

Korobova L.N., Rickson B.S., Lomova T.G. Microbiological parameters as an indicator of acrogenic transformation of medium solonetz by forage crop rotations. **51**

Koroleva E.V. Different quality of seeds of the new *Clarkia Amoena* raspberry bowl in the south of Western Siberia. **60**

Lozhkin A.V., Markova M.G., Somova E.N. Adaptation of plum home (*Prunus Domestica*) micro plants to *in vivo* conditions. **75**

Omelyanyuk L.V., Sidorik I.V., Asanov A.M. Results of the study of soybean varieties at Omsk agricultural research centre in the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan. **81**

Postnikov P.A., Maslenina N.V., Vasina O.V., Tikhanskaya E.L. Agrotechnological evaluation of spring barley cultivation in the conditions of the Middle Urals. **93**

Surnachev A.S., Musinov K.K., Likhenco, I.E., Ermoshkina N.N., Razmakhnin E.P., Petrova A.A. Yield of soft winter wheat depending on sowing time in forest-steppe conditions of Western Siberia. **104**

Fotev Yu.V., Kukushkina T.A., Kazakova O.A., Sun Jiaping Influence of hardening by contrast temperatures on the growth of new for Russia heat-loving vegetable crops. **114**

Sheshegova T.K., Shchekleina L.M., Serkova G.A. New bio fertilisers in culturing spring grain crops. **125**

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

Абрамова Н.И., Зенкова Н.В., Селимян М.О. Перспективы развития молочного скотоводства в Вологодской области.

VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES

Abramova N.I., Zenkova, N.V., Selimyan M.O. Dairy cattle development prospects in the Vologda region. **133**

Белова С.Н., Плешков В.А. Продуктивное долголетие коров в зависимости от способа содержания.	Belova S.N., Pleshkov V.A. The productive longevity of cows depends on the livestock-keeping method.	142
Богданова О.В., Камалдинов Е.В., Куликова С.Г., Гарт В.В., Петров А.Ф., Нарожных К.Н., Жигулин Т.А. Научно-теоретическое обоснование системы совершенствования селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве Новосибирской области.	Bogdanova O.V., Kamaldinov E.V., Kulikova S.G., Garth V.V., Petrov A.F., Narozhnykh K.N., Zhigulin T.A. Scientific and theoretical substantiation of the system of improving selection and breeding work in dairy cattle breeding in the Novosibirsk region.	148
Габидулин В.М. Характеристика генеалогической структуры стада маток абердин-ангусской породы по группам крови и ДНК-маркеру CASTUOGC282G.	Gabidulin V.M. Characteristics of the genealogical structure of the herd of Aberdeen-Angus breed by blood types and DNA marker CASTUOGC282G.	156
Горб Н.Н., Смертина Е.Ю., Мерк А.В., Сороколетова В.М., Лазарева М.В. Резистентность к антимикробным средствам микрофлоры, выделяемой при остром послеродовом эндометрите у коров.	Gorb N.N., Smertina E.Yu., Merck A.V., Sorokoletova V.M., Lazareva M.V. Resistance to antimicrobials of the microflora extracted in acute postpartum endometritis in cows.	163
Зайко О.А., Коновалова Т.В., Глущенко Е.Е., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Себежко О.И. Особенности аккумуляции и изменчивости стабильного стронция в некоторых органах и тканях свиней породы ландрас.	Zaiko O.A., Konovalova T.V., Glushchenko E.E., Korotkevich O.S., O.C., Petukhov V.L., O.I. Sebezshko O.I. Features of accumulation and variability of stable strontium in some organs and tissues of landrace pigs.	170
Зубова Т.В., Плешков В.А., Смоловская О.В., Семечкова А.В. Биохимические и морфологические показатели крови коров с субклинической формой мастита.	Zubova T.V., Pleshkov V.A., Smolovskaya O.V., Semechkova A.V. Biochemical and morphological indicators of the blood of cows with the subclinical form of mastitis.	181
Казанцев Д.А. Оценка метаболического профиля маралов-рогачей алтае-саянской породы.	Kazantsev D.A. Assessment of the metabolic profile of the Altai-Sayan breed.	190
Климанова Е.А., Коновалова Т.В. Полиморфизм локуса BMP-15 у овец романовской породы в условиях Западной Сибири.	Klimanova E.A., Konovalova T.V. Polymorphism of the BMP-15 locus in Romanov sheep in Western Siberia.	197
Колесникович К.В., Красочко П.П. Динамика иммунного ответа у лабораторных животных на введение протективного белка возбудителя респираторно-синцитиальной инфекции крупного рогатого скота.	Kolesnikovich K.V., Krasochko P.P. Dynamics of the immune response in laboratory animals to introducing a protective protein of the cause of respiratory syncytial infection in cattle.	205
Линник В.С., Косов В.А. Эффективность различных способов обсушивания новорожденных телят.	Linnik V.S., Kosov V.A. Efficiency of different drying methods for newborn calves.	211
Малков С.В., Красноперов А.С., Опарина О.Ю., Белоусов А.И., Вершинина И.Ю. Токсикологические исследования добавки кормовой Эндофорс Мульти на лабораторных животных.	Malkov S.V., Krasnoperov A.S., Oparina O.Yu., Belousov A.I., Vershinina I.Yu. Toxicological studies of additives feed endoforce multi on laboratory animals.	220
Петрова Н.С., Глебов В.В. Результаты ультразвукового исследования хронической болезни почек домашних кошек на территории столичного мегаполиса.	Petrova N.S., Glebov V.V. Results of the ultrasonic study of chronic kidney disease in domestic cats in the territory of the capital megapolis.	229
Себежко О.И., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Себежко А.Н., Зайко О.А., Тарасенко Е.И. Межпородные различия показателей холестерина профиля у крупного рогатого скота в Западной Сибири.	Sebezshko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L. Sebezshko A.N., Zaiko O.A., Tarasenko E.I. Interbreed differences in the cholesterol profile in cattle in Western Siberia.	237
Урядова Г.Т., Фокина Н.А., Поддубная И.В., Карпунина Л.В., Гуркина О.А., Руднева О.Н., Кудряшова Е.В., Злотников И.Д. Влияние комплекса хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином на микрофлору ран и толстого кишечника осетра.	Uryadova G.T., Fokina N.A., Poddubnaya I.V., Karpunina L.V. Gurkina O.A., Rudneva O.N., Kudryashova E.V., Zlotnikov I.D. Influence of the complex of chitosan-β-cyclodextrin with levofloxacin on the wounds' microflora and the Sturgeon's colon intestine.	251

АГРОНОМИЯ

DOI 10.31677/2072-6724-2023-67-2-5-13

УДК 63316:631.583

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
В ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ****М.А. Альберт**, заместитель директора ЗАО Племязавод «Ирмень»**Р.Р. Галеев**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**Д.Д. Петров**, аспирант**Е.А. Ковалёв**, аспирант**К.А. Самохвалов**, студент*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия***E-mail:** rastniev@mail.ru

Ключевые слова: сорт, рост и развитие, зерновые культуры, урожайность, структура урожая, качество зерна.

Реферат. Приведены результаты комплексных опытов по изучению эффективности применения геоинформационных технологий на зерновых культурах ЗАО Племязавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области, расположенного в зоне лесостепи Западной Сибири. Сорта мягкой яровой пшеницы, ярового ячменя и овса предъявляют повышенные требования к факторам внешней среды, и для них характерна большая изменчивость. Использование современных систем спутниковой навигации позволяет повысить урожайность и качество основных зерновых культур в зоне рискованного земледелия Западной Сибири. Цель исследований основывается на оптимизации технологии возделывания зерновых культур с использованием спутниковой навигационной системы. Исследования проведены в 2020–2022 гг. в почвенно-климатической зоне дренированной лесостепи, входящей в северную лесостепь предгорий Приобья. Почва опытных участков – чернозём выщелоченный с содержанием гумуса 6,18%, валового азота – 0,34, фосфора – 0,22 и калия – 1,23%. Содержание легкогидролизуемого азота равно 10,8, подвижного фосфора – 21,9 и обменного калия – 19,8 мг/100г почвы при pH 6,57. В опытах использовали сорта яровой мягкой пшеницы Ликамеро, ярового ячменя Паустиан и овса Ровесник. Рассчитаны уравнения регрессии между урожайностью, суммой запасов продуктивной влаги и осадками в межфазные периоды разных сортов зерновых культур. Отмечены параметры корреляции по каждому межфазному периоду. Выявлена зависимость урожайности от суммы осадков по межфазным периодам зерновых культур. Определена роль геоинформационных технологий в повышении урожайности и качества зерна яровой пшеницы, ярового ячменя и овса.

**OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION OF VARIETIES OF GRAIN CROPS USING
A SATELLITE NAVIGATION SYSTEM IN THE FOREST-STEPPE OF THE PRIOBYE
REGION****M.A. Albert**, Deputy Director of CJSC stud farm "Irmen"**R.R. Galeev**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor**D.D. Petrov**, PhD student**E.A. Kovalev**, PhD student**K.A. Samokhvalov**, student*Novosibirsk State Agrarian University***E-mail:** rastniev@mail.ru

Keywords: variety, growth and development, grain crops, yield, yield structure, grain quality..

Abstract. The results of complex experiments on studying the effectiveness of the use of geoinformation technologies on grain crops of CJSC breeding farm "Irmen" of the Ordinsky district of the Novosibirsk region,

which is part of the drained forest-steppe of Western Siberia, are presented. Varieties of soft spring wheat, spring barley and oats place increased demands on environmental factors and are characterized by high variability. The use and implementation of modern satellite navigation systems makes it possible to increase the yield and quality of the main grain crops in the zone of risky farming in Western Siberia. The purpose of the research is based on optimizing the technology of growing grain crops using a satellite navigation system in the forest-steppe of Western Siberia. The studies were carried out in 2019–2022. in the soil-climatic zone of drained forest-steppe, which is part of the northern forest-steppe of the foothills of the Ob. The soil of the experimental plots is leached chernozem with a humus content of 6.18%, gross nitrogen - 0.34, phosphorus - 0.22 and potassium - 1.23%. The content of easily hydrolysable nitrogen is 10.8, mobile phosphorus 21.9 and exchangeable potassium 19.8 mg/100 g of soil at pH 6.57. In the experiments we used a variety of spring soft wheat Likamero, spring barley Paustian and oat Rovesnik. The paper establishes regression equations between the yield and the sum of productive moisture reserves and precipitation in the interphase periods of different varieties of grain crops. Correlation parameters for each interphase period are marked. The dependence of the yield on the amount of precipitation for the interphase periods of grain crops was revealed. The role of geoinformation technologies in increasing the yield and quality of grain of spring wheat, spring barley and oats is determined.

Зерновые культуры являются основным компонентом растениеводства. Современная технология их производства базируется на использовании инновационных сортов интенсивного типа; оптимальном чередовании культур; дифференцированной обработке почвы; системе удобрений с учётом эффективного плодородия почвы, коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений, выноса их с урожаем, а также системе интегрированной защиты растений от вредных организмов и оптимизации сроков уборки [1–5]. Работами ряда учёных показано, что современное растениеводство зависит как от факторов внешней среды, так и от зоны возделывания, но на 42–58% находится в зависимости от технологического оснащения хозяйства [6–8].

Особую значимость имеет выработка путей усиления взаимодействия технологических компонентов с разными факторами внешней среды для повышения урожайности зерновых культур [9–11]. Необходимым резервом для внедрения геоинформационных технологий является создание комплексной адаптированной технологии, направленной на оптимизацию использования почвенно-климатических факторов с учётом повышения плодородия почвы [12–14].

Внедрение инновационных технологий позволяет достичь высокой степени интенсификации производства зерновой продукции [15–16].

Цель исследований заключалась в оптимизации возделывания зерновых культур на основе использования спутниковой навигационной системы в лесостепи Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2019–2022 гг. в почвенно-климатической зоне дренированной лесостепи, входящей в северную лесостепь предгорий Приобья.

Почва опытных участков представлена чернозёмом выщелоченным (слабовыщелоченный имеет небольшую долю). Почва места проведения исследований содержала гумуса в среднем, 6,14% (среднегумусные чернозёмы), валового азота – 0,34, фосфора – 0,22 и калия – 1,23%. Содержание легкогидролизуемого азота составило 10,8 мг/100 г почвы, подвижного фосфора – 21,9 и обменного калия – 19,8 мг/100 г при pH 6,57.

По метеорологическим условиям 2019 г. характеризовался достаточным увлажнением в июле и августе при дефиците влаги в мае и начале июля. В 2020 г. параметры были на уровне среднемноголетних данных по теплу и влагообеспеченности. В 2021 г. имел место недобор тепла в мае и первой половине июня при дефиците тепла в мае и начале июня с недостатком осадков в этот период. В июне и августе условия были близки к среднемноголетним. В 2022 г. отсутствовали весенние заморозки и обеспеченность теплом и влагой была близкой к норме.

В опытах изучали особенности роста и развития сортов яровой мягкой пшеницы Ликамеро, ярового ячменя Паустиан и овса Ровесник. Учётная площадь делянки – 100 м², повторность – четырехкратная, размещение – рендомизированное. Биометрические наблюдения выполняли по методике государственного сортоиспытания [17]. Фотосинтетические параметры оценивали по методике А.А. Ничипоровича [18]. Показатели качества зерна определяли по методическим указаниям М.Н.

Решетникова [19]. Статистическая обработка данных осуществлялась по Б.А. Доспехову с использованием пакета прикладных программ SNEDECOR [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опытах 2019–2022 гг. в условиях почвенно-климатической зоны дренированной северной лесостепи предгорий Приобья изучены особенности роста и развития растений яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро, ярового ячменя Паустиан и овса Ровесник. На основе многолетних данных определены уравнения регрессии зависимости урожайности от суммы осадков по межфазным периодам с установлением коэффициента корреляции и его ошибки.

Наибольшая достоверная сильная корреляционная связь отмечена у яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро в межфазный пе-

риод выхода в трубку – колошения с коэффициентом корреляции $r = 0,812 \pm 0,224$ и в фазу кущения – выхода в трубку – $0,782 \pm 0,240$, а также в фазу колошения – молочной спелости зерна – $0,751 \pm 0,248$ (табл. 1).

В опытах с ячменём сорта Паустиан также высокие параметры корреляции урожайности и суммы осадков определены в межфазный период кущения – выхода в трубку с $r = 0,836 \pm 0,212$, выхода в трубку – колошения – $0,792 \pm 0,219$. Недостоверной корреляция была в межфазные периоды посева – всходов; молочной – восковой спелости и восковой – полной спелости.

В опытах с овсом сильная достоверная корреляция между урожайностью и суммой осадков установлена в фазы всходов – кущения, кущения – выхода в трубку, выхода в трубку – выметывания и в фазу молочной – восковой спелости.

Таблица 1

Зависимость урожайности (y) от суммы осадков (x) по межфазным периодам зерновых культур
Dependence of yield (y) on the amount of precipitation (x) for interphase periods of grain crops

Межфазный период	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r) и его ошибка (Sr)
1	2	3
<i>Яровая мягкая пшеница Ликамеро</i>		
Посев – всходы	$y = 0,07x + 1,98$	$0,593 \pm 0,293$
Всходы – кущение	$y = 0,06x + 2,83$	$0,671 \pm 0,252$
Кущение – выход в трубку	$y = 0,04x + 1,87$	$0,782^* \pm 0,241$
Выход в трубку – колошение	$y = 0,05x + 2,26$	$0,812^* \pm 0,224$
Колошение – молочная спелость	$y = 0,08x + 2,34$	$0,751^* \pm 0,248$
Молочная спелость – восковая спелость	$y = 0,4x + 1,98$	$0,713^* \pm 0,254$
Восковая спелость – полная спелость	$y = 0,01x + 3,05$	$0,645^* \pm 0,242$
Посев – полная спелость	$y = 0,03x + 2,76$	$0,752^* \pm 0,223$
<i>Яровой ячмень Паустиан</i>		
Посев – всходы	$y = 0,04x + 2,38$	$0,612 \pm 0,286$
Всходы – кущение	$y = 0,06x + 1,96$	$0,707^* \pm 0,258$
Кущение – выход в трубку	$y = 0,07x + 2,97$	$0,836^* \pm 0,212$
Выход в трубку – колошение	$y = 0,05x + 2,16$	$0,792^* \pm 0,219$
Колошение – молочная спелость	$y = 0,02x + 1,98$	$0,682^* \pm 0,247$
Молочная спелость – восковая спелость	$y = 0,05x + 2,67$	$0,514 \pm 0,319$
Восковая спелость – полная спелость	$y = 0,07x + 2,76$	$0,532 \pm 0,301$

1	2	3
Посев – полная спелость	$y = 0,04x + 3,10$	$0,739 \pm 0,264$
<i>Овёс Ровесник</i>		
Посев – всходы	$y = 0,03x + 1,72$	$0,693 \pm 0,247$
Всходы – кушение	$y = 0,06x + 2,43$	$0,851^* \pm 0,196$
Кушение – выход в трубку	$y = 0,07x + 1,98$	$0,762^* \pm 0,249$
Выход в трубку – выметывание	$y = 0,06x + 2,53$	$0,721^* \pm 0,248$
Выметывание – молочная спелость	$y = 0,02x + 2,76$	$0,784^* \pm 0,239$
Молочная – восковая спелость	$y = 0,03x + 1,93$	$0,841^* \pm 0,196$
Восковая – полная спелость	$y = 0,05x + 2,68$	$0,623 \pm 0,247$
Посев – полная спелость	$y = 0,03x + 2,13$	$0,752^* \pm 0,248$

*Достоверность при 5%-м уровне значимости.

Наряду с этим нами определялась зависимость урожайности от суммы запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (0–100 см) и осадков по межфазным периодам зерновых культур. Показано, что наибольшая достоверная корреляция между указанными показателями у яровой пшеницы выявлена в межфазный период выхода в трубку – колошения с $r = 0,861 \pm 0,199$ и в период кушения – выхода в трубку с

$r = 0,758 \pm 0,244$ при 5%-м уровне значимости (табл. 2).

У ярового ячменя Паустиан максимальная зависимость между этими показателями также отмечена в фазы кушения – выхода в трубку и выхода в трубку – колошения – соответственно $0,805 \pm 0,207$ и $0,763 \pm 0,249$. Недостоверная корреляция наблюдалась в межфазный период посева – всходов, колошения – молочной спелости, восковой – полной спелости.

Таблица 2

Зависимость урожайности (y) от суммы запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (0–100 см) и осадков по межфазным периодам зерновых культур (x)
Dependence of productivity (y) on the sum of reserves of productive moisture in a meter layer of soil (0–100 cm) and precipitation for interphase periods of grain crops (x)

Межфазный период	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r) и его ошибка (Sr)
1	2	3
<i>Яровая пшеница Ликамеро</i>		
Посев – всходы	$y = 0,06x + 2,21$	$0,498 \pm 0,321$
Всходы – кушение	$y = 0,04x + 2,73$	$0,596 \pm 0,292$
Кушение – выход в трубку	$y = 0,05x + 2,48$	$0,758^* \pm 0,244$
Выход в трубку – колошение	$y = 0,08x + 1,97$	$0,861^* \pm 0,199$
Колошение – молочная спелость	$y = 0,04x + 2,93$	$0,747^* \pm 0,242$
Молочная спелость – восковая спелость	$y = 0,01x + 3,24$	$0,708^* \pm 0,296$
Восковая – полная спелость	$y = 0,03x + 2,78$	$0,575 \pm 0,299$
Посев – полная спелость	$y = 0,05x + 2,42$	$0,734^* \pm 0,267$

1	2	3
<i>Яровой ячмень Паустиан</i>		
Посев – всходы	$y = 0,02x + 2,66$	$0,576 \pm 0,291$
Всходы – кушение	$y = 0,05x + 3,76$	$0,727^* \pm 0,252$
Кушение – выход в трубку	$y = 0,03x + 3,92$	$0,805^* \pm 0,207$
Выход в трубку – колошение	$y = 0,07x + 3,62$	$0,763^* \pm 0,249$
Колошение – молочная спелость	$y = 0,04x + 2,86$	$0,714 \pm 0,242$
Молочная спелость – восковая спелость	$y = 0,05x + 3,52$	$0,723^* \pm 0,247$
Восковая – полная спелость	$y = 0,07x + 2,93$	$0,585 \pm 0,289$
Посев – полная спелость	$y = 0,06x + 3,51$	$0,729^* \pm 0,251$
<i>Овёс Ровесник</i>		
Кушение – всходы	$y = 5,28 - 0,06x$	$0,598 \pm 0,293$
Всходы – кушение	$y = 4,87 - 0,02x$	$0,762^* \pm 0,249$
Кушение – выход в трубку	$y = 6,13 + 0,03x$	$0,739^* \pm 0,249$
Выход в трубку – выметывание	$y = 5,87 + 0,04x$	$0,748^* \pm 0,234$
Выметывание – молочная спелость	$y = 4,89 - 0,02x$	$0,697 \pm 0,244$
Молочная – восковая спелость	$y = 5,62 - 0,01x$	$0,705^* \pm 0,240$
Восковая – полная спелость	$y = 3,98 + 0,09x$	$0,526 \pm 0,302$
Посев – полная спелость	$y = 3,78 + 0,06x$	$0,743^* \pm 0,236$

*Достоверность при 5%-м уровне значимости.

При определении структуры урожая зерновых культур, возделываемых по традиционной и геоинформационной технологиям, показано, что у яровой мягкой пшеницы сорта Ликамеро все элементы структуры урожая были выше на фоне геоинформационной технологии производства: по числу растений на 1 м^2 – на 5%, массе зерен с одного растения – на 7, массе 1000 зёрен – на 13, продуктивной кустистости – на 19, числу колосков в зерне – на 18, числу зерен в колосе – на 21% (табл. 3). Наибольшая вариация показателей отмечена по числу растений – 23%, продуктивной кустистости – 22,6 при наименьшей – 11,4% по массе 1000 зерен (средняя изменчивость).

У ярового ячменя сорта Паустиан также все изученные показатели структуры урожая

были выше при использовании геоинформационных технологий возделывания: по числу растений на 1 м^2 – на 4%, массе зерен с одного растения – на 7, массе 1000 зерен – на 13, продуктивной кустистости – на 17, числу колосков в колосе – на 8 и числу зерен в колосе – на 9%. Максимальная изменчивость наблюдалась по продуктивной кустистости и числу зерен в колосе – до 24,3%.

У овса сорта Ровесник максимальная корреляция наблюдалась в период всходов – кушения – $0,762 \pm 0,249$, кушения – выхода в трубку – $0,739 \pm 0,249$ и выхода в трубку – выметывания – $0,748 \pm 0,234$. Уравнение регрессии межфазного периода посев – полная спелость: $y = 3,78 + 0,06x$ при $r \pm Sr = 0,743 \pm 0,236$.

Таблица 3

Структура урожая зерновых культур при разной технологии возделывания (среднее за 2019–2022 гг.)
The structure of grain crops yield with different cultivation technologies (average for 2019–2022)

Культура, сорт	Число растений на 1 м ²		Масса зерен с одного растения		Масса 1000 зёрен		Продуктивная кустистость		Число колосков в колосе		Число зерен в колосе	
	шт.	V, %	г	V, %	г	V, %	шт.	V, %	шт.	V, %	шт.	V, %
Яровая мягкая пшеница Ликамеро	793	23,6	5,62	15,3	51,3	12,3	3,3	22,6	12,2	18,5	32,4	19,8
	828	21,4	6,02	16,2	56,7	11,4	3,9	20,3	14,3	20,1	39,3	14,5
Яровой ячмень Паустиан	745	21,8	3,96	12,8	51,3	18,6	4,2	24,3	13,8	17,8	18,2	21,6
	772	19,5	4,37	19,5	56,7	15,9	4,9	19,9	15,2	19,6	19,7	17,5
Овёс Ровесник	676	24,2	1,14	17,6	39,2	18,3	1,2	26,2	28,5	21,3	25,3	19,4
	727	21,6	1,27	19,8	41,6	24,5	1,3	23,8	32,4	22,6	29,2	15,6
НСР ₀₅	10,5		0,12		2,34		0,29		1,37		1,13	

Примечание. В числителе – при традиционной технологии (контроль), в знаменателе – при использовании геоинформационной технологии; V% – коэффициент вариации.

У овса на фоне геоинформационных технологий элементы структуры урожая также были выше в сравнении с традиционной технологией возделывания. По числу растений превышение составило в среднем 8%, массе зерен с одного растения – 14, массе 1000 зерен – 7, продуктивной кустистости – 27, числу зерновок в метелке – 19 и числу зерен в метелке – 16%. Максимальная вариабельность признаков отмечена по числу растений на 1 м² и продуктивной кустистости – до 26,2%.

Корреляционный анализ зависимости продуктивности зерновых культур от элементов структуры урожая показал, что у яровой пшеницы сорта Ликамеро наибольшая корреляция наблюдается по массе зёрен с одного растения – до 0,90 и числу растений на 1 м² – до 0,88. У ярового ячменя сорта Паустиан корреляция была выше по массе зёрен с одного растения и числу зерен в колосе – на уровне 0,80 при 5%-м уровне значимости (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между урожайностью и элементами структуры урожая
(среднее за 2019–2022 гг.)

Correlation coefficients between yield and crop structure elements (average for 2019–2022)

Культура, сорт	Масса зерен с 1 растения	Масса 1000 зерен	Продуктивная кустистость	Число колосков в колосе	Число зерен в колосе	Число растений на 1 м ²
Яровая мягкая пшеница Ликамеро	0,88 *	0,74 *	0,68 *	0,64	0,75 *	0,86 *
	0,90 *	0,70 *	0,76 *	0,56	0,79 *	0,88 *
Яровой ячмень Паустиан	0,84 *	0,77 *	0,73 *	0,72 *	0,79 *	0,73
	0,83 *	0,80 *	0,77 *	0,76 *	0,78 *	0,67

Примечание. В числителе – на фоне традиционной технологии, в знаменателе – на фоне геоинформационной технологии.

* Значимо при 5%-м уровне.

При изучении зависимости химического состава зерна от технологии возделывания зерновых культур установлено, что в целом на фоне геоинформационных технологий показатели качества зерна были выше, в особенности по содержанию белка, крахмала, клетчатки и жиров. У яровой мягкой пшеницы

сорта Ликамеро на фоне геоинформационной технологии содержание белка повышалось на 11%, ярового ячменя – на 8 и овса – на 12%. Крахмала на фоне геоинформационных технологий в зерне пшеницы было больше на 11, ячменя – на 7 и овса – на 13% (табл. 5).

Таблица 5

Химический состав зерна в зависимости от технологии возделывания
(среднее за 2019–2022 гг.), % к сухой массе

Chemical composition of grain depending on cultivation technology (average for 2019–2022), % of dry weight

Культура, сорт	Технология	Белок	Крахмал	БЭВ	Жир	Клетчатка	Сахара	Пентозаны	Зола
Яровая мягкая пшеница Ликамеро	Контроль	13,3	52,5	70,2	1,82	2,2	4,2	7,6	2,1
	Геоинформационная	14,8	58,3	70,7	1,93	2,6	4,2	7,9	2,2
Яровой ячмень Паустиан	Контроль	11,2	51,2	67,8	1,95	5,3	3,7	10,3	3,0
	Геоинформационная	12,0	53,8	69,1	2,04	5,2	3,9	10,8	3,3
Овёс Ровесник	Контроль	10,6	38,7	56,7	4,6	12,6	1,6	12,7	3,4
	Геоинформационная	11,8	43,6	57,5	5,1	13,7	1,5	12,6	3,6
НСП ₀₅		0,23	2,14	0,63	0,32	0,18	0,27	1,56	0,12

На фоне геоинформационных технологий возрастали и технологические качества зерна пшеницы сорта Ликамеро (табл. 6): увеличива-

лось содержание сырой клейковины – на 3,8%, натура – на 11 г/л и стекловидность – на 6%.

Таблица 6

Технологические качества зерна при разной технологии производства. (среднее за 2019 – 2022 гг.)
Technological qualities of grain with different production technologies. (average for 2019 – 2022)

Культура, сорт	Технология	Белок, %	Масса 1000 зерен, г	Сырая клейковина, %	Натура, г/л	Стекловидность, %
Яровая мягкая пшеница сорт Ликамеро	Контроль	13,2	51,3	28,4	747	79
	Геоинформационная	14,6	56,7	32,2	758	85
Яровой ячмень сорт Паустиан	Контроль	11,0	51,3	–	–	–
	Геоинформационная	11,7	56,7	–	–	–
Овес сорт Ровесник	Контроль	10,3	39,2	–	–	–
	Геоинформационная	11,5	41,6	–	–	–
НСП ₀₅		0,26	3,28	1,63	3,94	2,88

ВЫВОДЫ

1. Установлены уравнения регрессии между урожайностью и суммой запасов продуктивной влаги и осадками в межфазные периоды разных сортов зерновых культур. Показаны параметры корреляции по каждому межфазному периоду. Отмечена зависимость урожайности от суммы осадков по межфазным периодам зерновых культур.

2. Показатели структуры урожая при использовании геоинформационных технологий превышали параметры традиционной технологии по массе зерен с одного растения на 17% на

фоне более высокой продуктивной кустиности и числа колосков и зерен в колосе.

3. Достоверная сильная корреляция выявлена по массе 1000 зерен и продуктивной кустиности у яровой пшеницы сорта Ликамеро и ячменя Паустиан.

4. На фоне применения спутниковой навигационной системы отмечено увеличение содержания белка на 1,4%, сырой клейковины – до 4% и стекловидности зерна – на 6%. Соотношение сырой клейковины и белка равно 2,2. Концентрация белка в ячмене сорта Паустиан повышается на 0,7%, а в зерне овса белковость увеличивается на 1,2%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалёв Е.А. Совершенствование технологии дифференцированного внесения удобрений в лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет) – 2022. – № 2 (63). – С. 4–10.
2. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалёв Е.А. Эффективность применения гуминатина на зерновых культурах в лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет) – 2022. – № 1 (62). – С. 7–13.
3. Особенности использования инновационных регуляторов роста при возделывании картофеля и сои в лесостепи Приобья / М.А. Альберт, А.Ф. Петров, Р.Р. Галеев, М.С. Шульга., Е.А. Ковалёв // Инновации и продовольственная безопасность – 2022. – № 2 (36). – С. 45–51.
4. Алтухов А.И. Стратегия развития зернопродуктивного подкомплекса – основа разработки схемы размещения и специализации зернового производства в стране // Вестник Курской ГСХА. – 2018. – № 5. – С. 146–152.
5. Афанасьев Р.А. Агрохимические аспекты точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. – 2010. – № 2. – С. 38–43.
6. Денисов К.Е., Петров К.А., Григорьев Н.С. Повышение экономической эффективности растениеводства на основе дифференцированного внесения удобрений в системе точного земледелия // Наука вчера, сегодня, завтра. – 2016. – № 5 (27). – С. 72–76.
7. Галеев Р.Р. Особенности производства зерновых культур в адаптивном земледелии Западной Сибири. – Новосибирск: Ритм, 2006. – 232 с.
8. Галеев Р.Р., Мартенков Н.М. Интенсификация производства зерновых культур в Западной Сибири. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2010. – 169 с.
9. Галеев Р.Р. Производство зерновых культур в степной зоне Кулунды. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2012. – 169 с.
10. Петров А.Ф., Митракова А.Г. Использование ГИС-технологии в агрономии. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 192 с.
11. Галеев Р.Р. Программирование урожая сельскохозяйственных культур: метод. рекомендации. – Новосибирск, 2016. – 192 с.
12. Альберт М.А., Галеев Р.Р., Яковлев М.А. Особенности применения элементов точного земледелия в ЗАО Племзавод «Ирмень» // Актуальные проблемы АПК: сб. науч. тр. Новосиб. ГАУ. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 111–125.
13. Эффективность точного земледелия на выщелоченном черноземе Воронежской области / В.И. Корчагин, Ю.Л. Кошелев, Н.Г. Мизин [и др.] // Вестник Воронежского ГАУ. – 2016. – № 1 (48). – С. 17–23.
14. Ступина Л.А. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от элементов плодородия серых лесных почв // Вестник Алтайского ГАУ. – 2013. – № 8 (106). – С. 10–13.

15. Shi Y., Zhu Y., Wang X. Progress and development on biological information of crop phenotype research applied to real-time variable-rate fertilization // *Plant Methods*. – 2020. – N 16. – P. 11.
16. Calaco A.F., Molin J.P. Variable rate fertilization in citrus: a long term study // *Precision Agriculture*. – 2017. – N 18. – P. 219–241.
17. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. – М.: Сельхозиздат, 1989. – 262 с.
18. Ничипорович А.А. Фотосинтез и урожай. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 289 с.
19. Решетников М.Н. Методические указания по определению качества зерновых культур. – Рязань: Юпитер, 2016. – 89 с.
20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Альянс, 2014. – 385 с.

REFERENCES

1. Albert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 2 (63), pp. 4–10. (In Russ.)
2. Albert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 1 (62), pp. 7–13. (In Russ.)
3. Albert M.A., Petrov A.F., Galeev R.R., Shulga M.S., Kovalev E.A., *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*, 2022, No. 2 (36), pp. 45–51. (In Russ.)
4. Altukhov A.I., *Vestnik Kurskoj GSHA*. – 2018. – No. 5. – S. 146–152. (In Russ.)
5. Afanasiev R.A., *Problemy agrohimii i jekologii*, 2010, No. 2, pp. 38–43. (In Russ.)
6. Denisov K.E., Petrov K.A., Grigoriev N.S., *Nauka vchera, segodnja, zavtra*, 2016, No. 5 (27), pp. 72–76. (In Russ.)
7. Galeev R.R., *Osobennosti proizvodstva zernovykh kul'tur v adaptivnom zemledelii Zapadnoj Sibiri* (Features of the production of grain crops in adaptive agriculture in Western Siberia), Novosibirsk: Rhythm, 2006, 232 p.
8. Galeev R.R., Martenkov N.M., *Intensifikacija proizvodstva zernovykh kul'tur v Zapadnoj Sibiri* (Intensification of grain production in Western Siberia), Novosibirsk: Agro-Siberia, 2010, 169 p.
9. Galeev R.R., *Proizvodstvo zernovykh kul'tur v stepnoj zone Kulundy* (Production of grain crops in the steppe zone of Kulunda), Novosibirsk: Agro-Siberia, 2012, 169 p.
10. Petrov A.F., Mitrakova A.G., *Ispol'zovaniye GIS-tekhnologii v agronomii* (The use of GIS technology in agronomy), Novosibirsk: ITs NSAU "Golden Ear", 192 p.
11. Galeev R.R., *Programmirovaniye urozhaja sel'skokhozyajstvennykh kul'tur* (Crop yield programming: a method) Recommendations, Novosibirsk, 2016, 192 p.
12. Albert M.A., Galeev R.R., Yakovlev M.A., *Aktual'nye problemy APK* (Actual problems of the agro-industrial complex), coll. scientific Tr. Novosib. GAU, Novosibirsk: IC "Golden Ear", 2021, pp. 111–125. (In Russ.)
13. Korchagin V.I., Koshelev Yu.L., Mizin N.G. [i dr.], *Vestnik Voronezhskogo GAU*, 2016, No. 1 (48), pp. 17–23. (In Russ.)
14. Stupina L.A., *Vestnik Altajskogo GAU*, 2013, No. 8 (106), pp. 10–13. (In Russ.)
15. Shi Y., Zhu Y., Wang X., Progress and development on biological information of crop phenotype research applied to real-time variable-rate fertilization, *Plant Methods*, 2020, No. 16, pp. 11.
16. Calaco A.F., Molin J.P., Variable rate fertilization in citrus: a long term study, *Precision Agriculture*, 2017, No. 18, pp. 219–241.
17. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* (Methods of state variety testing of agricultural crops), Moscow: Selkhozizdat, 1989, 262 p.
18. Nichiporovich A.A., *Fotosintez i urozhaj* (Photosynthesis and harvest), Moscow: Selkhozizdat, 1961, 289 p.
19. Reshetnikov M.N., *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju kachestva zernovykh kul'tur* (Guidelines for determining the quality of grain crops), Ryazan: Jupiter, 2016, 89 p.
20. Dosphehov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methods of field experience), Moscow: Alliance, 2014, 385 p.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ОБЪЕКТЫ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

¹С.Х. Вышегуров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²А.П. Беланова, кандидат биологических наук

¹Н.В. Пономаренко, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Е.В. Пальчикова, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Н.В. Иванова, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Е.В. Биктимирова, преподаватель

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: n-ponomarenko@yandex.ru

Ключевые слова: ландшафтная архитектура, специализированные объекты, интеграция, городское озеленение, парки и скверы, древесные растения.

Реферат. На сегодняшний день современный крупный город невозможно представить без системы специализированных ландшафтных объектов. Они относятся к группе объектов общественного назначения, функциональная особенность которых формируется, как правило, под давлением культурно-социальной и исторической среды города. Наличие таких объектов обеспечивает широкий выбор рекреационной деятельности и способствует многогранному развитию личности посетителей. В статье приводится разработанная авторами методика по оценке привлекательности и интегрированности в систему городского озеленения специализированных объектов ландшафтной архитектуры Новосибирска. Предложенная методика позволяет оценить популярность объекта у населения, его доступность, выполнение им преобладающей функции, возможности социальной интеграции людей с ограниченными возможностями, организацию ландшафта на территории. Всего в структуре Новосибирска было выделено пять специализированных объектов различной функциональной направленности. Среди них по численности преобладают парки общения с природой и охранной флоры и фауны (Центральный сибирский ботанический сад, Дендрологический парк, Новосибирский зоопарк им. Р.А. Шило). Эти объекты являются и наиболее популярными среди жителей города. Основным фактором привлечения посетителей на таких объектах становится познавательная функция. Историко-архитектурный музей под открытым небом слабо интегрирован в систему городского озеленения вследствие плохой информированности граждан о данном объекте, отсутствия развитых транспортных и пешеходных коммуникаций и беспрепятственного доступа для всех категорий граждан. Дендрологический парк нуждается в реконструкции ландшафтной организации и функциональной зональности территории, для этого объекта также актуальна проблема популяризации среди жителей города. В ходе анализа специализированных ландшафтных объектов Новосибирска большее количество баллов получили Центральный сибирский ботанический сад, Центральный парк, Новосибирский зоопарк им. Р.А. Шило. Однако ни один из них в полной мере не отвечает всем необходимым критериям. Требуется реконструкция различной степени для каждого объекта с учетом социальных тенденций и современных процессов.

SPECIALIZED OBJECTS OF LANDSCAPE ARCHITECTURE OF THE CITY OF NOVOSIBIRSK

¹S.Kh. Vyshegurov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

²A.P. Belanova, PhD in Biological Sciences

¹N.V. Ponomarenko, PhD in Agricultural Sciences

¹E.V. Palchikova, PhD in Agricultural Sciences

¹N.V. Ivanova, PhD in Agricultural Sciences

¹E.V. Biktimirova, Lecturer

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: n-ponomarenko@yandex.ru

Keywords: landscape architecture, specialised objects, integration, urban gardening, parks and squares, woody plants.

Abstract. Today, a modern large city can only be imagined with specialised landscape objects. They belong to the group of public facilities, the functional feature of which is formed, as a rule, under the pressure of the city's cultural, social and historical environment. The presence of such facilities provides a wide range of recreational activities and contributes to the multifaceted development of the personality of visitors. The article presents a methodology developed by the authors for assessing the attractiveness and integration into the urban gardening system of specialised objects of landscape architecture in Novosibirsk. The proposed method makes it possible to determine the popularity of an entity among the population, its accessibility, its performance of the prevailing function, the possibility of social integration of people with disabilities, and the organisation of the landscape on the territory. Five specialised objects of various functional orientations were identified in the structure of Novosibirsk. Among them, parks of communication with nature and protect flora and fauna prevail in number (Central Siberian Botanical Garden, Dendrological Park, Novosibirsk Zoo named after R.A. Shilo). These objects are also the most popular among the residents of the city. The main factor in attracting visitors to such sites is the cognitive function. The historical and architectural open-air museum needs to be better integrated into the system of urban landscaping due to poor awareness of citizens about this object, the lack of developed transport and pedestrian communications and unhindered access for all categories of citizens. The dendrological park needs a reconstruction of the landscape organisation and functional zoning of the territory; for this object, the problem of popularization among the city's residents is also relevant in the course of the analysis of specialized landscape objects of Novosibirsk, the Central Siberian Botanical Garden, the Central Park, the Novosibirsk Zoo named after N.N. R.A. Awl. However, none of them fully meets all the necessary criteria. Reconstruction of varying degrees is required for each facility, considering social trends and modern processes.

В настоящее время специализированные объекты являются неотъемлемой частью любого крупного города, они формируются под давлением его культурно-социальной и исторической среды и приобретают статус не только ландшафтных объектов, но и культурного наследия. С их помощью формируется визуальная оценка городского ландшафта, определяется индивидуальность и силуэт города.

Специализированные объекты одновременно служат элементом и природно-экологической системы, и социальной инфраструктуры. Их устройство отвечает современным требованиям развития городов, базирующимся, с одной стороны, на естественных процессах экосистем, а с другой – удовлетворяющих потребности горожан в развитой урбанизированной среде [1]. Необходимо учесть, что данные территории могут обеспечивать «зеленые оазисы» с широким выбором рекреационной деятельности и способствовать как многогранному развитию личности, так и укреплению семейных и социальных связей [2].

Однако специализированные объекты, как и любые другие объекты ландшафтной архитектуры общественного назначения, могут пользоваться у населения различной степенью популярности и по-разному вписываться в окружающее городское пространство. Поэтому цель нашей работы заключалась в анализе привлекательности и интегрированности в систему городского озеленения специализи-

рованных объектов ландшафтной архитектуры Новосибирска.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе исследования сотрудниками и студентами кафедры ботаники и ландшафтной архитектуры Новосибирского ГАУ было проведено натурное обследование специализированных ландшафтных объектов, расположенных в трёх районах г. Новосибирска. При характеристике ландшафтных объектов использован принцип системного и сравнительного анализа. Классификация специализированных объектов ландшафтной архитектуры приводилась согласно исследованиям О.Б. Сокольской, В.С. Теодоронского [1]. Для определения видового состава растений, произрастающих на ландшафтных объектах, использовались труды сибирских дендрологов [3–6]. Для анализа качества состояния ландшафтного объекта специализированного назначения авторами исследования была разработана интегрированная методика оценки согласно современным социально-экономическим условиям развития города (табл. 1), основанная на методическом опыте в области оценки состояния городских объектов, их благоустройства с уклоном на доступность технических и художественных элементов для всех категорий граждан, оценке состояния зеленых насаждений [1, 7–9]. При

подсчете популярности объекта проводилось анкетирование жителей города. Было отобрано 30 респондентов различных возрастных групп (от 18 до 70 лет), профессиональная деятельность которых не связана с ландшафтными объектами города. Всего для учета качества состояния ландшафтного объекта выделено 11 критериев, важность которых подтверждена работами современных авторов [10, 11].

Нами предложена следующая балльная шкала оценки для анализа привлекательности и интегрированности в систему городского озеленения специализированных объектов ландшафтной архитектуры:

– итоговый интегральный показатель от 0 до 10 баллов (слабая интеграция в систему городского озеленения) указывает на низкую популярность объекта у населения, отсутствие беспрепятственного доступа для всех категорий граждан. Такие объекты слабо интегрированы

в систему городского озеленения и нуждаются в реконструкции ландшафтной организации и функциональной зональности территории;

– показатель от 11 до 20 баллов (средняя интеграция в систему городского озеленения) характерен для объектов с низкой популярностью у жителей города и отсутствием возможностей беспрепятственного доступа малоподвижных групп населения к зданиям и сооружениям парка. На территории этих объектов возможна реконструкция отдельных компонентов ландшафтной организации территории;

– показатель от 21 балла и выше демонстрирует высокую интегрированность объекта в систему городского озеленения. На территории присутствуют все необходимые компоненты для обеспечения широкого выбора рекреационной деятельности посетителей. Возможно, требуется реконструкция или расширение функционала отдельных компонентов.

Таблица 1

Интегральный показатель состояния ландшафтного объекта специализированного назначения
Integral indicator of the state of a specialised landscape object

Фактор	Система критериев	Система оценки (в баллах)
1	2	3
Популярность объекта у населения	(I) доступность информации об объекте среди респондентов	Популярность (P) варьирует от – 1 до + 1 $P = I \cdot E \cdot R$, где $I = N_1 / N$ (N – число опрошенных; N_1 – число людей, которым известен данный объект) $E = N_2 / N_1$ (N – число людей, которым известен данный объект; N_2 – число людей, которые посещали объект не менее одного раза в течение последних 12 месяцев) $R = K - 2K_1 / K$ варьирует от – 1 до + 1 (K – число положительных отзывов; K_1 – число негативных отзывов)
	(E) посещение респондентами объекта не менее одного раза в течение последних 12 месяцев	
	(R) репутация объекта среди респондентов	
Доступность объекта	Наличие развитых транспортных и пешеходных коммуникаций	Добраться до объекта возможно только на личном автомобиле или спецрейсе – 0; добраться до объекта возможно на личном автомобиле и общественном транспорте – 1; добраться до объекта возможно на личном автомобиле, общественном транспорте, пешком – 2
Выполнение преобладающей функции	Анализ функционального зонирования и баланса территории	Отсутствие функционального зонирования – 0; выделенные функциональные зоны не соответствуют функциям, возложенным на объект – 1; четкое зонирование объекта с соблюдением необходимого баланса территории для выполнения в полной мере преобладающей функции – 2

1	2	3
Социальная интеграция людей с ограниченными возможностями	Возможность беспрепятственного доступа малоподвижных групп населения к зданиям и сооружениям парка	Отсутствие любых специализированных элементов для беспрепятственного доступа – 0; наличие только пандусов на всей территории объекта – 1; наличие пандусов и специализированных визуальных и тактильно-визуальных знаковых средств отображения информации только во входной зоне – 2; наличие пандусов и специализированных визуальных и тактильно-визуальных знаковых средств отображения информации на всей территории объекта – 3
Организация ландшафта	Пространственная структура	Монотонность пространственной структуры, преобладание одного из трёх основных типов – 1; закономерное соотношение открытых, полуоткрытых и закрытых пространств – 2
	Анализ растительности	<i>Древесные насаждения:</i> единичные древесные растения/ преобладание отмирающих и сухостойных растений – 0; преобладание сильно поврежденных растений – 1; преобладание здоровых и незначительно поврежденных растений – 2 <i>Цветники:</i> отсутствие цветников/наличие увядших и засыхающих растений, контуры размыты или отсутствуют – 0; наличие увядших частей растений (до 40%), контуры нечетко обозначены, наличие вредителей, потеря декоративности – 1; компактная растительная группировка с четко очерченными контурами со здоровыми растениями; сорняки, увядшие и засыхающие растения отсутствуют, почва удобрена – 2 <i>Газон:</i> травянистый покров поврежден, засорен широколиственными растениями, покрытие отсутствует на 80%, в наличии массовые тропы и проплешины – 0; травянистый покров из злаковых трав, имеющий участки с редким травостоем (до 40%), участки с наличием небольшого количества (до 15%) сорной широколиственной растительности – 1; травянистый покров из злаковых видов трав с густым сомкнутым травостоем без проплешин, который регулярно скашивается; сорные широколиственные сорняки отсутствуют – 2
	Анализ дорожно-тропиночной сети	Наличие только стихийных троп, сформированных посетителями объекта – 0; наличие главных, второстепенных и дополнительных дорог, но с покрытием, не соответствующим основным функциям и требованиям ¹ [9] – 1; наличие главных, второстепенных и дополнительных дорог, покрытие которых соответствует [9], но на нем присутствуют видимые повреждения – 2; наличие главных, второстепенных и дополнительных дорог, которые характеризуются целостностью покрытия и его соответствием [9] – 3
	Малые архитектурные формы	Полное отсутствие МАФ на объекте – 0; наличие МАФ только декоративного или только утилитарного свойства/присутствие МАФ декоративного и утилитарного характера в ненадлежащем состоянии – 1; наличие МАФ декоративного и утилитарного характера не во всех функциональных зонах объекта – 2; наличие МАФ декоративного и утилитарного характера на всей территории объекта – 3
	Водные элементы	Водные элементы отсутствуют/водные элементы представляют опасность для посетителей – 0; водные элементы находятся в ненадлежащем состоянии и не выполняют основные функции – 1; водные элементы участвуют в формировании гармоничного ландшафта объекта – 2

¹ СП 475.1325800.2020. Свод правил. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства: утв. и введен в действие приказом Минстроя России от 22.01.2020 № 26/пр; ГОСТ Р 52131-2019 Средства отображения информации знаковые для инвалидов. Дата введения 2020-07-01.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в единой территориальной рекреационной системе Новосибирска можно выделить пять специализированных объектов, расположенных в Советском, Заельцовском и Центральном районах города. Среди них по численности преобладают парки общения с природой и охранной флоры и фауны (Центральный сибирский ботанический сад, Дендропарк, Новосибирский зоопарк им. Р.А. Шило). Историко-архитектурный музей под открытым небом выполняет культурно-познавательную функцию, а Центральный парк специализируется на культурно-развлекательной функции.

Эстетико-декоративные и спортивно-физкультурные сады и парки, парки спортивного профиля (доминирующего вида спорта – водного, конного, стрелкового) как таковые в городе не развиты. Детские парки обычно входят в состав многофункциональных комплексов крупных парков (Заельцовский, Бугринская роща и т.д.).

Существующие специализированные объекты на территории Новосибирска сложно

сравнивать между собой, поскольку при проектировании и благоустройстве объекта привязка осуществлялась, прежде всего, к основной деятельности. Однако проведенный анализ объектов по предлагаемой методике позволил выявить как достоинства, так и недостатки специализированных объектов Новосибирска в целом и в отдельности на каждой конкретной территории.

В ходе исследований было выявлено, что наименьшей популярностью у жителей города пользуются такие объекты, как Историко-архитектурный музей под открытым небом и Дендрологический парк (дендропарк) (табл. 2). Согласно опросу жителей города (рис. 1), только 10% респондентов знают о существовании такого уникального объекта, как Историко-архитектурный музей под открытым небом. Объект характеризуется территориальной удаленностью от основных транспортных узлов и сезонной работой (с 1 июня по 30 октября). Посетить музей возможно только в составе экскурсионной группы от 5 и более человек. Среди респондентов только 6% посещали данный объект в течение последних 12 месяцев.

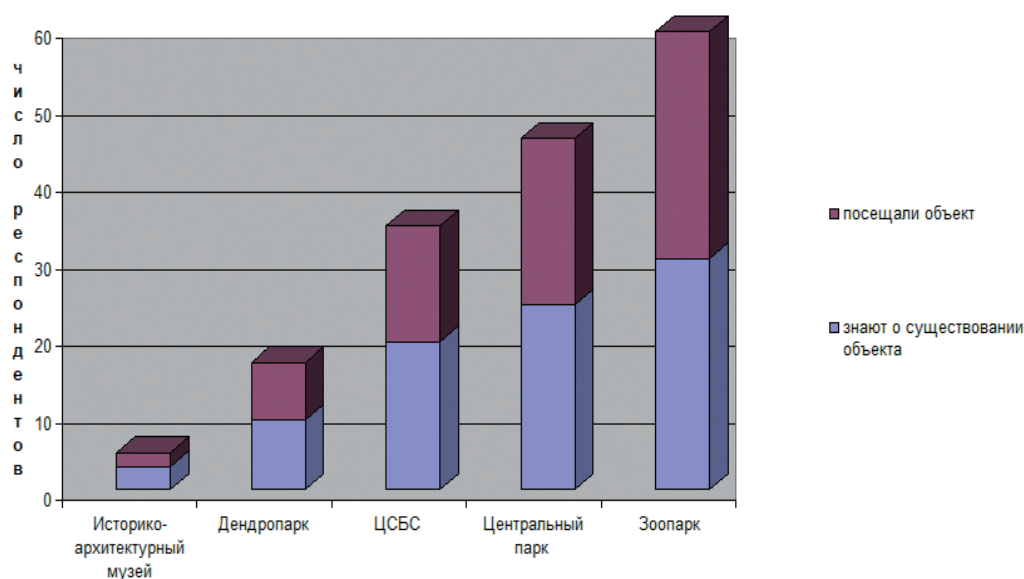


Рис. 1. Результаты опроса горожан

Fig. 1. Results of a survey of citizens

Площадь территории Историко-архитектурного музея в настоящее время составляет 46,5 га, представлены экспозиционная, административно-хозяйственная и научно-исследовательская функциональные зоны. В экспозиционной зоне демонстрируются археологические и архитектурные памятники Сибири. В

настоящее время музей окружают живописные насаждения *Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh. (березы обыкновенной и пушистой), несколько простых композиций из *Pinus sylvestris* L. (сосны обыкновенной), *Picea obovata* Ledeb. (ели обыкновенной). Доминирует открытая пространственная структура. На самой тер-

ритории отсутствуют специализированные растительные композиции, которые могли бы помочь в создании комплексных ландшафтно-этнографических экспозиций. В качестве удачного примера использования насаждений и ландшафта в идее-концепции археологического музея можно привести Белорусский государственный музей народной архитектуры и быта [12]. Итоговый интегральный показатель качества ландшафтного объекта составил 5,07 балла, что указывает на необходимость проведения работ по организации ландшафта и обеспечению беспрепятственного доступа малоподвижных групп населения.

Новосибирский дендропарк является первым ботаническим садом г. Новосибирска. Он расположен в крупном массиве жилой застройки, но большинство посетителей используют в полной мере только рекреационную функцию объекта. Научный, учебный и культурно-просветительский потенциал дендропарка не известен широкой общественности. В настоящее время территория объекта имеет статус особо охраняемой природной территории, общая площадь составляет 166,58 га. Анализ функционального зонирования показывает наличие экспозиционной, научной (питомник), административной зон (рис. 2).

Наибольший уровень благоустройства отмечается в центральной части экспозиционной зоны, здесь присутствуют уличное освещение и парковая мебель. В центральной части можно наблюдать различные типы насаждений – пейзажные группы, куртины, солитеры. Сформированные объёмно-пространственные композиции из *Picea obovata* (ели европейской), *P. pungens* 'Glaucous' (ели колючей), *Symphoricarpos occidentalis* (L.) Blake (снежная ягодница западного), *Chamaecytisus rutenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klask. (ракитника русского), *Salix ledebouriana* Trautv. (ивы Ледебура), *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. (ясень пенсильванского), *Swida alba* (L.) Opiz (свиды белой), *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. (пузыреплодника калинолистного), *Acer tataricum* L. (клена татарского) подчеркивают декоративные признаки растений и создают гармоничный пейзаж. Регулярные посадки на месте основных пешеходных маршрутов в виде аллей из *Larix sibirica* L. (лиственницы сибирской), *Populus alba* L. (тополя белого), *Betula pendula* (березы обыкновенной), *Prunus maackii* Rupr. (черемухи Маака), *Picea obovata* (ели обыкновенной), а также живой изгороди из *Spiraea salicifolia* L. (спиреи иволистной) и *Physocarpus*

opulifolius (пузыреплодника калинолистного) придают пейзажу торжественность и монументальность. К экспозиционной зоне относятся ботанико-географические и систематические участки дендрария, но посещение этих территорий затруднено из-за обилия самосева и аварийного состояния растений. В связи с этим большие куртины *Juglans mandshurica* Maxim. (ореха маньчжурского), *Quercus robur* L. (дуба черешчатого), *Ulmus laevis* Pall. (вяза гладкого), *Picea obovata* (ели обыкновенной), *P. pungens* Engelm. (ели колючей), *Phellodendron amurense* Rupr. (бархата амурского), *Larix sibirica* (лиственницы сибирской) в настоящее время недоступны для визуального восприятия.

В ходе дендрологических обследований насаждений, проведенных сотрудниками и студентами кафедры ботаники и ландшафтной архитектуры в июне–июле 2021 г., выявлено, что современная коллекция растений насчитывает не более 110 видов и сортовых форм. Резкое снижение численности ценных коллекционных видов происходит в результате отсутствия необходимых работ по уходу за насаждениями объекта [13, 14].

Помимо формирующих древесных композиций, в центральной зоне экспозиционной зоны встречаются и цветники. Все существующие цветники находятся в неудовлетворительном состоянии, поскольку сама площадь размещения цветников спланирована грубо, а растения развиты слабо. В оформлении цветников используются бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta* L.), стахис шерстистый (*Stachys lanata* Jacq). Стрижка газонов осуществляется нерегулярно и не на всей территории экспозиционной зоны. Дорожно-тропиночная сеть объекта развита неравномерно, наибольшее сосредоточение благоустроенных дорог отмечено в центральной части. Информационные щиты и указатели встречаются только на центральной территории экспозиционной зоны. Общий интегральный показатель ландшафтного объекта составляет 10,1 (табл. 2), что указывает на низкую его интегрированность в систему городского озеленения. Необходимы реконструкция зеленых насаждений, обеспечение беспрепятственного доступа малоподвижных групп населения, установка водных объектов. В настоящее время дальнейшая судьба этой территории остается нерешённой. По мнению общественности, наиболее предпочтительным вариантом развития является интеграция дендропарка в систему Заельцовского рекреационного кластера [13].

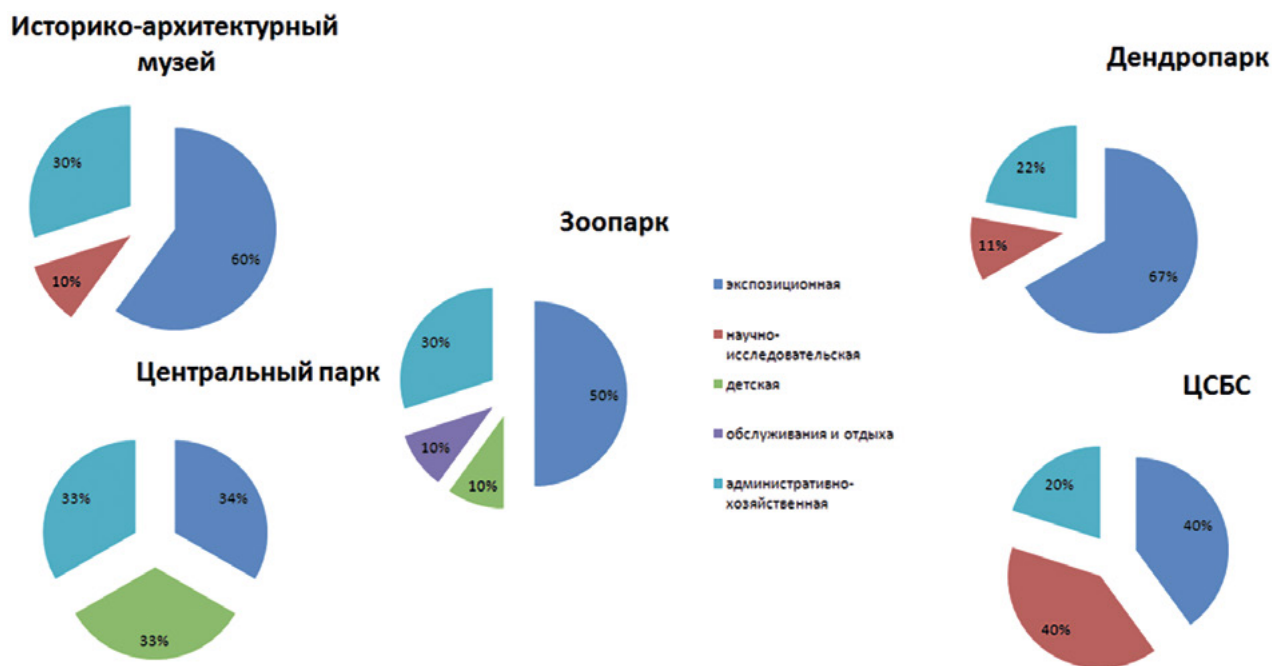


Рис.2. Функциональные зоны исследуемых объектов
(экспозиционная и научно-исследовательская зоны в зоопарке совмещены)

Fig.2. Functional areas of the objects under study
*(exposition and research areas in zoo are combined)

Таблица 2

Оценка качества состояния ландшафтных объектов специализированного назначения
Assessment of the quality of the state of landscape objects for specialised purposes

Фактор	Историко-архитектурный музей	Дендропарк	ЦСБС	Центральный парк	Зоопарк
Популярность объекта у населения	0,07	0,1	0,3	0,4	0,78
Доступность объекта	0	2	1	2	2
Выполнение преобладающей функции	2	1	2	2	2
Социальная интеграция людей с ограниченными возможностями	0	0	0	0	2
Организация ландшафта пространственная структура	1	2	2	1	2
анализ растительности древесные насаждения	0	1	2	1	2
цветочные композиции	0	0	2	1	2
газоны	1	1	2	1	2
анализ дорожно-тропиночной сети	1	1	2	2	3
малые архитектурные формы	1	2	2	2	3
водные элементы	0	0	2	2	2
Итого	6,07	10,1	17,3	13,4	22,78

Среди горожан наиболее популярными оказались такие специализированные объекты, как Центральный сибирский ботанический сад, Центральный парк и Новосибирский зоопарк им. Р.А. Шило (см. рис. 1). Они являются своего рода «визитной карточкой» города, входят в ключевые туристические маршруты жителей и гостей Новосибирска.

Центральный сибирский ботанический сад (ЦСБС) является крупнейшим ботаническим научно-исследовательским учреждением на территории Сибири. Территория входит в список ООПТ Новосибирской области, общая площадь составляет 843,6 га. В ЦСБС собрано свыше 25000 видов декоративных растений, в оранжереях представлено 2200 видов тропических и субтропических растений. На территории имеется дендрарий, спланированный в виде пейзажного парка [15]. Территориально ЦСБС удален от центральных районов и основных транспортных узлов города. Объект доступен для посещений в течение всего года, передвижение возможно в свободной форме или с экскурсией. Ботанический сад является научным учреждением, поэтому при проектировании территории данного объекта привязка осуществлялась, прежде всего, к основной деятельности. Анализ функционального зонирования показал сбалансированность территории и наличие четкого разделения на экспозиционную, научную, административно-хозяйственную зоны (см. рис. 2). Экспозиционная зона включает участки закрытого и открытого грунта. К научной зоне относятся экспозиции и ботанико-географические участки, посещение которых закрыто для широкой массы посетителей. В административно-хозяйственную зону входят научные питомники и утилитарные постройки. Стоит отметить, что деление на зоны достаточно условное, так как научные исследования проводятся на всей территории ботанического сада. Поскольку научная и административно-хозяйственная зоны скрыты от глаз посетителей, наибольшее значение с эстетической точки зрения приобретает экспозиционная зона, демонстрирующая приемы формирования гармоничных растительных композиций и парковых картин, насыщенная растениями с разнообразными декоративными качествами [15]. Отсутствие детской зоны возможно компенсировать отдельными мастерскими для проведения всевозможных лекций и мастер-классов по ботанической тематике [16]. На территории отмечено оптимальное соотношение открытых и закрытых пространств, разнообразие растительных композиций, использование вертикального озеленения. На

входном участке экспозиционной зоны в виде формообразующих элементов ландшафта представлены экземпляры *Picea obovata* (ели обыкновенной), *P. abies* (L.) Karst. (ели европейской), *Prunus maackii* (черемухи Маака), *Pyrus ussuriensis* Maxim. (груши уссурийской), *Thuja occidentalis* L. (туи западной). Многолетний опыт сотрудников ЦСБС по построению долговечных ландшафтных композиций, созданию аллей, пейзажных групп, массивов, куртин и солитеров из разнообразных видов деревьев и кустарников с разнообразными габитуальными и декоративными качествами имеет большое значение для садово-паркового строительства в Новосибирске.

Анализ жизненного состояния растений показал, что на всей территории оно оценивается как хорошее. Цветочные композиции встречаются как в экспозиционной, так и в научной зонах, они представлены большим разнообразием однолетних и многолетних травянистых растений. Дорожно-тропиночная сеть на территории ботанического сада выполнена по системе радиальных и кольцевых маршрутов. Присутствуют основные транспортные, прогулочные и дополнительные пешеходные дороги. К дополнительным относят дороги и тропы внутри экспозиционной зоны, они позволяют проложить более интересные и специализированные экскурсионные маршруты. В экспозиционной и научной зонах расположены водные объекты, представляющие собой водоемы естественного и искусственного происхождения, многофункциональные по назначению. Общий интегральный показатель объекта составил 17,3 балла (см. табл. 2). При анализе территории ботанического сада отмечены такие недостатки, как неразвитая система навигации и видовых этикеток. Главная проблема заключается в недостаточном оснащении всего прогулочного маршрута пандусами и тактильными пиктограммами. Данные элементы благоустройства крайне важны при создании комфортной и доступной среды для различных категорий граждан.

Центральный парк является одним из первых ландшафтных объектов города. В настоящее время он расположен в историческом центре Новосибирска на пересечении основных транспортных узлов. Данный парк выполняет культурно-развлекательную функцию, на его территории проходят общественные мероприятия, размещены аттракционы и игровые площадки. Объект функционирует в течение всего года, в зимнее время на территории парка заливают общественный каток и строят горки. Анализ территории показал преобладание зоны

аттракционов и обслуживания, которые условно относятся к экспозиционной зоне. Плотная концентрация аттракционов и зон обслуживания соответствует основе композиции таких территорий [17]. В целом объект характеризуется центрической пространственной схемой организации, разнообразные элементы группируются вокруг центральной площадки для массовых мероприятий, на которой расположен фонтан.

При исследовании зеленых насаждений парка было выявлено низкое видовое разнообразие (43 вида). В основном используются *Betula pendula* (береза бородавчатая), *Sorbus aucuparia* L. (рябина обыкновенная), *Larix sibirica* (лиственница сибирская), *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная), *Prunus maackii* (черемуха Маака), *Syringa josikaea* Jacq. Fil. (сирень венгерская). Использование малого количества видов формообразующих растений приводит к монотонности восприятия пространственной структуры и невыразительности композиций. Зеленые насаждения на данной категории объектов должны выполнять не только защитные и ограждающие, но также тематические и декоративные функции. Растения позволяют сформировать разнообразные фантастические ландшафты согласно тематическому сценарию парка развлечений [7]. Дорожно-тропиночная сеть объекта состоит из основных, второстепенных и дополнительных пешеходных дорог и троп, хозяйственных проездов. В настоящее время проводится реконструкция дорожных покрытий. Можно порекомендовать для данного объекта использование дополнительного декоративного покрытия дорожек и площадок, плитки, каменной брусчатки и отсева. Водные элементы представлены в виде фонтана мультимедийного гидродинамического типа, выполняющего декоративную функцию. В настоящее время на территории объекта отсутствует беспрепятственный доступ к объектам обслуживания и отдыха для маломобильной категории граждан, а также специальные элементы на аттракционах, позволяющие включаться в социальную интеграцию с помощью игрового процесса детям с ограниченными возможностями. Общий интегральный показатель ландшафтного объекта составляет 13,4 балла, что указывает на среднюю интеграцию в систему городского озеленения.

Новосибирский зоопарк имени Ростислава Александровича Шило является одним из наиболее посещаемых специализированных объектов Новосибирска. Основной целью зоологических парков является демонстрация животного мира, однако современные зоопарки давно ста-

ли прекрасными образцами садового искусства и местом отдыха горожан. Новосибирский зоопарк расположен в Заельцовском районе города, рядом с зоопарком проходит ряд маршрутов общественного транспорта, что является важным фактором для посещения данного места. В настоящее время зоопарк занимает площадь 65 га, в нём содержится около 11000 особей 770 видов. Зонирование территории зоопарка соответствует комплексной деятельности объекта (см. рис. 2). На этом объекте имеются хорошо развитые зоны обслуживания и отдыха (10%), детская зона (10%). Малые архитектурные формы имеют разнообразный вид и представлены в нужном количестве на всей протяженности прогулочного маршрута. Зеленые насаждения встречаются во всех зонах зоопарка и играют важную роль в организации пространства. Большая протяженность маршрута экспозиционной зоны позволила использовать различные типы растительных композиций: солитеры, древесные и кустарниковые группы, опушки, куртины, массивы, аллеи, живые изгороди, цветники, газон, контейнерное и вертикальное озеленение. Дорожно-аллейная сеть территории выполнена в системе радиальных и кольцевых маршрутов. Присутствуют транспортные, прогулочные и пешеходные (дополнительные) дороги. К пешеходным относятся прогулочные дороги и тропы внутри экспозиционной зоны.

Анализ показал, что на большей части территории преобладают растения хорошего жизненного состояния, однако имеются отдельные участки насаждений в неудовлетворительном состоянии. Так, например, у произрастающего на территории орнитариума экземпляра *Pinus sylvestris* отмечается снижение густоты облиствения кроны за счет изреживания скелетной части. Постепенное отмирание этих растений происходит, вероятно, в результате нарушения корневой системы при укладывании асфальтового покрытия в зоне непосредственного произрастания растений. Цветочные композиции встречаются в большом количестве на территории экспозиционной зоны (см. табл. 2). Внутри данной зоны встречаются рекреационные площади с ценными коллекционными видами растений (*Acer tegmentosum* Maxim., *Picea obovata*, *Quercus robur* и др.). Имеется искусственно созданный водоем, который является важным элементом ландшафтной композиции. Водоем с разных сторон обрамляют ивы (*Salix alba* L., *S. fragilis* и др.), формируя целостность ландшафта. Кроме насаждений открытого грунта, в зоопарке представлены зимние сады, демонстрирующие, помимо живых, разнообразный ассортимент комнатных

растений. На территории отмечена развитая система навигации, однако пандусы и тактильные пиктограммы установлены единично. При анализе объекта Новосибирскому зоопарку было присвоено максимальное количество баллов (22,78) в сравнении с остальными парками специализированного назначения.

В настоящее время во всем мире состояние ландшафтных объектов воспринимается как индикатор социального благополучия и комфортности городской среды [18, 19]. При анализе специализированных ландшафтных объектов Новосибирска было установлено, что ни один из них в полной мере не отвечает всем необходимым критериям. Требуется реконструкция различной степени для каждого объекта с учетом социальных тенденций и со-

временных процессов. Кроме того, желательна большая популяризация специализированных объектов у населения, поскольку не все жители города знают об их многофункциональности и специфичности.

Эстетическая организация территории любого специализированного объекта во многом определяется состоянием растительного компонента, жизненное состояние которого в значительной степени зависит от правильной организации работ по уходу за насаждениями. Так, зоопарк и дендропарк, находящиеся в непосредственной близости и исторически ранее принадлежавшие к одному объекту, имеют значительные отличия по состоянию растений (рис. 3).

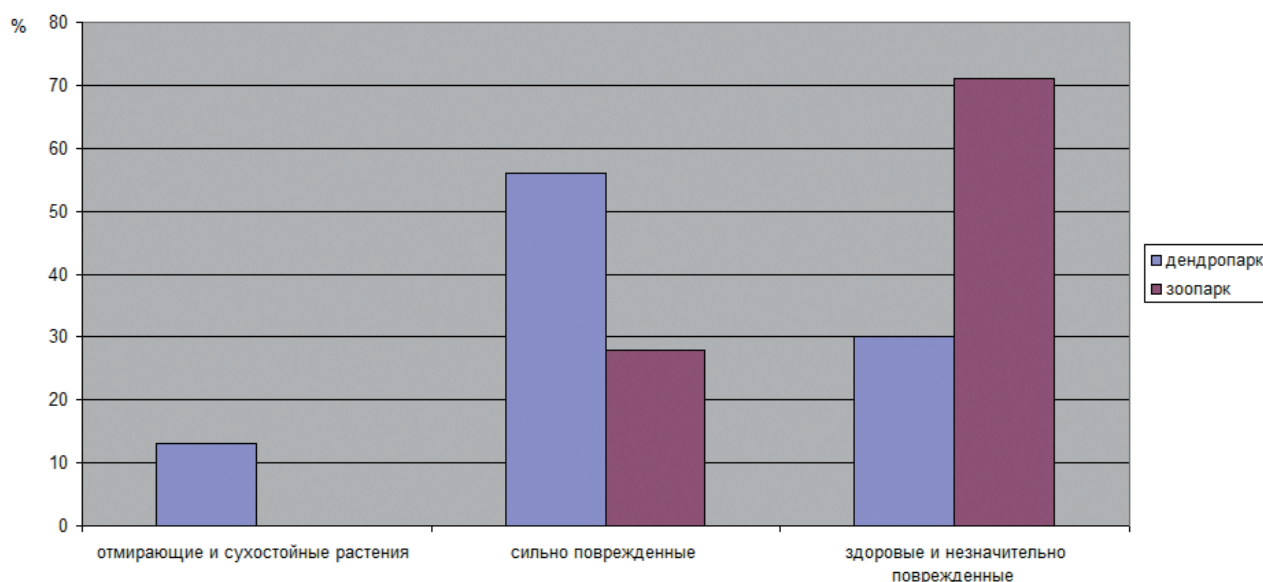


Рис. 3. Жизненное состояние древесных насаждений

Fig. 3. Life state of tree plantations

Среди древесных насаждений зоопарка в результате грамотно организованных работ по уходу преобладают здоровые и незначительно поврежденные растения.

ВЫВОДЫ

1. Анализ специализированных объектов г. Новосибирска показал отсутствие в городе детских парков и парков спортивного профиля. Ведущую группу специализированных объектов в Новосибирске составляют ботанический сад и зоопарк, которые имеют самую длительную историю развития. Основным фактором

привлечения посетителей на таких объектах становится познавательная функция.

2. Наименее востребованы у жителей города такие объекты, как Историко-архитектурный музей под открытым небом и Дендрологический парк. Более часто посещаемыми объектами являются Центральный сибирский ботанический сад, Центральный парк и Новосибирский зоопарк им. Р.А. Шило.

3. Для объектов с низкой и средней интегрированностью в городскую систему озеленения рекомендуется реконструкция транспортных и пешеходных коммуникаций, ландшафтной организации и функциональной зональности территории, создание доступной

среды с целью социальной интеграции людей с ограниченными возможностями.

4. К категории объектов с высокой степенью интегрированности в систему городского озеленения можно отнести только Новосибирский зоопарк. Однако на данной территории необходимо увеличение числа

пандусов и тактильных пиктограмм на протяжении всего прогулочного маршрута. Рекомендуем формировать расширенные экскурсии и экологические тропы, которые позволили бы показать посетителям разнообразие не только животного, но и растительного мира данного объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Сокольская О.Б., Теодоронский В.С. Специализированные объекты ландшафтной архитектуры: проектирование, строительство, содержание: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2015. – 702 с.
2. Подойницына Д.С., Хомяков Д.А., Гладова П.К. Инфраструктурный подход в формировании системы озеленения природно-урбанизированной надсистемы // Наукоедение: интернет-журнал: – 2016. – Т. 8, № 6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN616.pdf> (доступ: свободный).
3. Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю. Определитель местных и экзотических древесных растений Сибири. – Новосибирск: Гео, 2003. – 702 с.
4. Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю. Древесные растения Центрального сибирского ботанического сада. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 235 с.
5. Интродукция древесных растений в Сибири / Т.Н. Встовская, И.Ю. Коропачинский, Т.И. Киселева [и др.]. – Новосибирск: Гео, 2017. – 716 с.
6. Древесные растения в озеленении сибирских городов / Л.Н. Чиндяева, М.А. Томошевич, А.П. Беланова [и др.]. – Новосибирск: Гео, 2018. – 457 с.
7. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
8. Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Фролова В.А. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2008. – 352 с.
9. Ландшафтная архитектура Сибири: учеб. пособие для вузов / М.Р. Колпакова, А.А. Гончар, Л.Н. Чиндяева [и др.]. – Новосибирск: НГАХА, 2003. – 163 с.
10. Скачкова М.Е., Копалина К.М. Оценка уровня комфортности объектов озеленения урбанизированных территорий // Вестник СГУГиТ. – 2020. – № 2. – С. 244–258.
11. Visual Landscape Assessment: A method for analysing and planning for landscape structure / Mohd Zulhaili Teh, Marina Abdullah, Noorsazwan Ahmad Pugi [et al.] // Asian Journal of Quality of Life (AjQoL). – 2018. – Vol. 3. – P. 33–40.
12. Белорусский государственный музей народной архитектуры и быта [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.etna.by/> (дата обращения: 19.11.2021).
13. Ерохин Г.П., Чиндяева Л.Н., Тимофеев К.О. История создания и современное состояние памятника природы областного значения «Дендрологический парк» в городе Новосибирске // Баландинские чтения. – 2019. – Т. XIV. – С. 285–291.
14. Чиндяева Л.Н., Киселева Т.И. Таксономический состав и состояние коллекции древесных растений новосибирского дендропарка // Труды Томского государственного университета. Сер. биологическая: Ботанические сады. – 2010. – Т. 274. – С. 426–428.
15. Чиндяева Л.Н., Гончар А.А. Ландшафтное искусство Сибири: пейзажи и пейзажные композиции новосибирского Академгородка. – Новосибирск: Арта, 2008. – 255 с.
16. Голосова Е.В. Ботанические сады с позиции ландшафтной архитектуры: проблемы эстетики и доступности // Жизнь Земли. – 2020. – Т. 42, №1. – С. 72–80.
17. Коляда Е.М. История формирования и типологические особенности садов и парков специального назначения // Вестник ЧГПУ. – 2010. – № 5. – С. 296–305.

18. Ananiadou-Tzimopoulou M., Bourlidou A. Urban Landscape Architecture in the Reshaping of the Contemporary Cityscape. – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – P. 245–250.
19. Эколого-биологические аспекты оценки древесных растений в озеленении Новосибирска / Вышегуров С.Х., Беланова А.П., Пономаренко Н.В. [и др.]. // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – №1. – С. 17–26.

REFERENCES

1. Sokolskaya O.B., Teodoronskii V.S., *Spetsializirovannyye ob'ekty landshaftnoi arkhitektury: proektirovaniye, stroitel'stvo, soderzhanie* (Specialized objects of landscape architecture: design, construction, maintenance), Sankt-Peterburg: Lan', 2015, 702 p.
2. Podoinitsyna D.S., Khomyakov D.A., Gladova P.K., *Naukovedenie*, 2016, T. 8, No. 6, URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN616.pdf/> (In Russ.)
3. Vstovskaya T.N., Koropachinskij I.Yu., *Opredelitel' mestnykh i ekzoticheskikh drevesnykh rasteniy Sibiri* (Determinant of local and exotic woody plants of Siberia), Novosibirsk: Geo, 2003, 702 p.
4. Vstovskaya T.N., Koropachinskij I.Yu., *Drevesnye rasteniya Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada* (Woody plants of the Central Siberian Botanical garden), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2005, 235 p.
5. Vstovskaya T.N., Koropchinskij I.YU., Kiseleva T.I., Gorbunov A.B., Karakulov A.V., Lapteva N.P., *Introdukciya drevesnykh rasteniy v Sibiri* (Introduction of woody plants in Siberia), Novosibirsk: Geo, 2017, 716 p.
6. CHindyaeva L.N., Tomoshevich M.A., Belanova A.P., Banaev E.V., *Drevesnye rasteniya v ozelelenii sibirskikh gorodov* (Wood plants in the landscaping of Siberian cities), Novosibirsk: Geo, 2018, 457 p.
7. Alekseev V.A., *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57. (In Russ.)
8. Teodoronskii V.S., Sabo E.D., Frolova V.A., *Stroitel'stvo i ekspluatatsiya ob'ektov landshaftnoi arkhitektury* (Construction and operation of landscape architecture objects), Moscow: Akademiya, 2008, 352 p.
9. Kolpakova M.R., Gonchar A.A., CHindyaeva L.N., Berezina E.A., *Landshaftnaya arhitektura Sibiri* (Landscape architecture of Siberia), Novosibirsk: NGAHA, 2003, 163 p.
10. Skachkova M.E., Kopalina K.M., *Vestnik SGUGiT*, 2020, No. 2, pp. 244–258. (In Russ.)
11. Mohd Zulhaili Teh, Marina Abdullah, Noorsazwan Ahmad Pugi [et al.], Visual Landscape Assessment: A method for analysing and planning for landscape structure, *Asian Journal of Quality of Life (AjQoL)*, 2018, No. 3, p. 33–40.
12. *Belorusskii gosudarstvennyi muzei narodnoi arkhitektury i byta*: URL: <https://ru.etna.by/>, (Data obrashcheniya: 19.11.2021).
13. Erokhin G.P., Chindyaeva L.N., Timofeenko K.O., *Balandinskie chteniya*, 2019, T. XIV, pp. 285–291. (In Russ.)
14. Chindyaeva L.N., Kiseleva T.I., *Trudy Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Ser. biologicheskaya: Botanicheskie sady*, 2010, T. 274, pp. 426–428. (In Russ.)
15. Chindyaeva L.N., Gonchar A.A., *Landshaftnoye iskusstvo Sibiri: peizazhi i peizazhnye kompozitsii novosibirskogo Akademgorodka* (Landscape art of Siberia: landscapes and landscape compositions of the Novosibirsk Akademgorodok), Novosibirsk: Arta, 2008, 255 p.
16. Golosova E.V., *Zhizn' Zemli*, 2020, T. 42, No.1, pp. 72–80. (In Russ.)
17. Kolyada E.M., *Vestnik ChGPU*, 2010, No. 5, pp. 296–305. (In Russ.)
18. Ananiadou-Tzimopoulou M., Bourlidou A., Urban Landscape Architecture in the Reshaping of the Contemporary Cityscape, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, pp. 245–250.
19. Vyshegurov S.H., Belanova A.P., Ponomarenko N.V., Palchikova E.V., Ivanova N.V., Eermen A.A., Sergeeva A.S., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 1, pp. 17–26. (In Russ.)

ОЦЕНКА ЗИМОСТОЙКОСТИ ГИБРИДНЫХ ФОРМ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ В ЯКУТИИ

Н.С. Габышева, кандидат сельскохозяйственных наук

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

E-mail: nataligabysheva@mail.ru

Ключевые слова: смородина черная, зимостойкость, гибридные формы, подмерзание ветвей, семья.

Реферат. В суровых природно-климатических условиях Якутии возможно выращивать только адаптивные высокозимостойкие сорта черной смородины, способные переносить морозы ниже -50°C . В связи с этим актуальным является изучение зимостойкости гибридов и отбор устойчивых образцов. Цель исследования – выделить зимостойкие гибридные формы смородины черной в условиях Центральной Якутии. Исследования проведены в 2019–2021 гг. в Якутском НИИ сельского хозяйства в плодово-ягодном питомнике. Объекты исследований – гибридные формы 9 семей смородины черной. Гибридный материал был получен методом межсортных скрещиваний. В период исследований погодные условия зим несколько различались. Особой суровостью характеризовалась зима 2020/21 г. В январе средняя температура воздуха была $-46,3^{\circ}\text{C}$, абсолютный зимний минимум $-56,4^{\circ}\text{C}$. Морозность зимы составила $-4679,2^{\circ}\text{C}$, а высота снежного покрова 30,5 см. После этой зимы большее число зимостойких гибридных сеянцев смородины черной наблюдалось в семьях Шаровидная $\times$ Якутская (75,0 %) и Ксюша $\times$ Люция (66,7 %). Выход зимостойких сеянцев по всем семьям составил 23,6 %. В результате изучения выделены 11 высокозимостойких гибридных форм различного генетического происхождения – 1-7-18, 2-8-18, 2-13-18, 2-14-18, 2-16-18, 4-12-18, 2-19-18, 3-14-18, 3-22-18, 4-1-18, 3-2-18. Они будут использованы в практической селекции черной смородины как источники высокой зимостойкости, а сортообразцы с комплексом хозяйственно-ценных признаков – как родоначальники новых сортов.

EVALUATION OF WINTER HARDER OF BLACK CURRANT HYBRID FORMS IN YAKUTIA

N.S. Gabysheva, PhD in Agricultural Sciences

Yakutsk Research Institute of Agriculture, named after V.I. M.G. Safronova, Yakutsk, Russia

E-mail: nataligabysheva@mail.ru

Keywords: blackcurrant, winter hardiness, hybrid forms, freezing of branches, family.

Abstract. In Yakutia's harsh natural and climatic conditions, growing only adaptive, highly winter-hardy blackcurrant varieties that can tolerate frosts below -50°C is possible. In this regard, it is relevant to study the winter hardiness of hybrids and the selection of resistant samples. The purpose of the study is to identify winter-hardy hybrid forms of black currant in the conditions of Central Yakutia. The studies were conducted in 2019–2021 at the Yakutsk Research Institute of Agriculture in a fruit and berry nursery. The objects of research are hybrid forms of 9 families of black currant. Inter-variety crosses obtained the mixed material. During the study period, the weather conditions of winter were somewhat different. The winter of 2020/21 was characterized by particular severity. The average air temperature in January was -46.3°C and the absolute winter minimum was -56.4°C . The frostiness of the winter was -4679.2°C and the snow depth was 30.5 cm.). The output of winter-hardy seedlings for all families was 23.6%. As a result of the study, 11 highly winter-hardy hybrid forms of various genetic origins were identified - 1-7-18, 2-8-18, 2-13-18, 2-14-18, 2-16-18, 4-12-18, 2-19-18, 3-14-18, 3-22-18, 4-1-18, 3-2-18. They will be used in the practical breeding of blackcurrant as sources of high winter hardiness and varieties with a complex of economically valuable traits - as the ancestors of new types.

Смородина черная – распространенная ягодная культура, которая ценится за высокую зимостойкость, скороплодность, урожайность, возможность механизированного ухода и уборки урожая, лечебно-диетические показатели

ягод [1–3]. Ягоды отличаются богатым биохимическим составом, особенно высоким содержанием в них витаминов С и Р [2, 4].

Одной из важных хозяйственно-биологических особенностей, определяющих распро-

странение и производственное значение сортов, является зимостойкость [5], т.е. комплексная устойчивость растений к неблагоприятным факторам зимнего периода [2]. Зимостойкость характеризует степень приспособленности сорта к условиям возделывания [6].

Признак зимостойкости в значительной степени обусловлен генотипически. Имеются доноры, достаточно полно передающие признак последующему поколению с частотой, связанной с особенностями второй родительской формы [7].

Гибриды наследуют от исходных родительских форм устойчивость по каждому из отдельных компонентов зимостойкости. Высокий выход гибридов, устойчивых к одному из компонентов зимостойкости, был в тех семьях, где по этому компоненту устойчив хотя бы один из родителей [8].

Значительное влияние на проявление генетически обусловленной морозостойкости оказывает действие неблагоприятных факторов внешней среды [9]. Реализация потенциальной зимостойкости зависит от того, как растение реагирует на условия среды изменением роста, развития, сдвигами фаз морфогенеза; насколько эти изменения соответствуют ритму изменения погодных условий [10]. Результаты перезимовки растений часто зависят не только от условий зимы, но и от погодных условий лета и осени [11], обуславливающих общее физиологическое состояние растений, накопление запасных питательных веществ, их обмен, обводненность тканей, прохождение процессов закаливания и т.д. [2].

Эффективность селекционной работы на зимостойкость определяется главным образом правильным подбором исходных форм и последующим отбором устойчивых к морозу генотипов. Наиболее ценными исходными формами для выведения новых сортов будут генотипы, сочетающие на высоком уровне возможно большее число компонентов зимостойкости и хозяйственно-ценные признаки [12]. Известно, что зимостойкость смородины зависит не только от сортовых особенностей, но и от условий произрастания [13].

В Якутии повреждающим фактором является, прежде всего, температурный. Интересен факт, что вошедшие в покой якутские виды смородины без повреждений выносят температуру -35°C [14]. Высокой зимостойкостью обладают смородина местная Малоцветковая, ее формы, сеянцы смородины дикуши, которые выдерживают морозы ниже -60°C и сумму отрицательных температур $-5000\ldots-6000^{\circ}\text{C}$ [15].

Сорта черной смородины селекции Якутского НИИСС получены при участии дикорастущих видов и характеризуются высокой зимостойкостью. Новые гибридные формы созданы при участии зимостойких, урожайных сортов селекции НИИСС им. М.А. Лисавенко, которые являются сложными межвидовыми гибридами с местными сортами Якутская, Хара Кыталык, Люция, Памяти Кындыла и Мюрючана.

Для выращивания и обеспечения населения высоковитаминной продукцией ягод необходимы адаптированные сорта черной смородины, способные переносить суровые морозы ниже -50°C . Поэтому актуальным является проведение исследований по изучению зимостойкости гибридов и отбору устойчивых образцов.

Цель настоящего исследования – выделить зимостойкие гибридные формы смородины черной в условиях Центральной Якутии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись гибридные формы 9 семей смородины черной, посаженные в селекционный питомник в 2018 г. Гибридный материал был получен методом межсортовых скрещиваний. Исследования проводились в Центральной Якутии, в плодово-ягодном питомнике Якутского НИИ сельского хозяйства в г. Покровске Хангаласского улуса. Учет зимостойкости проводили в полевых условиях в 2019–2021 гг. по общепринятой методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [16, 17]. Математическая обработка данных проведена по методике Б.А. Доспехова [18].

Центральная Якутия расположена в восточной части Восточно-Сибирской равнины в бассейне среднего течения р. Лены. С востока и северо-востока данная территория окружена Верхоянским хребтом, а с юга – Алданским нагорьем.

Климатический район относится к наиболее холодной ультраконтинентальной области Северного полушария. Зима здесь продолжительная (более 6 месяцев), холодная и мало-снежная. Средние месячные температуры в Покровске составляют: в ноябре $-27,1^{\circ}\text{C}$, декабре $-38,3^{\circ}\text{C}$, январе $-41,5^{\circ}\text{C}$, феврале $-34,6^{\circ}\text{C}$ и марте $-21,9^{\circ}\text{C}$ [19, 20]. Сумма отрицательных температур $-5000\ldots-6000^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура воздуха $-10,8^{\circ}\text{C}$ [20]. По сравнению с 70-ми гг. XX в. среднегодовая температура воздуха повысилась на $2,5-3^{\circ}\text{C}$ [21].

Снег начинает выпадать в октябре. Устойчивый снежный покров (более 10 см)

появляется в конце первой декады ноября. Наибольшей высоты (30–40 см) он достигает в конце февраля. Число дней со снежным покровом составляет в среднем 205–215 [19].

Лето в регионе весьма короткое, засушливое, с высокими температурами и резкими колебаниями в течение суток. Средняя температура июля +18...+19°C, максимальная +38,0°C, в ночное время опускается до +3...+5°C [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка зимостойкости растений была проведена после зим 2018/19, 2019/20, 2020/21 и 2020/21 гг. (рис. 1, 2).

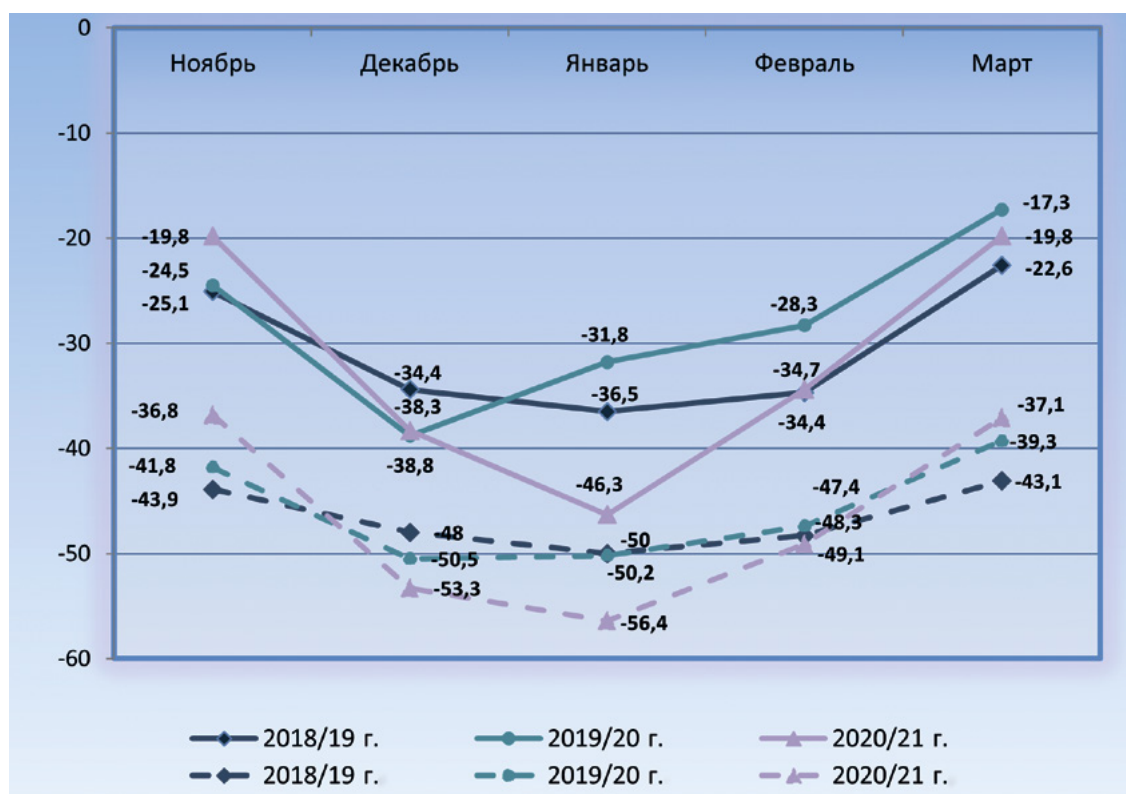


Рис. 1. Средняя и минимальная температура воздуха зимой, °C

Fig. 1. Average and minimum air temperature in winter, °C

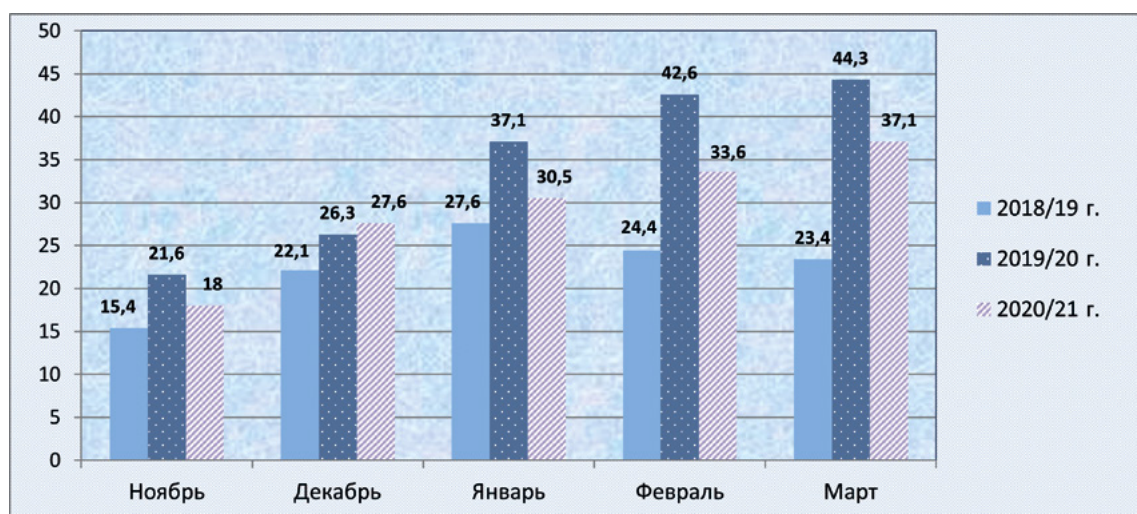


Рис. 2. Высота снежного покрова в зимние месяцы, см

Fig. 2. Snow depth in winter months, cm

При анализе зимних повреждений растений в полевых условиях учитывались максимально низкие температуры, их продолжительность, глубина снежного покрова.

В период исследований погодные условия зим несколько различались. Зима 2018/19 г. была сравнительно теплой и малоснежной. В зимние месяцы сумма отрицательных температур составила $-4293,8^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура воздуха в самый холодный месяц опускалась до $-50,0^{\circ}\text{C}$. Снега за зиму выпало мало, средняя глубина снежного покрова была всего 27,6 см, максимальная – 30 см, что является характерным показателем для нашего региона.

Мягкостью характеризовалась зима 2019/20 г., январская среднемесячная температура воздуха составляла всего $-31,8^{\circ}\text{C}$, а минимальная температура опускалась до $-50,5^{\circ}\text{C}$. Морозность зимы была $-4282,7^{\circ}\text{C}$. В январе максимальная высота снежного покрова составляла 42 см, а средняя – 37,1 см. Обилие

снега в холодные месяцы положительно повлияло на перезимовку растений.

Особенной суровостью отличался зимний период 2020/21 г. В январе было очень холодно, среднемесячная температура воздуха составляла $-46,3^{\circ}\text{C}$, абсолютный зимний минимум опускался до $-56,4^{\circ}\text{C}$. В этом месяце 20 дней стояли морозы ниже -45°C , в том числе 9 дней температура воздуха опускалась ниже -50°C . Сумма отрицательных зимних температур (ноябрь – март) достигла $-4679,2^{\circ}\text{C}$. Высота снежного покрова была в среднем 30,5 см.

Учет подмерзания ветвей черной смородины проводили весной после перезимовки при распускании почек.

В результате наблюдений после теплой зимы 2018/19 г. гибридные сеянцы смородины черной имели слабое подмерзание побегов – до 1 балла. При этом больший выход зимостойких растений (более 75 %) был в семьях из III генетической группы – Подарок Кузиору $\times$ Мюрючана, Подарок Кузиору $\times$ Якутская и Шаровидная $\times$ Якутская (табл. 1).

Таблица 1

Подмерзание ветвей в гибридных семьях смородины черной
Freezing of branches in hybrid families of black currant

Генетическая группа	Гибридная семья	Кол-во сеянцев, шт.	Число гибридных сеянцев, шт., оцененных баллом			Кол-во зимостойких сеянцев, %	Средний балл подмерзания по семье	V_p , %	S_p , %
			0	1	2 и более				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019 г.									
I	Ксюша $\times$ Якутская	15	6	9	-	40,0	0,6	98,0	12,6
	Ксюша $\times$ Памяти Кындыла	5	-	5	-	-	1,0	-	-
II	Ксюша $\times$ Хара Кыталык	12	2	10	-	16,7	0,8	74,0	10,8
	Ксюша $\times$ Люция	6	4	2	-	66,7	0,3	94,0	19,2
	Алтайская поздняя $\times$ Хара Кыталык	9	4	5	-	44,4	0,6	99,4	16,6
III	Подарок Кузиору $\times$ Якутская	5	4	1	-	80,0	0,2	80,0	17,9
	Подарок Кузиору $\times$ Мюрючана	11	10	1	-	90,9	0,1	58,0	3,8
	Шаровидная $\times$ Якутская	4	3	1	-	75,0	0,3	86,0	21,7
IV	Подарок Кузиору $\times$ Хара Кыталык	10	5	5	-	50,0	0,2	100,0	15,8
2020 г.									
I	Ксюша $\times$ Якутская	15	9	6	-	60,0	0,4	98,0	12,7
	Ксюша $\times$ Памяти Кындыла	3	-	3	-	-	1,0	-	-
II	Ксюша $\times$ Хара Кыталык	10	2	8	-	20,0	0,8	80,0	12,7
	Ксюша $\times$ Люция	6	3	3	-	50,0	0,5	100,0	20,4
	Алтайская поздняя $\times$ Хара Кыталык	8	1	7	-	14,3	0,9	66,0	11,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
III	Подарок Кузиору × Якутская	5	5	-	-	100,0	0	-	-
	Подарок Кузиору × Мюрючана	11	9	2	-	81,8	0,2	78,0	11,7
	Шаровидная × Якутская	4	1	2	1	25,0	1,0	36,0	8,8
IV	Подарок Кузиору × Хара Кыталык	10	7	3	-	70,0	0,3	92,0	14,5
2021 г.									
I	Ксюша × Якутская	15	2	12	1	13,3	1,0	84,0	10,9
	Ксюша × Памяти Кындыла	3	-	3	-	-	1,0	-	-
II	Ксюша × Хара Кыталык	10	3	5	2	30,3	1,0	52,0	5,5
	Ксюша × Люция	6	4	2	-	66,7	0,3	94,2	19,2
	Алтайская поздняя × Хара Кыталык	8	1	7	-	14,3	0,9	66,2	11,7
III	Подарок Кузиору × Якутская	5	1	4	-	20,0	0,8	80,0	17,9
	Подарок Кузиору × Мюрючана	11	2	9	-	18,2	0,8	77,2	3,4
	Шаровидная × Якутская	4	3	-	1	75,0	0,5	86,6	21,7
IV	Подарок Кузиору × Хара Кыталык	10	1	9	-	10,0	0,9	60,0	9,5
	НСР ₀₅						2,9		

Примечание. I – ЕСДМ; II – ЕСДР; III – ЕСДКМ; IV – ЕСДКР; Е – европейский подвид смородины черной; С – сибирский подвид смородины черной; К – скандинавский подвид смородины черной; Б – смородина буроватая; Д – смородина дикуша; Р – смородина малоцветковая; М – смородина моховка; ЕСДМ, ЕСДР, ЕСДКМ, ЕСДКР – различные сочетания генотипов; Vp – коэффициент вариации качественных признаков; Sp – ошибка выборочной доли.

Note. I - ECDM; II - ESDR; III - ESDCM; IV - ESDKR; E - European subspecies of black currant; C - Siberian subspecies of black currant; K - Scandinavian subspecies of black currant; B - brownish currant; D - wild grouse currant; P - low-flowered currant; M - currant mokhovka; ESDM, ESDR, ESDCM, ESDKR - various combinations of genotypes; Vp is the coefficient of variation of qualitative features; Sp is the sample share error.

В геноме этих семей содержатся производные европейского, сибирского, скандинавского подвидов смородины черной, а также высокозимостойкие дикорастущие виды смородина дикуша и моховка. Средний балл подмерзания по семьям составил от 0,1 до 0,3.

В гибридной семье, полученной с участием сорта Ксюша, который в условиях Центральной Якутии в суровые зимы подмерзает до 4 баллов, – Ксюша × Хара Кыталык – наблюдалось всего 16,7 % зимостойких растений. В семье Ксюша × Памяти Кындыла все ветви гибридов подмерзли на 1 балл.

Коэффициент вариации зимостойкости во всех изучаемых семьях был значительным и составил от 58 (Подарок Кузиору × Мюрючана) до 100 % (Подарок Кузиору × Хара Кыталык). Наименьшее значение ошибки выборочной доли зимостойких растений отмечено в семье Подарок Кузиору × Мюрючана (3,8 %).

В 2020 г. хорошо перезимовали гибридные формы смородины черной, где в качестве материнской формы участвовал алтайский сорт Подарок Кузиору: Подарок Кузиору × Якутская (100 %), Подарок Кузиору × Мюрючана (81,8 %) и Подарок Кузиору × Хара Кыталык (70,0 %). Сорт Подарок Кузиору в наших условиях зарекомендовал себя как зимостойкий, в очень суровые зимы имел незначительное подмерзание кончиков ветвей. Эти семьи относятся к III и IV генетическим группам, имеют сложное межвидовое происхождение и содержат 5 таксонов.

В семьях Ксюша × Памяти Кындыла, Алтайская поздняя × Хара Кыталык и Ксюша × Хара Кыталык выход растений без подмерзания ветвей был низким, средний балл подмерзания у них составил 0,8–1,0. В семье смородины черной Шаровидная × Якутская у одного растения наблюдалось сильное подмерзание (на 4 балла). Благодаря высокому

снежному покрову и относительно теплой зиме гибриды хорошо перезимовали. Общий выход зимостойких растений составил 51,4 %. Показатель изменчивости признака зимостойкости варьировал от 36,0 (Шаровидная × Якутская) до 100 % в семье Ксюша × Люция. Максимальная ошибка выборочной доли признака зимостойкости зафиксирована в семье Ксюша × Люция (20,4 %), а минимальная – в семье Шаровидная × Якутская (8,8 %).

Неблагоприятные условия для перезимовки смородины черной вследствие суровых морозов сложились в зиму 2020/21 г. Растения перезимовали хуже по сравнению с предыдущими годами. Отбор прошли только самые выносливые гибридные формы, которые выдержали морозность зимы $-4679,2^{\circ}\text{C}$ и абсолютный зимний минимум температуры воздуха $-56,4^{\circ}\text{C}$. Больше число гибридных сеянцев смородины

черной с нулевым баллом зимостойкости наблюдалось в семьях Шаровидная × Якутская (75,0 %) и Ксюша × Люция (66,7 %). В семье с участием сортов Ксюша и Памяти Кындыла зимостойких гибридов не отмечалось третий год подряд. Выход зимостойких сеянцев после суровой зимы по всем был очень низким и составил 23,6 % (всего 17 гибридов). Коэффициент вариации признака зимостойкости во всех семьях был значительным (52,0–94,2%). Минимальная ошибка выборочной доли зимостойких гибридов наблюдалась в семьях Подарок Кузиору × Мюрючана и Ксюша × Хара Кыталык – соответственно 3,4 и 5,5 %.

Таким образом, в результате наблюдения за 3 года выделились высокозимостойкие гибридные формы смородины черной, на которых не было отмечено подмерзания ветвей (табл. 2).

Таблица 2

Выход зимостойких гибридных форм смородины черной
The output of winter-hardy hybrid forms of black currant

Генетическая группа	Гибридная семья	Количество сеянцев, шт.	Кол-во зимостойких сеянцев в семье		Зимостойкие сеянцы	$S_{\text{р сред.}}, \%$
			шт.	%		
I	Ксюша × Якутская	15	1	6,7	1-7-18	12,0
	Ксюша × Памяти Кындыла	3	-	-	-	-
	Всего по группе	18	1	5,6		
II	Ксюша × Хара Кыталык	10	1	10,0	2-8-18	9,7
	Ксюша × Люция	6	3	50,0	2-13-18, 2-14-18, 2-16-18	19,6
	Алтайская поздняя × Хара Кыталык	8	1	12,5	4-12-18	13,3
	Всего по группе	24	5	20,8		
III	Подарок Кузиору × Якутская	5	1	20,0	2-19-18	11,9
	Подарок Кузиору × Мюрючана	11	2	18,2	3-14-18, 3-22-18	6,3
	Шаровидная × Якутская	4	1	25,0	4-1-18	17,4
	Всего по группе	20	4	20,0		
IV	Подарок Кузиору × Хара Кыталык	10	1	10,0	3-2-18	13,3
	Всего по группе	10	1	10,0		
	И т о г о	72	11	15,3		

В дальнейшем адаптированные сортообразцы смородины черной будут изучены по урожайности, устойчивости к болезням и

вредителям, биохимическому составу ягод и другим признакам для создания новых сортов в условиях Якутии.

ВЫВОДЫ

1. В условиях Центральной Якутии изучаемые гибридные формы смородины черной имели различную степень подмерзания ветвей.

2. Наибольший выход высокозимостойких гибридных форм наблюдался в семье Ксюша × Люция – 50,0 %, в которой содержатся геномы европейского и сибирского подвидов смородины черной, смородины дикуши и малоцветковой.

3. Выделены 11 высокозимостойких гибридных форм различного генетического происхождения – 1-7-18, 2-8-18, 2-13-18, 2-14-18, 2-16-18, 4-12-18, 2-19-18, 3-14-18, 3-22-18, 4-1-18, 3-2-18, некоторые из них обладают комплексом хозяйственно-ценных признаков и будут использованы в практической селекции черной смородины как родоначальники новых сортов или как источники высокой зимостойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнительная оценка биохимического состава ягод перспективных сортов смородины черной / Л.В. Титова, И.Б. Кирина, Г.С. Усова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. – 2019. – № 2. – С. 16–21.
2. Кумпан В.Н., Лиличенко Е.И., Клинг А.П. Агробиологические показатели интродуцированных сортов смородины черной в условиях лесостепной зоны Омской области // Вестник Омского ГАУ. – 2020. – № 2 (38). – С. 57–67.
3. Перекопский А.Н., Зыков А.В., Егорова К.И. Оценка сортов смородины черной на пригодность к комбайновой уборке // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 7. – С. 35–39.
4. Головина Л.А., Нигматзянов Р.А., Сорокопудов В.Н. Выявление изменчивости у растений смородины черной (*Ribes nigrum* L.), полученных in vitro для селекции в условиях Башкирии // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 4. – С. 53–58.
5. Тимушева О.К. Зимостойкость сортов смородины черной при выращивании на Европейском Северо-Востоке России // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. – 2009. – С. 272–279.
6. Тихонова О.А. Оценка самоплодности сортов черной смородины в условиях Северо-Запада России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – Т. 180, № 2. – С. 60–72.
7. Равкин А.С. Черная смородина (исходный материал, селекция, сорта). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 216 с.
8. Лобанов Э.М., Курочка П.С. Изучение компонентов комплекса зимостойкости у гибридов черной смородины при разных комбинациях скрещивания // Селекция черной смородины. – Новосибирск, 1980. – С. 78–88.
9. Сазонов Ф.Ф. Формирование отечественного сортимента смородины черной в условиях Нечерноземного региона России // Садоводство и виноградарство. – 2021. – №1. – С. 23–31. – DOI: 10.31676/0235-2591-2021-1-23-31.
10. Коробкова Т.С. Реализация потенциальной продуктивности смородины черной в условиях криолитозоны // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 74–82. – DOI: 10.3142/2618-9712-2019-24-2-7.
11. Юшков А.Н. Селекция плодовых растений на устойчивость к абиотическим стрессорам: монография. – Мичуринск: ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», 2019. – 332 с.
12. Резвякова С.П. Зимостойкость садовых культур различного эколого-географического происхождения // Биология в сельском хозяйстве. – 2017. – № 1(14). – С. 12–19.
13. Strautiņa S., Lācis G., Kampuss K. Phenotypical variability and diversity within *Ribes* genetic resources collection of Latvia // Acta Hort. – 2020. – Vol. 1277. – P. 81–88.
14. Коробкова Т.С. Интродукция смородины черной в Центральной Якутии: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2001. – 154 с.
15. Черткова М.А. Биологические особенности и некоторые вопросы агротехники черной смородины в условиях Центральной Якутии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1976. – 160 с.

16. *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур*. – Орел: Изд-во ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
17. *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур*. – Мичуринск: Изд-во ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина, 1973. – 494 с.
18. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
19. *Гаврилова М.К.* Климат Центральной Якутии: монография. Якутск: Кн. изд-во, 1973. – 120 с.
20. *Шапко Д.И.* Климатические условия земледелия Центральной Якутии. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 261 с.
21. *Лоскин М.И., Готовцев С.П., Павлова С.А.* Процессы, связанные с изменением климата, влияющие на устойчивость геосистем (на примере Центральной Якутии) // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 22–28. – DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-22-26.

REFERENCES

1. Titova L.V., Kirina I.B., Usova G.S., Ratushnyj A.S., *Tekhnologiya pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2019, No. 2, pp. 16–21. (In Russ.)
2. Kumpan V.N., Lilichenko E.I., Kling A.P., *Vestnik Omskogo GAU*, 2020, No. 2 (38), pp. 57–67. (In Russ.)
3. Perekopskij A.N., Zykov A.V., Egorova K.I., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2021, No. 7, pp. 35–39. (In Russ.)
4. Golovina L.A., Nigmatzjanov R.A., Sorokopudov V.N., *Vestnik KrasGAU*, 2020, pp. 53–58. (In Russ.)
5. Timusheva O.K., *Bulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, pp. 272–279. (In Russ.)
6. Tihonova O.A., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2019, Vol. 180, No. 2, pp. 60–72. (In Russ.)
7. Ravkin A.S., *Chernaya smorodina (iskhodnyi material, selektsiya, sorta) (Black currant (source material, selection, varieties))*, Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1987, 216 p.
8. Lobanov Je.M., Kurochka P.S., *Selekcija chernoj smorodiny*, Novosibirsk, 1980, pp. 78–88. (In Russ.)
9. Sazonov F.F., *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2021, No. 1, pp. 23–31, DOI: 10.31676/0235-2591-2021-1-23-31. (In Russ.)
10. Korobkova T.S., *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2019, Vol. 24, No. 2, pp. 74–82. (In Russ.)
11. Jushkov A.N., *Selekcija plodovykh rastenij na ustojchivost' k abioticheskim stressoram (Selection of fruit plants for resistance to abiotic stressors)*, Michurinsk: FGBNU «FNC im. I.V. Michurina», 2019, 332 p.
12. Rezvjakova S.P., *Biologija v sel'skom hozjajstve*, 2017, No. 1 (14), pp. 12–19. (In Russ.)
13. Strautiņa S., Lācis G., Kampuss K., Phenotypical variability and diversity within Ribes genetic resources collection of Latvia, *Acta Horti*, 2020, Vol. 1277, pp. 81–88.
14. Korobkova T.S., *Introdukciya smorodiny chernoj v Central'noj Jakutii (Introduction of black currant in Central Yakutia)*, Candidate's thesis, Novosibirsk, 2001, 154 p.
15. Chertkova M.A., *Biologicheskie osobennosti i nekotorye voprosy agrotehniki chernoj smorodiny v uslovijah Central'noj Jakutii (Biological features and some issues of black currant agrotechnics in the conditions of Central Yakutia)*, Extended abstract of candidate's thesis, Moscow, 1976, 160 p.
16. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops)*, Orel: Izd-vo VNIISPК, 1999, 608 p.
17. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops)*, Michurinsk: Izd-vo VNIИ sadovodstvaim. I.V. Michurina, 1973, 494 p.
18. *Dospekhov B.A., Metodika polevogo opyta (Field experiment methodology)*, Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.

19. Gavrilova M.K., *Klimat Central'noj Jakutii* (Climate of Central Yakutia), Yakutsk: Knizhnoe izdatel'stvo, 1973, 120 p.
20. Shashko D.I., *Klimaticheskie uslovija zemledelija Central'noj Jakutii* (Climatic conditions of agriculture in Central Yakutia), Moscow: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1961, 261 p.
21. Loskin M.I., Gotovcev S.P., Pavlova S.A., *Prirodoobustrojstvo*, 2021, No. 1, pp. 22–28. (In Russ.)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ЦМС-ЛИНИЙ СОРГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОУСЛОВИЙ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.П. Кибальник, кандидат биологических наук

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, Россия

E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Ключевые слова: сорго, ЦМС-линии, селекционно-ценные признаки, урожайность, метеоусловия, норма реакции, вклад факторов.

Реферат. Для подбора продуктивных родительских форм гибридов первого поколения сорго и их стабильного размножения семян в засушливых условиях Саратовской области одним из важных этапов селекционной практики является определение характера взаимодействия генотипа и среды. Определить вклад регулируемых и нерегулируемых факторов в общую изменчивость признака позволяет дисперсионный двухфакторный анализ, используемый в данной работе. Объектами исследований являлись 11 стерильных линий сорго зернового, выращиваемых на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в течение 2009–2018 гг. Метеорологические условия возделывания растений значительно различались: 2013 и 2017 гг. характеризовались как достаточно увлажненные (ГТК = 0,98–1,01), 2011 г. – острозасушливый (ГТК = 0,26), остальные годы – засушливые (ГТК = 0,45–0,68). В результате проведенных испытаний установлено, что ЦМС-линии различались по хозяйственно-ценным признакам. Стерильную линию А1 Ефремовское 2 следует отнести к высокорослой (131,2 см) и более продуктивной (4,41 т/га семян) с хорошо развитым листовым аппаратом (площадь наибольшего листа – 238,0 см²). Низкорослые ЦМС-линии М35 и 9Е Пищевое 614 (94,9–98,5 см) отличились выдвинутостью ножки соцветия – 21,6 см, а А3, А4 и 9Е Желтозерное 10 (109,8–110,2 см) – длинным листом (50,7–51,5 см). Среднерослые линии А2 Восторги и А4 КП 70 оказались с длинным соцветием (23,0–24,5 см), тогда как А3 Фетерита 14 – с коротким (13,7 см). Установлено, что на общую изменчивость высоты растений, длины и выдвинутости ножки соцветия, длины листа сильнее влиял генотип (41,4–61,6%), тогда как средовой фактор – на урожайность семян (55,3%).

VARIABILITY OF THE MAIN BREEDING TRAITS OF SORGO CMS LINES DEPENDING ON THE WEATHER CONDITIONS OF THE SARATOV REGION

O.P. Kibalnik, PhD in Biological Sciences

Russian Research and Design Institute of Sorghum and Maize “Rossorgo”, Saratov, Russia

E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Keywords: sorghum, CMS-lines, breeding-valuable traits, yield, weather conditions, reaction rate, the contribution of factors.

Abstract. Determining the nature of the interaction between the genotype and the environment is one of the critical stages of breeding practice for selecting effective parental forms of hybrids of the first generation of sorghum and their stable seed reproduction in the arid conditions of the Saratov region. The contribution of regulated and unregulated factors to the overall variability of a trait can be determined using a two-factor analysis of variance used in this work. The research objects were 11 sterile lines of grain sorghum grown on the experimental field of the Federal State Budgetary Research Institution RosRISM (Russian Research Institute of Sorghum and Maize) “Rossorgo” during 2009–2018. The meteorological conditions of plant cultivation varied significantly: in 2013 and 2017, they were characterised as sufficiently humid (Hydrothermal coefficient - HTC = 0.98–1.01), 2011 – acutely dry (HTC = 0.26), other years – dry (HTC = 0.45–0.68). As a result of the tests, it was found that the CMS lines differed in economically valuable traits. The sterile line A1 Efremovskoe 2 should be classified as tall (131.2 cm) and more productive (4.41 t/ha of seeds) with a well-developed leaf apparatus (the area of the giant leaf is 238.0 cm²). Low-growing CMS lines M35 and 9E Pishchevoe 614 (94.9–98.5 cm) were distinguished by the protrusion of the inflorescence stem - 21.6 cm, and A3, A4 and 9E Zheltozernoe 10 (109.8–110.2 cm) - with a long leaf (50.7–51.5 cm). Medium-sized lines A2 Vostorga and A4 KP 70 had a long inflorescence (23.0–24.5 cm), while A3 Feterita 14 had a short inflorescence (13.7 cm). It was found that the genotype (41.4–61.6%) had a more

substantial effect on the overall variability of plant height, length and protrusion of the stem of the inflorescence, and leaf length, while the environmental factor had a more substantial effect on seed yield (55.3%).

Сорго – одна из засухоустойчивых сельскохозяйственных культур многоцелевого направления использования (зернофураж, монокорм, силос, сенаж, травяные гранулы и т.д.), способная формировать стабильные урожаи зерна и биомассы в экстремальных агроклиматических условиях. Одним из способов увеличения продукции растениеводства с единицы площади является внедрение в производство гетерозисных гибридов. Создание коммерческих гибридов F₁, превосходящих родительские формы по хозяйственно-ценным признакам и урожайности, стало возможным с открытием цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) у многих сельскохозяйственных растений, в том числе и сорго [1–2]. При гибридизации в качестве материнской формы используют линии с цитоплазматической мужской стерильностью, а в качестве отцовской – восстановители фертильности (сорта или линии) [3].

Вместе с тем рядом исследователей отмечено, что повышение урожайности сортов или гибридов различных сельскохозяйственных культур тесно связано с их устойчивостью к действию абиотических и биотических факторов, а вариабельность признаков обусловлена не только условиями их возделывания, но также определяется генотипом и взаимодействием «генотип – среда» [4–7]. Однако результаты генотип-средового взаимодействия не всегда можно точно прогнозировать. В этой связи селекционеры осуществляют селекционный процесс или одновременно в нескольких географических точках, или испытывают образцы в течение длительного периода [8], причем среди полевых культур отмечается существенная изменчивость доли вклада генотипа и среды в общее фенотипическое варьирование урожайности в зависимости от климатических условий [9]. Поэтому в селекционном процессе создания новых сортов и гибридов выявление закономерностей варьирования количественных признаков и наиболее ценных генотипов приобретает важное значение [10]. Особое внимание в гетерозисной селекции следует уделять изменчивости количественных признаков, урожайности компонентов скрещиваний в различные по метеорологическим условиям сезоны возделывания.

Цель исследований – определить влияние генотипа и условий среды на проявление селек-

ционно-ценных признаков у ЦМС-линий сорго в зависимости от метеорологических условий Саратовской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований, проводившихся в 2009–2018 гг., являлись 11 ЦМС-линий – А2 КВВ 114, А2 Восторг, А3 Фетерита 14, А4 КП 70, М35-1А Пищевое 614, 9Е Пищевое 614, А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10, А2 КВВ 181, А1 Ефремовское 2.

Площадь делянки – 7,7 м². Густота стояния растений составила 100 тыс. шт/га. Повторность трехкратная. Оценку показателей селекционно-ценных признаков (высота растений, длина и выдвинутость ножки соцветия, параметры наибольшего листа, урожайность семян) проводили согласно общепринятой методике [11].

Для установления влияния генотипа ЦМС-линий, условий их выращивания и взаимодействия факторов «генотип» и «год» проведен дисперсионный двухфакторный анализ (где фактор А – генотип ЦМС-линии, фактор В – условия года) селекционных признаков с помощью программы Агрос 2.09.

Сложившиеся метеорологические условия выращивания материнских форм для гибридов сорго отличались гидротермическим режимом, что позволило объективно оценить норму реакции исходного материала. Установлено, что 2013 и 2017 гг. отличались достаточно хорошей влагообеспеченностью: гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,98 и 1,01 соответственно (рис.1). В этот период осадков выпало 248,9–257,6 мм, тогда как сумма активных температур оказалась в пределах 2475–2634°C. Очень низкий ГТК наблюдался в 2010 г. – всего 0,26. В этот сезон практически не выпадало осадков (81,4 мм), при этом сумма активных температур достигла 3100°C. В остальные годы ГТК варьировал в интервале 0,45–0,68, что свидетельствует о засушливых условиях.

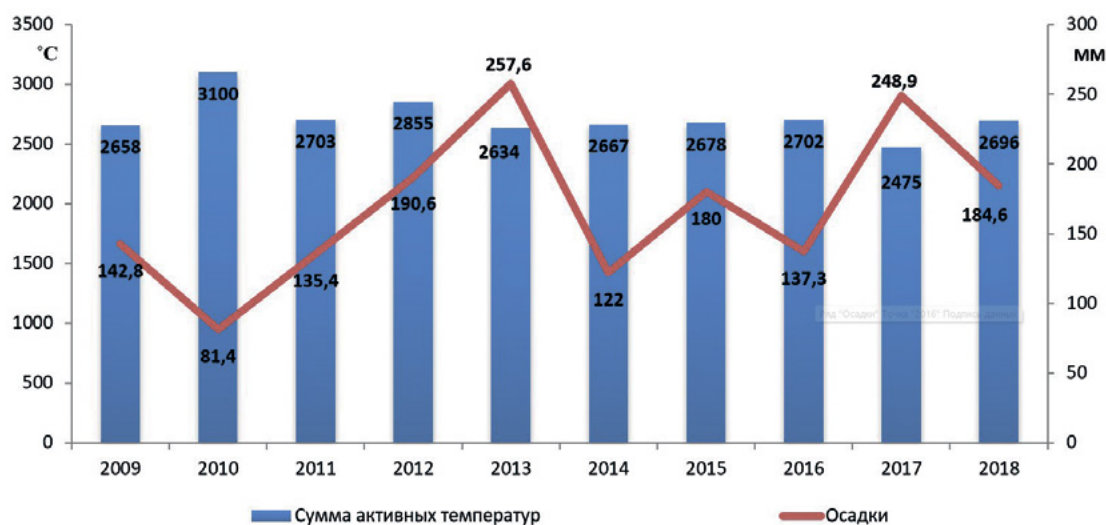


Рис. 1. Изменчивость гидротермического режима в период вегетации растений ЦМС-линий сорго

Fig. 1. Variability of the hydrothermal regime during the vegetation period of sorghum CMS lines

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из задач селекционера является изучение влияния метеорологических условий на рост, развитие, урожайность сорта и качество полученной продукции [12]. Статистическая обработка экспериментальных данных методом дисперсионного двухфакторного анализа

показала значительное влияние факторов А (генотип) и В (условия года), а также их взаимодействия на проявление всех изучаемых признаков (табл. 1). В среднем за годы исследований ЦМС-линии различались по всем представленным признакам. Наибольшей высотой растений (131,2 см) характеризовалась ЦМС-линия А1 Ефремовское 2 (табл. 2).

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа по селекционно-ценным признакам ЦМС-линий сорго
The results of analysis of variance by selection-valuable traits of sorghum CMS lines

Показатель	Генотип линии (фактор А)	Условия года (фактор В)	Взаимодействие факторов АВ	Неучтенный фактор
df	10	9	90	218
Высота растений				
SS	29739,33	19726,36	14111,56	5531,14
F ₀₅	117,21*	86,38*	6,18*	
Длина соцветия				
SS	2845,01	487,27	726,31	552,15
F ₀₅	112,32*	21,37*	3,18*	
Выдвинутость ножки соцветия				
SS	5472,28	1017,96	2144,41	1463,82
F ₀₅	81,49*	16,84*	3,54*	
Длина наибольшего листа				
SS	10071,54	5246,69	6109,82	2846,58
F ₀₅	77,13*	44,64*	5,19*	
Площадь наибольшего листа				
SS	299909,00	273013,96	213965,09	107161,43
F ₀₅	61,01*	61,71*	4,83*	
Урожайность семян				
SS	44,11	349,79	187,20	49,29
F ₀₅	19,51*	171,89*	9,20*	

* p<0,05.

Стерильные линии А2 Восторг, А3 Фетерита 14 и А4 КП 70 оказались средними по высоте растений (115,7–118,2 см). ЦМС-линии М35 и 9Е Пищевое 614, А2 КВВ 114, А2 КВВ 181, 9Е, А3 и А4 Желтозерное 10

отличились наименьшей высотой при созревании (94,9–110,2 см). В условиях достаточной влагообеспеченности 2017 г. отмечены более высокие значения признака – 123,3 см (рис. 2).

Таблица 2

Селекционно-ценные признаки стерильных линий сорго зернового (среднее за 2009–2018 гг.)
Selection-valuable traits of sterile lines of grain sorghum (average for 2009–2018)

ЦМС-линия	Высота растений, см	Соцветие, см		Наибольший лист		Урожайность семян, т/га
		длина	выдвинутость ножки	длина, см	площадь, см ²	
А2 КВВ 114	109,3d	21,0cde	6,5a	44,8c	150,7b	3,82de
А2 Восторг	118,2g	23,0fg	15,3cd	42,8c	153,3b	3,79cde
А3 Фетерита 14	117,1fg	13,7a	16,6d	39,7b	167,4ef	4,01de
А4 КП 70	115,7efg	24,5h	19,4e	44,2c	187,6g	4,04de
М35 Пищевое 614	94,9a	21,1e	21,6g	43,1c	147,3b	3,15a
9Е Пищевое 614	98,5b	21,1de	21,6fg	43,5c	154,0b	3,21a
А3 Желтозерное 10	110,2d	17,9b	15,9d	50,7def	165,7c-f	3,83de
А4 Желтозерное 10	109,8d	18,2b	16,4d	51,1ef	166,1def	3,75bcd
9Е Желтозерное 10	109,8d	18,6b	16,8d	51,5f	170,2f	3,80de
А2 КВВ 181	103,6c	18,7b	12,9b	36,5a	107,2a	3,28a
А1 Ефремовское 2	131,2h	23,5g	13,1b	55,9g	238,0h	4,41f
НСР ₀₅	2,55	0,80	1,31	1,83	11,25	0,24

Примечание. Данные, обозначенные разными буквами в столбцах, значимо различаются между собой в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

Note. According to Duncan's multiple comparisons tests, data labelled with different letters in the columns differ significantly.

Анализ литературных данных показал, что высота растений сорговых культур зависит от количества осадков, выпавших за вегетационный период [13]. В данных исследованиях вклад генотипа линии в формирование высоты растений составил 43,0%, условий выращивания – 28,5, взаимодействия факторов – 20,4% (рис. 3).

Длина соцветия варьировала в пределах 13,7–24,5 см. Более длинным соцветием отличились линии А4 КП 70, А2 Восторг, А1 Ефремовское 2 – 23,0–24,5 см (см. табл. 1). Наибольшая величина признака установлена в условиях 2010–2012, 2015 и 2018 гг. – 21,0–21,4 см (см. рис. 2). Причем в формирование длины метелки наибольший вклад вносят фактор А – 61,6 %, взаимодействие факторов А и В – 15,7, фактор В – 10,5% (см. рис. 3). Аналогичное влияние на изменчивость признака генотипи-

ческого фактора выявлено и у других сельскохозяйственных культур [14].

На выдвинутость ножки метелки в большей степени повлиял фактор «генотип» – 54,1%, тогда как фактор «условия года» всего на 10,0, их взаимодействие – на 21,4% (см. рис. 3). ЦМС-линии М35 и 9Е Пищевое 614 отличились по данному признаку: выдвинутость ножки соцветия составила 21,6 см в среднем за 2009–2018 гг. (см. табл. 2). Следует отметить, что на увеличение значения признака всех стерильных линий оказали условия 2013–2014 гг. – 18,3–18,7 см (см. рис. 2).

Длина листа изменялась от 36,5 до 55,9 см в зависимости от генотипа ЦМС-линии (см. табл. 2). При этом доля генотипического фактора – 41,4, а средового – 21,6% (см. рис. 3).

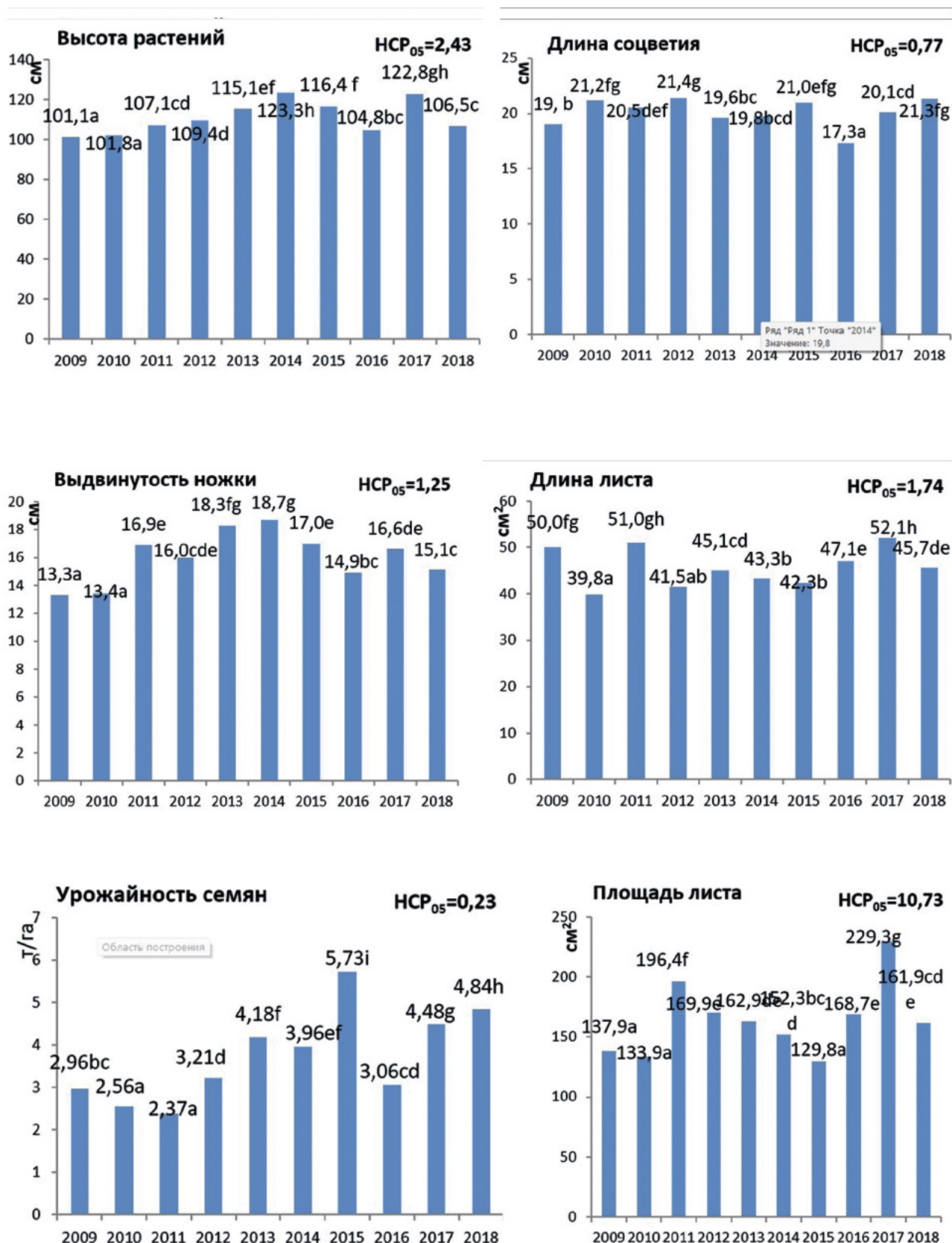


Рис. 2. Влияние условий года на величину селекционных признаков (2009–2018 гг.)

Fig. 2. Influence of the conditions of the year on the value of breeding traits (2009–2018)

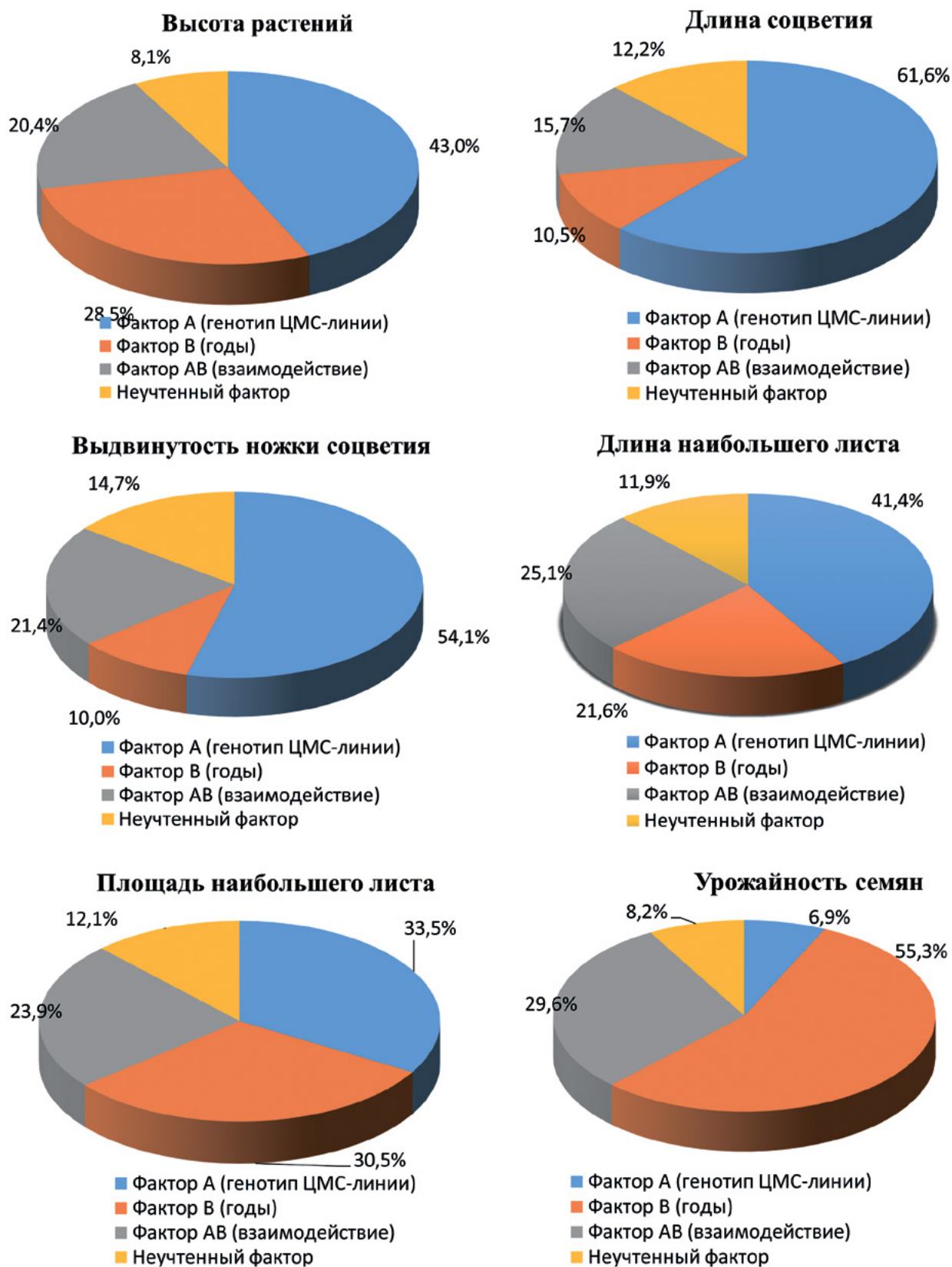


Рис. 3. Доля факторов в проявлении селекционных признаков у стерильных линий сорго (2009–2018 гг.)

Fig. 3. The share of factors in the manifestation of breeding traits in sterile sorghum lines (2009–2018)

Отмечена также вариабельность величины признака по годам: от 39,8 до 52,1 см. Наибольшее значение длины листа наблюдалось у ЦМС-линий в условиях 2009, 2011, 2017 гг. – 50,0–52,1 см (см. рис. 2). Следует отметить, что у сортов зернового сорго изменчивость данного признака также зависит в большей степени от генотипа [15].

Стерильные линии различались и по площади фотосинтезирующей поверхности (107,2–238,0 см²). Невысокие значения выявлены у линии А2 КВВ 181, а наибольшие – у А1 Ефремовское 2. Благоприятными условиями для формирования площади наибольшего листа у растений материнских форм характеризовался 2017 г.: в среднем по линиям значение признака составило 229,3 см². Влияние генотипического и средового факторов за период исследований проявлялось практически равнозначно – 33,5 и 30,5% соответственно.

Повышение стабильности урожайности семян родительских форм – наиболее значимый показатель при производстве гибридов. По урожайности семян выделились стерильные линии А3 Фетерита 14, А4 КП 70 и А1 Ефремовское 2: в среднем за 2009–2018 гг. они сформировали 4,01–4,41 т/га, причем наибольшие показатели продуктивности установлены в условиях 2015 г. – 5,73 т/га в среднем по изученным материнским линиям. Следует отметить, урожайность семян существенно зависит от условий среды: доля фактора В (условия года) составила 55,3%, тогда как генотипа ЦМС-линии (фактор А) – 6,9%. Анализ литературных данных показал, что у некоторых сельскохозяйственных культур в изменчивость признака «урожайность зерна» средовой фактор или взаимодействие факторов «генотип» и «среда» вносят больший вклад, в том числе у гибридов первого поколения и сортов сорго [15–19]; у других растений, например ячменя, – действие факторов равнозначное [7]. Полученные результаты по влиянию факторов «генотип» и

«среда» на проявление селекционно-ценных признаков компонентов скрещиваний гибридов F₁ следует учитывать в селекционной практике при подборе и размножении родительских форм в условиях Саратовской области.

ВЫВОДЫ

1. Установлены различия между изучаемыми материнскими формами по селекционным признакам. Выявлены высокорослые (А1 Ефремовское 2) и низкорослые формы (М35 и 9Е Пищевое 614), с длинными листьями (А3, А4, 9Е Желтозерное 10), с крупным (А2 Восторг, А4 КП 70) и мелким соцветием (А3 Фетерита 14), а также наиболее продуктивные (А1 Ефремовское 2, А3 Фетерита 14, А4 КП 70).

2. Отмечена реакция генотипов ЦМС-линий на изменение климатических условий в сезоны выращивания. Так, наибольшая урожайность семян и длина соцветия сформированы в умеренно засушливых условиях 2015 г. (ГТК = 0,67): за период вегетации материнских растений сумма активных температур достигла 2678°C, а количество осадков 187 мм. Увеличение признаков высоты растений, длины и площади наибольшего листа выявлено в условиях 2017 г., отличающегося достаточно хорошей влагообеспеченностью (ГТК = 1,01).

3. Взаимодействие «генотип × условия года» выявлено по всем изученным признакам ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). Наибольший вклад генотипический фактор вносит в общую изменчивость признаков: высоты растений при созревании (43,0%), длины и выдвинутости ножки соцветия (54,1–61,6%), длины наибольшего листа (41,4%). Вместе с тем выявлено, что фактор «условия года» наибольшее влияние оказал на формирование урожайности семян (55,3%).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болдырева Л.Л., Бритвин В.В. Оценка гетерозиса по основным морфо-биологическим признакам и свойствам у гибридов F₁ зернового сорго // Известия Оренбургского государственного университета. – 2017. – №3 (65). – С. 225–229.
2. Кибальник О.П. Использование эффекта гетерозиса в селекции сорго // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 2 (51). – С. 15–24.
3. Кибальник О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – № 21(6). – С. 651–656.
4. Кравченко Р.В. Адаптивность и стабильность проявления урожайных свойств гибридов кукурузы на фоне антропогенных факторов // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 77 (03). – С. 770–784.

5. Лепехов С.Б. Эффекты взаимодействия генотип–среда у сортов яровой мягкой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 7 (141). – С. 9–14.
6. Сапега В.А., Турсумбеков Г.Ш. Урожайность и адаптивность сортов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Северного Зауралья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3 (64). – С. 67–75.
7. Тетяников Н.В., Боме Н.А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зауралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – № 182 (3). – С. 63–73.
8. Hollamby G., Bayraktar A. Breeding, Objectives, Philosophies and Methods in South Australia // M.P. Reynolds, S. Rajaram and A. McNab (eds.). Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers. – Mexico: CIMMYT, 1996. – P. 52–65.
9. Зенкина К.В., Асеева Т.А. Эффекты взаимодействия генотипов ярового тритикале с факторами окружающей среды // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 4. – С. 18–22.
10. Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 19–25.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – Вып. 2. – 194 с.
12. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий / Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов, А.Е. Романюкин, Г.М. Ермолина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 23 (3). – С. 334–342.
13. Ковтунова Н.А., Ермолина Г.М., Шишова Е.А. Влияние метеорологических условий на основные хозяйственно-ценные признаки сорго сахарного // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 1. – С. 31–34.
14. Изменчивость признаков продуктивности колоса у гибридов F₂, полученных от скрещивания сортов мягкой пшеницы Новосибирская 67, Саратовская 29, Пуза-4 с многоцветковой линией SKLE 123-09 / В.С. Арбузова, Т.Т. Ефремова, П. Мартинек [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18, № 4/1. – С. 704–712.
15. Старчак В.И. Оценка взаимодействия «генотип–среда» по хозяйственно-ценным параметрам зернового сорго // Молодежь и наука XXI века: материалы Междунар. науч. конф. Молодежь и наука XXI – Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2018. – Т.2. – С. 287–290.
16. Кибальник О.П. Параметры адаптивности гибридов F₁ зернового сорго на основе А3, А4 и 9Е типов стерильности // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2019. – № 3. – С. 13–16.
17. Гусева С.С., Жужукин В.И., Кудряшов С.П. Изучение влияния «генотип–среда» сортов и гибридов подсолнечника в условиях Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 6. – С. 10–14.
18. Экологическое изучение гибридов кукурузы в степной зоне Нижнего Поволжья / С.А. Зайцев, Д.П. Волков, Л.А. Гудова, В.И. Жужукин // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 4. – С. 13–17.
19. Батов А.С., Гуреева Ю.А. Исходный материал для селекции картофеля на продуктивность в условиях лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4 (65). – С. 22–29.

REFERENCES

1. Boldyreva L.L., Britvin V.V., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No. 3 (65), pp. 225–229. (In Russ.)
2. Kibalnik O.P., *Vestnik NGAU*, 2019, No. 2 (51), pp. 15–24. (In Russ.)
3. Kibalnik O.P., *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2017, No. 21 (6), pp. 651–656. (In Russ.)
4. Kravchenko R.V., *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2012, No. 77 (03), pp. 770–784. (In Russ.).

5. Lepehov S.B., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 7 (141), pp. 9–14. (In Russ.).
6. Sapega V.A., Tursumbekov G.Sh., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 3 (64), pp. 67–75. (In Russ.).
7. Tetyannikov N.V., Bome N.A., *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 2021, No. 182 (3), pp. 63–73. (In Russ.).
8. Hollamby G., Bayraktar A., Breeding, Objectives, Philosophies and Methods in South Australia, *M.P. Reynolds, S. Rajaram and A. McNab (eds.). Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers*, Mexico: CIMMYT, 1996, pp. 52–65.
9. Zenkina K.V., Aseeva T.A., *Vestnik rossiiskoi sel'skohozyaistvennoi nauki*, 2019, No. 4, pp. 18–22. (In Russ.).
10. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 2 (63), pp. 19–25. (In Russ.).
11. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Issue 2, Moscow: Agropromizdat, 1989, 194 p.
12. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Romanyukin A.E., Ermolina G.M., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 23 (3), pp. 334–342. (In Russ.).
13. Kovtunova N.A., Ermolina G.M., Shishova E.A., *Zernovoe hozyaistvo Rossii*, 2013, No. 1, pp. 31–34. (In Russ.).
14. Arbuzova V.S., Efremova T.T., Martinek P., Chumanova E.V., Dobrovolskaya O.B., *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2014, Is. 18, No. 4/1, pp. 704–712. (In Russ.).
15. Starchak V.I., *Molodezh' i nauka XXI veka* (Youth and science of the XXI century), Materials of the International Scientific Conference, Ulyanovsk: Ulyanovskii GAU, 2018, Is. 2, pp. 287–290. (In Russ.).
16. Kibalnik O.P., *Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka*, 2019, No. 3, pp. 13–16. (In Russ.).
17. Guseva S.A., Zhuzhukin V.I., Kudryashov S.P., *Agrarnui nauchnyi zhurnal*, 2019, No. 6, pp. 10–14. (In Russ.).
18. Zaitsev S.A., Volkov D.P., Gudova L.A., Zhuzhukin V.I., *Agrarnui nauchnyi zhurnal*, 2022, No. 4, pp. 13–17. (In Russ.).
19. Batov A.S., Gureeva Y.A., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 4 (65), pp. 22–29. (In Russ.).

СТЕКЛОВИДНОСТЬ ЗЕРНА И ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

М.Н. Кирьякова, кандидат сельскохозяйственных наук

В.С. Юсов, кандидат сельскохозяйственных наук

М.Г. Евдокимов, доктор сельскохозяйственных наук

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

E-mail: m_kiriakova@mail.ru

Ключевые слова: твердая пшеница, сорт, линии, стекловидность, экологическая пластичность, адаптивная способность, АММИ-анализ.

Реферат. Изучение сортов и линий твердой яровой пшеницы по стекловидности зерна проводили в 2019–2022 гг. на базе селекционного севооборота лаборатории твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ», а также на опорном пункте семеноводства в степной зоне в пос. Новоуральский Таврического района Омской области. Конкурсное сортоиспытание было заложено по чистому пару в количестве 26 номеров, из них 5 сортов. Площадь делянок 10 м², повторность четырехкратная, размещение рендомизированное. Погодные условия отличались контрастностью как по осадкам, так и по температурному режиму. В 2019 г. сложились нетипичные метеорологические условия: благоприятные в первый период вегетации и засушливые во второй (поволжский тип засухи), в 2020 г. засуха наблюдалась в течение всего лета. Самые неблагоприятные условия налива и созревания зерна складывались в 2021 и 2022 гг. Параметры экологической пластичности рассчитывали по S.A. Eberhart, W.A. Russell. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ-анализ) были определены по R.W. Zobel и др. Проведенный анализ показал эффективность дифференциации реакции генотипа на окружающую среду АММИ анализа и модели S.A. Eberhart, W.A. Russell. Средний показатель стекловидности за 2019–2022 гг. составил 57,5%. По сортам и линиям стекловидность варьировала от 54 до 62%. Наиболее отзывчивыми на изменение условий среды оказались линии Гордеиформе 12-11-7 и Гордеиформе 14-83-1. Для возделывания в условиях Западной Сибири рекомендуются сорт: Омский малахит и линия Гордеиформе 12-75-3.

VITRICITY OF GRAIN AND EVALUATION OF ADAPTIVE CAPABILITY OF PERSPECTIVE LINES OF SPRING HARD WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE OMSK REGION

M.N. Kiryakova, PhD in Agricultural Sciences

V.S. Yusov, PhD in Agricultural Sciences

M.G. Evdokimov, Doctor of Agricultural Sciences

Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia

E-mail: m_kiriakova@mail.ru

Keywords: durum wheat, variety, lines, vitreousness, ecological plasticity, adaptive capacity, AMMI-analysis.

Abstract. The authors studied varieties and lines of durum spring wheat according to grain vitreousness in 2019–2022 based on the selected crop rotation of the durum wheat laboratory of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Omsk ANC”, as well as at the stronghold of seed production in the steppe zone in the village Novouralsky of the Tavrichesky district of the Omsk region. Competitive variety testing was based on a pure fallow of 26 numbers, five varieties. The area of plots is ten m², repeated four times; the placement is randomised. The weather conditions differed, in contrast, both in terms of precipitation and temperature regime. In 2019, atypical meteorological conditions developed: favourable in the first growing season and dry in the second (Volga type of drought); in 2020, a deficit was observed throughout the summer. The most unfavourable conditions for filling and ripening of grain took shape in 2021 and 2022. Ecological plasticity parameters were calculated according to S.A. Eberhart and W.A. Russell. The effects of additive and multiplicative interactions (AMMI-analysis) were determined by R.W. Zobel et al. The analysis showed the effectiveness of differentiating the genotype's response to the AMMI analysis's environment and the S.A. Eberhart, W.A. Russell. Average vitreousness for 2019–2022

amounted to 57.5%. According to varieties and lines, vitreousness varied from 54 to 62%. The lines Gordeiforme 12-11-7 and Gordeiforme 14-83-1 were the most responsive to changing environmental conditions. For cultivation in Western Siberia, the following varieties are recommended: Omsk malachite and the line Gordeiforme 12-75-3.

Пшеница – ведущая зерновая культура в России. Центр происхождения твёрдой пшеницы, по исследованиям Н.И. Вавилова, – Абиссинское нагорье Африки. Мировые лидеры в производстве твёрдой пшеницы – Китай, Индия и Россия. Твёрдая пшеница отличается от мягкой по белковому и углеводному составу зерна. Зерно твёрдой пшеницы используют для получения макарон, крупяных изделий, бездрожжевого хлеба и пасты. К основным признакам качества зерна относится стекловидность, чем она выше, тем больше размер частиц семолины. Мучнистое зерно снижает варочные свойства и цвет пасты. Стекловидное зерно твердой пшеницы характеризуется повышенной углеводно-амилолитической активностью, оно более плотное по консистенции [1–3]. Установлено, что на стекловидность влияют температурный режим в период вегетации, относительная влажность воздуха и водный режим [4–7]. Стекловидность повышается при уменьшении влаги в почве, на нее благоприятно влияют сбалансированный запас азота и фосфора в почве.

Основные зоны выращивания твердой пшеницы в Западной Сибири – степная и южная лесостепь. Генотипы с широкой нормой реакции растут в различных условиях и обладают сравнительно высокой продуктивностью, узкая норма реакции генотипа приводит к неустойчивости урожая по годам [5–7]. Знание закономерностей изменчивости количественных и качественных признаков играет важную роль в селекционном процессе, а также дает возможность определить экологическую пластичность и стабильность сортов и генотипов [8–11]. Эффекты взаимодействия генотипа с окружающей средой (GxE) представляют особый интерес для селекционных программ. Одним из методов оценки является модель аддитивного основного эффекта и мультипликативного взаимодействия (АММИ). Взаимодействие (GxE) вносит несогласованность в относительный рейтинг генотипов в разных средах и играет важную роль в разработке стратегий улучшения качества зерна.

Цель исследований — определить адаптивные свойства и генотип-средовые взаимодействия в формировании стекловидности зерна линий яровой твердой пшеницы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – 5 сортов и 21 линия конкурсного сортоиспытания яровой твердой пшеницы. Изучение линий проводили в 2019–2022 гг. на опытных полях Омского АНЦ и в опорном пункте семеноводства в степной зоне в пос. Новоуральский Таврического района Омской области (НУ) в полном соответствии с требованиями и рекомендациями. Опыты в обоих экологических пунктах были заложены по чистому пару, площадь делянок 10 м², повторность четырехкратная.

Почва опытного участка – чернозем слабовыщелоченный среднегумусный (6,2%) тяжелосуглинистый. Срок посева – 14–15 мая, норма высева – 4,5 млн всхожих зерен на 1 га. Показатель стекловидности определяли процентным содержанием стекловидных зерен путем разрезания каждого зерна в анализируемой пробе (ГОСТ 10987-76, с изменениями в редакции 2018 г.). Параметры экологической пластичности рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russel [12]. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ-анализ) были определены по R.W. Zobel и др., рассчитывались уровень фенотипической стабильности генотипов (ASV) и индекс стабильности взаимодействия (YSI), а также их ранги rASV и rYSI [13–15].

Осадки в период проведения опытов распределялись неравномерно. В 2019–2020 гг. метеорологические условия были благоприятными в первый период вегетации и засушливыми – во второй. В 2021–2022 гг. засуха наблюдалась в течение всего лета, основным лимитирующим фактором была почвенная засуха, вызванная дефицитом атмосферных осадков от всходов до начала налива зерна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели стекловидности в питомнике конкурсного сортоиспытания у сортов и линий имели низкие значения, это связано с неблагоприятными погодными условиями в годы исследований. Стекловидность зерна у сортов Омский изумруд, Омский лазурит и Омский малахит (средняя за 2019–2022 гг.) в Омском АНЦ составила 56–58% (таблица). В самом

неблагоприятном 2019 г., когда в наиболее критический период развития растений (июнь – первая декада июля) наблюдалась повышенная температура воздуха и нехватка осадков, стекловидность варьировала от 39 до 53 %. В 2022 г. стекловидность повышалась до 65% у линий Гордеиформе 12-75-3 и Гордеиформе 12-16-9. Новый сорт Омский малахит и линии Гордеиформе 12-11-5 и Гордеиформе 12-75-3 имели более высокую стекловидность независимо от зоны выращивания.

За годы исследований в южной лесостепной зоне Омской области преимущество имели генотипы Гордеиформе 11-48-2, Гордеиформе 11-49-1, Гордеиформе 11-77-3, Гордеиформе 12-11-5, Гордеиформе 12-75-3, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 12-75-1, которые досто-

верно превысили среднее значение показателя. В степной зоне в пос. Новоуральский в 2021 г. стекловидность зерна у сортов и гибридов составила в среднем 58%, достоверно превысил стандарты образец Гордеиформе 12-17-2. Значение коэффициента регрессии стекловидности зерна находилось в пределах от 0,12 до 1,85. Наиболее отзывчивы на условия среды генотипы Гордеиформе 12-11-7 и Гордеиформе 14-83-1. Показатель (B_{2d}) характеризует стабильность сорта в различных условиях среды. Слабой реакцией на внешнюю среду обладали сорта Омский изумруд, Омская янтарная и Гордеиформе 13-37-2 (см. таблицу). Показатель стабильности свидетельствует о более низкой изменчивости признака у линий: Гордеиформе 13-37-2 и Гордеиформе 11-49-1

Стекловидность, показатели пластичности и стабильности образцов в конкурсном сортоиспытании
Vitreousness, indicators of plasticity and stability of samples in competitive variety testing

№ п/п	Образец	Стекловидность, %				Показатель пластичности и стабильности	
		АНЦ, 2019–2022 гг.	НУ 2021 г.	rASV	rYSI	B_i	B_{2d}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Жемчужина Сибири	55	57	14	20	0,61	10,46
2	Омская янтарная	56	56	17	21	0,46	5,26
3	Омский изумруд	56	59	11	14	0,45	3,41
4	Омский лазурит	56	59	7	12	0,86	6,57
5	Г.11-48-2	58	57	19	6	1,07	15,45
6	Омский малахит	58	57	4	8	0,84	5,63
7	Г.10-71-3	55	57	20	18	1,43	10,14
8	Г.11-47-1	57	57	24	6	1,28	24,61
9	Г.11-49-1	60	59	18	3	0,12	0,97
10	Г.11-77-3	59	59	25	4	1,13	26,10
11	Г.12-11-5	61	58	26	1	1,14	55,09
12	Г.12-75-3	62	56	1	3	0,62	8,99
13	Г.14-83-1	56	57	21	15	1,83	10,81
14	Г.11-49-1-1	54	59	15	22	1,60	6,35
15	Г.11-92-1	54	58	12	25	1,50	5,73
16	Г.11-75-2	55	57	23	24	1,69	6,25
17	Г. 11-98-3	58	58	13	14	1,08	2,54
18	Г. 11-99-1	57	58	9	16	0,89	3,04
19	Г.11-99-6	56	58	5	17	0,68	2,54
20	Г.12-11-7	54	58	22	26	1,85	7,53
21	Г.12-16-9	59	57	16	10	1,11	4,76
22	Г. 12-17-2	57	60	2	7	1,27	4,52
23	Г.12-48-5	54	57	3	23	0,79	2,77
24	Г.12-75-1	58	59	8	9	0,68	2,54
25	Г.13-18-3	55	57	6	20	0,63	1,42
26	Г.13-37-2	57	57	10	11	0,36	0,42
<i>По всем изученным образцам</i>							
Среднее		57	58				

1	2	3	4	5	6	7	8
Максимум		62	60			1,85	55,09
Минимум		54	56			0,12	0,42

Метод АММИ biplot позволяет исключить остаточные отклонения от взаимодействия генотипа и среды [14–16]. Первый биplot (рис.1) показывает средний эффект стабильности генотипа и среды. Самые неблагоприятные условия для формирования признака сложились в 2019 г. в южной лесостепи. Средний (основной эффект) взаимодействия генотипа и среды, отражающий 50,1% фенотипического варьирования, показанный на рис. 1, предполагает очень сильное взаимодействие генотипов и среды – 49,9%. Меньшие значения ASV

указывают на более стабильные генотипы, и в нашем исследовании это сорт Омский малахит, Гордеиформе 12-75-3 и Гордеиформе 12-17-2. Индекс стабильности взаимодействия (YSI) включает как среднее значение показателя, так и стабильность в одном критерии – наиболее адаптивными генотипами являются Гордеиформе 11-49-1(9) и Гордеиформе 12-75-3 (12), Омский малахит (6). Из всех выше перечисленных сортов по обоим показателям ранги совпали только у Гордеиформе 12-75-3.

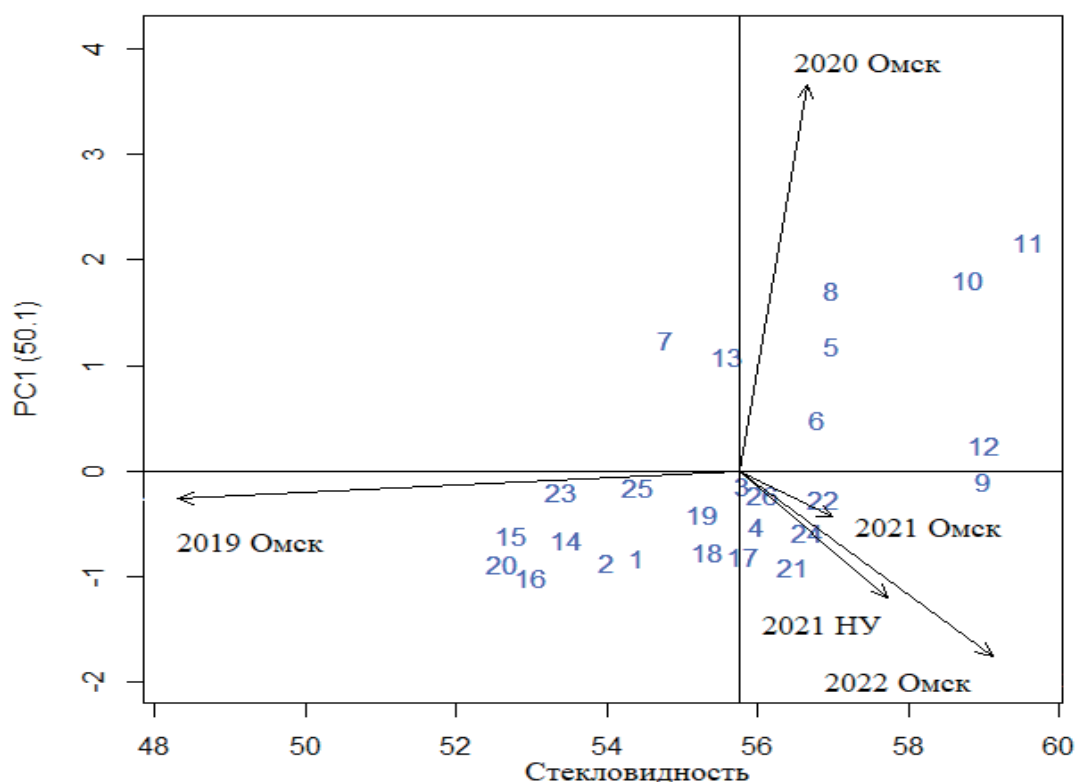


Рис. 1. Распределение сортов и значения стекловидности в плоскости первой главной компоненты, 2019–2022 гг. (Нумерация сортов на рис. 1 и 2 соответствует таковой в таблице)

Fig. 1. Distribution of varieties and glassiness values in the plane of the first principal component, 2019–2022 (The numbering of sorts in Fig. 1 and 2 corresponds to that in the table)

Биplot АММИ2 был сгенерирован с использованием генотипических и экологических оценок первых двух мультипликативных компонентов АММИ для перекрестной оценки взаимодействия генотипов и сред. На биплоте эффект взаимодействия генотипа и среды уже отражает 83,4 % фенотипического варьирования (рис. 2). Наибольшее взаимодействие G x E

происходило в 2019 и 2020 гг. в южной лесостепи, при этом самые неблагоприятные условия для формирования стекловидности складывались в 2019 г. Наименьшим взаимодействием G x E обладают линии Омский малахит (6) и Гордеиформе 12-75-3(12).

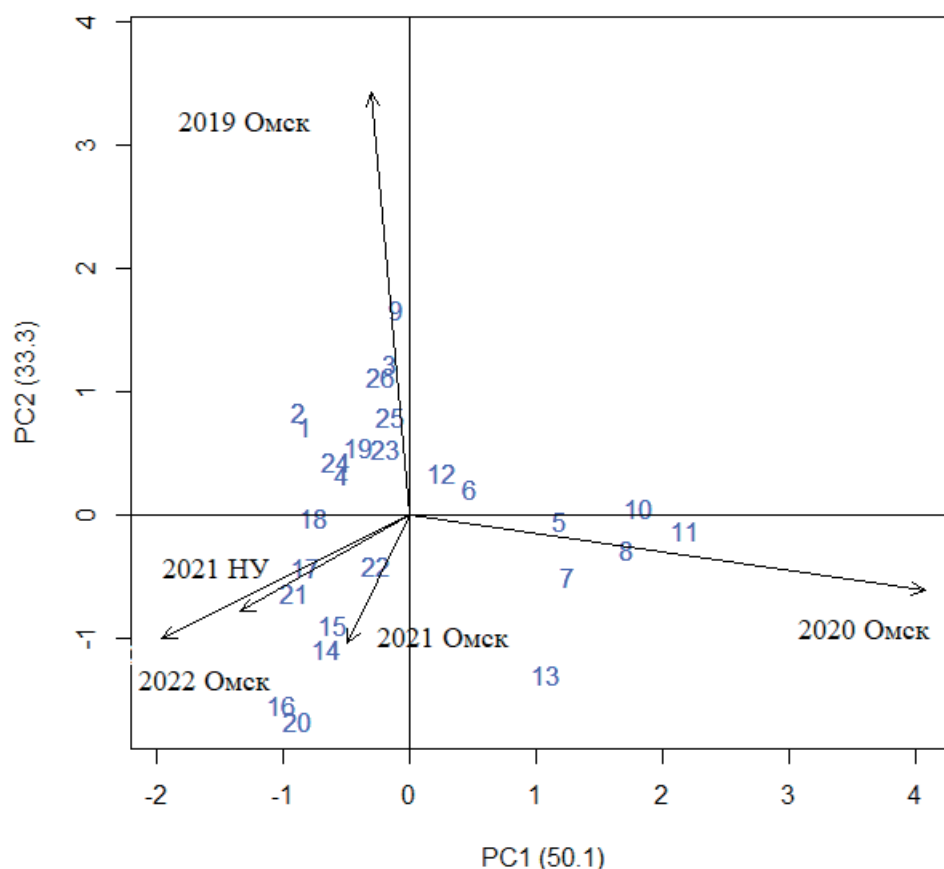


Рис. 2. Распределение сортов в плоскости первых двух главных компонент в зависимости от значения стекловидности зерна, 2019–2022 гг.

Fig. 2. Distribution of varieties in the plane of the first two principal components depending on the value of grain vitreousness, 2019–2022

ВЫВОДЫ

1. Средний показатель стекловидности зерна за 2019–2022 гг. составил 57,5%. По сортам и линиям стекловидность варьировала от 54 до 62%.

2. Наиболее отзывчивыми на изменение условий среды оказались линии Гордеиформе 12-11-7 и Гордеиформе 14-83-1.

3. Для возделывания в условиях Западной Сибири рекомендуются сорт Омский малахит и линия Гордеиформе 12-75-3.

4. АММИ-анализ и регрессионная модель S.A. Eberhart, W.A. Russell эффективны, эти методики подтверждают высокую адаптивность сорта Омский малахит и линии Гордеиформе 12-75-3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сандакова Г.Н. Научно обоснованные параметры модели погодных условий для формирования высокостекловидного зерна твердой пшеницы в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 5. – С. 33–37.
2. Зверев С.В., Панкратьева И.А., Политуха О.В. Стекловидность как показатель качества зерна пшеницы // Хранение и переработка зерна. – 2017. – № 11 (219). – С. 33–34.
3. Евдокимов М.Г., Юсов В.С. Яровая твердая пшеница в Сибирском Прииртышье. – Омск, 2008. – 160 с.

4. *Стекловидность* зерна твёрдой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири / М.Г. Евдокимов, В.С. Юсов, И.В. Пахотина, М.Н. Кирьякова // *Зерновое хозяйство России*. – 2019. – № 5 (65). – С. 24–28.
5. *Розова М.А., Янченко В.И., Мельник В.М.* Экологическая пластичность яровой твёрдой пшеницы в условиях Алтая: монография / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. АНИИСХ. – Барнаул: Азбука, 2010. – С. 18–30.
6. *Юсов В.С., Евдокимов М.Г.* Твёрдая пшеница в лесостепи Западной Сибири. Достижения и перспективы // *Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф.* – 2017. – С. 106–111.
7. *Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г.* Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 2. – С. 19–25. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25>.
8. *Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes* / B. Vaezi, A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi [et al.] // *Euphytica*. – 2019. Vol. 25. – P. 63. – <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5>.
9. *Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка)* / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.С. Юсов [и др.]. – Уфа, 2011. – 97 с.
10. *Мальчиков П.М., Мясникова М.Г., Чахеева Т.В.* Графический (с применением GGE biplot методов) анализ урожайности и её стабильности в процессе селекции яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36, № 6, – С. 11–16.
11. *Predicting Yield and Stability Analysis of Wheat under Different Crop Management Systems across Agro-Ecosystems in India* / M.L. Jat, R.K. Jat, P. Singh [et al.] // *American Journal of Plant Sciences*. – 2017. – Vol. 8. – P. 1977–2012. – <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88133>.
12. *Eberhart S.A., Russell W.A.* Stability parameters for comparing varieties. // *Corp. Sci.* – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40.
13. *Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G.* Statistical Analysis of a Yield Trial // *Agronomy Journal*. – 1988. – Vol. 80. – P. 388–393. – <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002>.
14. *Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI Analysis of Genotype × Environment Interaction* / K. Hongyu, M. Garcia-Pena, L.B. de Araujo, C.T.S. Dias // *Biometrical Letters*. – 2014. – Vol. 51. – P. 89–102. – <https://doi.org/10.2478/bile-2014-0007>.
15. *Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D.* Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Inter-racial Common Bean Lines in Kenya // *World Journal of Agricultural Research*. – 2019. – Vol. 7 (3). – P. 76–87. – <https://doi.org/10.12691/wjar-7-3-1>.

REFERENCES

1. Sandakova G.N., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, No. 5, pp. 33–37. (In Russ).
2. Zverev S.V., Pankrat'eva I.A., Polituha O.V., *Hranenie i pererabotka zerna*, 2017, No. 11 (219), pp. 33–34. (In Russ).
3. Evdokimov M.G., Yusov V.S., *Yarovaya tverdaya pshenitsa v Sibirskom Priirtysh'e* (Spring durum wheat in Siberian Irtysh), Omsk, 2008, 160 p.
4. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Pakhotina I.V., Kir'yakova M.N., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2019, No. 5 (65), pp. 24–28. (In Russ).
5. Rozova M.A., Yanchenko V.I., Mel'nik V.M. *Ekologicheskaya plastichnost' yarovoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh Altaya* (Ecological plasticity of spring durum wheat in Altai), Rossel'khozakademiya. Sib.otd-nie. ANIISKh, Barnaul: Azbuka, 2010, pp. 18–30.
6. Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaistva gornyykh territorii* (Durum wheat in the forest-steppe of Western Siberia. Achievements and prospects), Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference, 2017, pp. 106–111. (In Russ.)

7. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU* (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2022, No 2, pp. 19–25, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25>. (In Russ).
8. Vaezi B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R. [et al.], Integrating different stability models to investigate genotype $\times$ environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes, *Euphytica*, 2019, Vol. 215, pp. 63, <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5>.
9. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshv I.O., *Ekologicheskaya plastichnost' sel'skokhozyaistvennykh rastenii (metodika i otsenka)*. (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and assessment), Ufa, 2011, 97 p.
10. Mal'chikov P.M., Myasnikova M.G., Chakheeva T.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 6, pp. 11–16. (In Russ.).
11. Jat M.L., Jat R.K., Singh P., Jat S.L., Sidhu H.S., Jat H.S., Bijarniya D., Parihar C.M., Gupta R., Predicting Yield and Stability Analysis of Wheat under Different Crop Management Systems across Agro-Ecosystems in India, *American Journal of Plant Sciences*, 2017, Vol. 8, pp. 1977–2012, <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88133>.
12. Eberhart S.A., Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, *Corp. Sci.*, 1966, Vol. 6, No. 1, pp. 36–40.
13. Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G., Statistical Analysis of a Yield Trial, *Agronomy Journal*, 1988, Vol. 80, P. 388–393, <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002>.
14. Hongyu K., Garcia-Pena M., de Araujo L.B., Dias C.T.S., Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI Analysis of Genotype $\times$ Environment Interaction, *Biometrical Letters*, 2014, Vol. 51, pp. 89–102, <https://doi.org/10.2478/bile-2014-0007>.
15. Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D., Genotype $\times$ Environment Interactions on Seed Yield of Inter-racial Common Bean Lines in Kenya, *World Journal of Agricultural Research*, 2019, Vol. 7 (3), pp. 76–87, <https://doi.org/10.12691/wjar-7-3-1>.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АГРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СОЛОНЦА СРЕДНЕГО КОРМОВЫМИ СЕВООБОРОТАМИ

¹Л.Н. Коробова, доктор биологических наук, профессор

²В.С. Риксен, соискатель, младший научный сотрудник

²Т.Г. Ломова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: riclog@mail.ru

Ключевые слова: микрофлора почвы, бактерии, биоразнообразие, 16S рРНК, солонец средний, фитомелиорация, донник желтый, кострец безостый.

Реферат. Обширные территории Западной Сибири (около 40 %) засолены. На таких землях в основном выращивают многолетние травы – фитомелиоранты. В статье представлены результаты четырехлетнего изучения растительно-микробных взаимодействий в солонце среднем средненатриевом под кормовыми севооборотами с донником желтым и кострцом безостым. Исследования проведены в Барабинской низменности, где севообороты с применением послойной обработки почвы возделывались на стационаре СибНИИ кормов в течение 33 лет. В шестипольном севообороте с донником в первом поле высевался донник сорта Альшеевский с покровной культурой – суданской травой сорта Новосибирская 84, второе поле было занято донником, третье – овсом сорта Краснообский, после чего все повторялось. В севообороте с кострцом в первом поле высевалось просо Кормовое 45, во втором поле – кострец безостый сорта СибНИИСХоз-189 и просо, далее 4 года рос кострец. В результате обработок почвы и длительного воздействия трав-фитомелиорантов в слое 0–20 см солонца среднего изменилось биоразнообразие бактерий, в 1,9–2,3 раза усилилась нитрификационная активность почвы (в первую очередь, повлиявшая на продуктивность возделываемых в севооборотах трав), и под донником активизировался процесс микробиологического гумусоаккумуляции. С помощью метагеномного анализа 16S рРНК выявлены 4 таксономические группы бактерий (филы), достоверно отличающиеся от целинной почвы. В обоих севооборотах в солонце среднем под влиянием агробиологической мелиорации возросла доля бактерий филов фирмикутов – минерализаторов сложных азотсодержащих веществ и продуцентов стимуляторов роста растений, а также бета- и дельта-протеобактерий, функционально связанных с улучшением почвенного плодородия. Под кострцом достоверно снизилось представительство Chloroflexi – индикаторов плотности почвы.

MICROBIOLOGICAL PARAMETERS AS AN INDICATOR OF ACROGENIC TRANSFORMATION OF MEDIUM SOLONETZ BY FORAGE CROP ROTATIONS

¹L.N. Korobova, Doctor of Biological Sciences, Professor

²B.S. Ricksen, Co-applicant, Junior Researcher

²T.G. Lomova, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

E-mail: riclog@mail.ru

Keywords: soil microflora, bacteria, biodiversity, 16S rRNA, medium solonetz, phytomelioration, sweet yellow clover, awnless brome.

Abstract. Vast territories of Western Siberia (about 40%) are saline. On such lands, perennial grasses - phytomeliorants are mainly grown. The article presents the results of a four-year study of plant-microbial interactions in medium-sodium solonetz under fodder crop rotations with sweet yellow clover and awnless brome. The studies were conducted in the Baraba lowland, where crop rotations using layer-by-layer tillage were cultivated at the SSRIF (Siberian Scientific Research Institute of Feed) station for 33 years. In a six-field crop rotation with sweet clover in the first field, sweet clover of the Alsheevsky variety was sown with a cover crop – Sudan grass of the Novosibirskaya 84 variety; the second field was occupied by sweet clover; the third field was planted with Krasnoobsk oats. After that, everything was repeated all over again. In the crop rotation with rump, millet

Kormovoe 45 was buried in the first field; in the second field, an awnless brome cultivar of the Siberian Scientific Research Institute of Agriculture -189 and millet were planted. Then the rump grew for four years. As a result of tillage and long-term exposure to phytomeliiorant herbs in the 0–20 cm layer of medium solonetz, the biodiversity of bacteria has changed, the nitrification activity of the soil has increased by 1.9–2.3 times (primarily affecting the productivity of grasses cultivated in crop rotations). Under the sweet clover, the process of microbiological humus accumulation was activated. Using metagenomic analysis of 16S rRNA, four taxonomic groups of bacteria (phyla) were identified, significantly different from the virgin soil. In both crop rotations in the average solonetz, under the influence of agrobiological reclamation, the proportion of bacteria of the phylum firmicutes, mineralises of complex nitrogen-containing substances and producers of plant growth stimulants, as well as beta- and delta-proteobacteria, functionally associated with improving soil fertility, increased. Under the rump, the representation of Chloroflexi, indicators of soil density, significantly decreased.

Солонцовые почвы широко распространены во всем мире. По данным ФАО, их площадь оценивается в 800 млн га [1]. Солонцы характеризуются преобладанием в составе поглощённых оснований катионов натрия и магния. Вследствие этого, а также из-за плохих физических свойств и повышенной щелочности они малопродуктивны [2]. В Барабе с естественных сенокосов на них получают до 5 ц/га сена низкого качества, и такие почвы используют в первую очередь под кормовые угодья [3].

Культивирование подобранных растительных сообществ улучшает физико-химические свойства солонцов [4, 5], активизирует агрономически полезные процессы [6], способствует лучшему воспроизводству почвенного плодородия и повышает устойчивость агроэкосистем.

Среди фитомелиорантов возделываются соле- и солонцеустойчивые сельскохозяйственные культуры и травы, но подбор растений должен учитывать состояние и характеристики конкретных почв. На солонцах отмечена положительная роль бобовых и злаковых фитомелиорантов [7, 8 и др.]. В Барабе наиболее урожайной культурой является донник. Отмечается, что в севооборотах с ним и с многолетними травами хорошо накапливаются корневые остатки, представляющие основу для протекания процесса гумусообразования и способствующие постепенному рассолению солонцов [3].

Индикатором биокосных изменений в почвах является состояние микрофлоры, в агропочвоведении, прежде всего, агрономически полезных физиологических групп. Инструментами их изучения являются классический метод культивирования микроорганизмов на питательных средах и высокопродуктивный метод секвенирования 16S рРНК [9, 10 и др.]. Фитомелиоративные эффекты сеяных растительных травяных сообществ в отношении микроорганизмов почвы изучены мало. Известны работы Л.Н. Пуртовой с соавторами [11, 12], касающиеся агрогенных почв

Приморья, и публикации сибирских ученых, рассматривающие влияние 20-летнего возделывания севооборотов на состояние функциональных групп микроорганизмов в солонцах Барабы [6 и др.]. Современные геномные подходы к изучению микрофлоры в почвах Барабы стали использоваться только в последние три года, и эти работы в основном касаются солонца мелкого [13–15].

Цель данных исследований – выявить, как изменились за 33 года в солонце среднем под влиянием кормовых севооборотов с донником и кострцом биоразнообразие микрофлоры и растительно-микробные эффекты в отношении биологической активности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на солонцовом стационаре СибНИИ кормов СФНЦА РАН, который расположен в Барабинской низменности Новосибирской области (координаты: 55,389° с.ш., 78,927° в.д.). Объект исследований – солонец луговой гидроморфный [16], по глубине залегания горизонта В средний, по содержанию обменного натрия в ППК среденатриевый, по структуре столбчатый, в водной вытяжке которого преобладают карбонатные (содовый тип) и сульфатные соли. Изучены варианты: 1) целина; 2) донник второго года жизни (в шестипольном севообороте: донник с покровной культурой суданской травой – донник второго года жизни – овес на зерносеяж – донник с суданской травой – донник – овес на зерносеяж); 3) кострец безостый (в шестипольном севообороте: просо – просо и многолетние травы (кострец) – многолетние травы 4 года).

Обработка почвы под севооборотом: после каждой ротации БДТ-3,0 в два следа и ФБН-1,5 в один след на глубину 8–10 см, последующее рыхление на глубину 30–35 см. Почвенные образцы для анализа функциональных групп

микроорганизмов отбирались в первых числах августа (после первого укоса) в 2016, 2018, 2019 и 2020 гг. из слоя 0–20 см (на целине 0–15 см). Погодные условия в годы исследований существенно различались. Так, 2016 г., согласно гидротермическому коэффициенту Селянинова, относился к увлажненным и теплым, 2018 г. – к увлажненным и холодным, 2019 и 2020 гг. были засушливыми и теплыми. Функциональные группы микробов, усваивающих органический и минеральный азот, выделяли на твердых питательных средах МПА и КАА, нитрификаторы и денитрификаторы – на жидких средах Виноградского и Березовой [9].

Используя выявленное обилие бактерий на МПА и КАА, рассчитали коэффициент потенциальной микробиологической трансформации органики в запасы гумуса: $\Pi_{\text{м}} = (\text{МПА} + \text{КАА}) / \text{х} (\text{МПА} / \text{КАА})$ и $K_{\text{минерализации}} = \text{КАА} / \text{МПА}$.

Таксономическую принадлежность бактерий выявили в 2020 г. методом высокопроизводительного секвенирования последовательностей участка V3-V4 гена 16S рРНК. Анализ был выполнен в ЦКП «Геномика» ИХБФМ СО РАН (г. Новосибирск). Тотальная ДНК из образцов выделена с помощью набора DNeasy PowerSoil Kit (Qiagen). Пробы секвенировали на приборе MiSeq (Illumina, США), последовательности ОТЕ отнесены к таксонам с помощью SINTAX [17].

Математическая обработка данных проведена с помощью пакетов программ Excel (стандартное отклонение) и Minitab (метод главных компонент). Статистическая значимость различий в представительстве таксонов по вариантам доказана с помощью U-критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Солонец средний гидроморфный столбчатый средненатриевый сформировался в Барабе в условиях залегания грунтовых вод на уровне 2–3 м. В его водной вытяжке преобладают карбонатные и сульфатные соли (содово-сульфатный тип засоления), а глубина вскипания карбонатов от HCl составляет 34 см. Солонец имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав и четкую дифференциацию почвенного профиля на генетические горизонты А, В₁, В₂, ВС и С. Мощность горизонта А солонца

среднего достигает 16 см, солонцового горизонта В1 – 17 см, а подсолонцового В2 – 19 см.

Горизонты ВС и С (идентифицирован до 150 см) характеризуются мощностью 53 и 47 см.

рН водной вытяжки в слоях 0–10, 10–20, 20–30 и 30–40 см составляет 7,6; 7,6; 7,9 и 8,5 соответственно. Гумуса в слое почвы 0–40 см в солонце среднем содержится 6,3 %, но вследствие неблагоприятных физико-химических свойств продуктивность естественных сенокосов и пастбищ здесь низкая: не более 5 ц сена с 1 га [3].

Из всех преобладающих видов солонцов в Барабе (это корковые, мелкие и средние) солонец средний отличается более благоприятными условиями для развития почвенной микрофлоры. Поэтому фитомелиоративное воздействие кормовых севооборотов на численность микроорганизмов, отвечающих за обеспечение растений минеральным азотом, здесь, в отличие от солонца мелкого [14], оказалось в основном умеренно выраженным (рис. 1, в среднем за 4 года). Умеренное положительное воздействие севооборота с донником и слабое – севооборота с кострцом обнаружено для бактерий-аммонификаторов, минерализующих белковые соединения, а также для денитрификаторов, отвечающих за потери газообразного азота из почвы. Сильное агрогенное воздействие севооборотов установлено для группы автотрофных нитрификаторов. Возделывание в севообороте донника увеличивало обилие почвенных аммонийоксилирующих бактерий в 1,9 раза, многолетнего кострца – в 2,3 раза. Это облигатные аэробы, не нуждающиеся в факторах роста органической природы, но зато сильно зависимые от аэрации и влажности почвы. Нитрификация относится к аэробным процессам, в то как денитрификация – к анаэробным. При этом парциальное давление кислорода связано с переувлажнением почвы [18], что не характерно для трансформированного солонца среднего и показательно для целины.

Полученные данные хорошо согласуются с изменением продуктивности кормовых трав на стационаре. Степень связи (близости) урожайности зеленой массы с микробиологическими показателями в слое 0–20 см (в целине 0–15 см), общим содержанием солей и погодными условиями представлена на рис. 2 в виде дендограммы кластерного анализа.

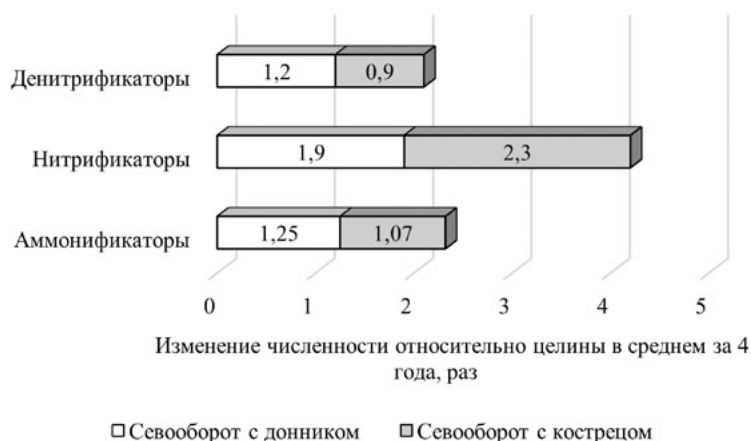


Рис. 1. Изменение численности микроорганизмов круговорота азота в трансформированном фитомелиорацией солонце среднем, слой 0–20 см

Fig. 1. Changes in the number of microorganisms of the nitrogen cycle in the middle solonetz transformed by phytomelioration, layer 0–20 cm

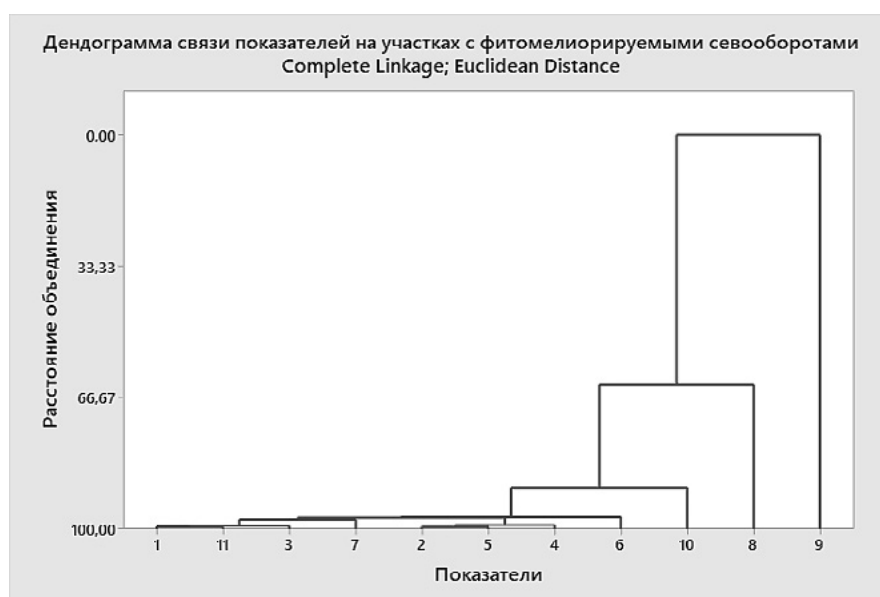


Рис. 2. Дендрограмма связей урожайности зеленой массы с микрофлорой целинного и трансформированного севооборота солонца среднего, агрометеорологическими условиями и засоленностью почвы:

1 – аммонификаторы; 2 – иммобилизаторы аммонийного азота; 3 – автотрофные нитрификаторы; 4 – суммарная численность эвтрофных бактерий; 5 – олигонитрофилы; 6 – денитрификаторы; 7 – свободноживущие азотфиксаторы; 8 – Ес (электропроводность почвенного раствора); 9 – сумма температур за вегетацию; 10 – сумма осадков за вегетацию; 11 – урожайность зеленой массы

Fig. 2. Dendrogram of the relationship between the yield of green mass and the microflora of virgin and medium solonetz transformed by crop rotation, agrometeorological conditions and soil salinity:

1 – ammonifiers; 2 – ammonium nitrogen immobilisers; 3 – autotrophic nitrifiers; 4 – total number of eutrophic bacteria; 5 – oligonitrophils; 6 – denitrifiers; 7 – free-living nitrogen fixers; 8 – Ec (electrical conductivity of the soil solution); 9 – the sum of temperatures for the growing season; 10 – the amount of precipitation during the growing season; 11 – yield of green mass

Выявлено, что увеличение урожайности трав было тесно связано, прежде всего, с деятельностью почвенной микрофлоры. Сходство, близкое к 100 %, оказалось у растительной биомассы с бактериями – аммонификаторами, нитрификаторами и азотфиксаторами (98,6–99,7 %). При этом первые две группы микроорганизмов объединились с продуктивностью в главную часть первого кластера. Чуть меньшее, но сильное влияние на урожайность оказали микроорганизмы, усваивающие аммонийный азот (иммобилизаторы NH_4 , или амилолитики), суммарная численность эвтрофных микробов, а также обилие группы олигонитрофилов (расстояние объединения у них уменьшилось на 1–1,5 %). Значимым для прироста урожайности было сокращение эмиссии закиси азота в атмосферу, обусловленное деятельностью денитрификаторов. Чуть слабее урожайность была связана с влагообеспеченностью вегетации, на уровне 66,3 % – с засоленностью почвы и слабо с теплообеспеченностью сезона. Таким образом, кластерный анализ, проведенный на основе полученных нами агрономически важных данных, классифицировал микробиологические характеристики трансформированных фитомелиорацией солонцов как главные для

продуктивности растений и формирования почвенного плодородия.

Показателем оптимизации потенциального почвенного плодородия принято считать увеличение запасов органического вещества в почве (гумусообразование), оптимизации эффективного плодородия – скорость минерализации органических остатков. Оба процесса связаны с деятельностью почвенной микрофлоры, а их уровень отражают Π_m – коэффициент потенциальной микробиологической трансформации органики в запасы гумуса и $K_{\text{минерализации}}$ – активность микробного разложения негумифицированных органических веществ (мертвой биомассы растительного, животного и микробного происхождения).

Установлено, что в длительно фитомелиорируемых солонцах скорость микробного разложения органики в сравнении с исходной целинной почвой к августу несколько снижена, а скорость микробиологического гумусообразования повышена (рис. 3). При этом физиолого-биохимические процессы в растениях в кормовых севооборотах идут более синхронно с микробиологической минерализацией, чем в целине, и высвобождающийся минеральный азот реализуется в повышенной урожайности кормовых трав.

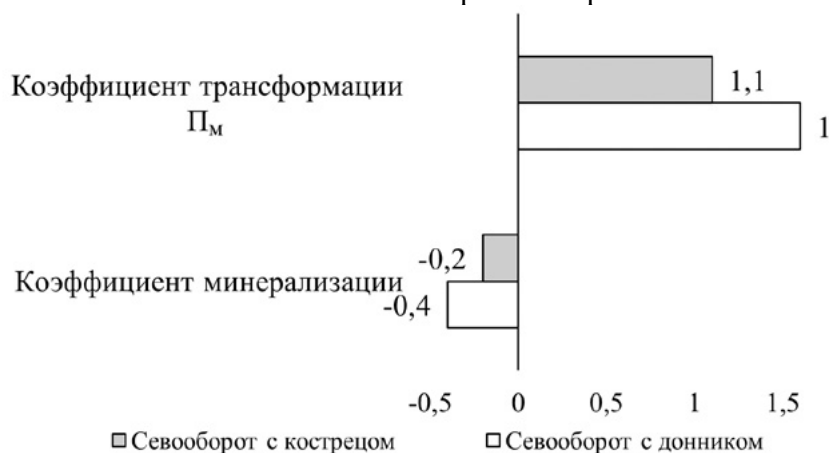


Рис. 3. Активность микробного сообщества солонца среднего на фоне фитомелиорации травами (отклонение от целины в разы, слой 0–20 см)

Fig. 3. Activity of the microbial community of the medium solonetz against the background of phytomelioration by grasses (deviation from virgin soil by several times, layer 0–20 cm)

В дополнение к функциональным отличиям микробного сообщества в агрогенно преобразованном солонце нами было изучено биоразнообразие бактерий и архей и с помощью метагеномного анализа выявлены таксономические группы, достоверно отличающиеся от целинной почвы. Одна из них – фила Proteobacteria, большинство представителей

которой относится к копиотрофам и участвует в почве в разложении легкодоступного органического вещества [19]. У этого типа бактерий обнаружено математически доказанное возрастание представительства под влиянием агрофитомелиорации, особенно с участием донника (таблица).

Представительство фил микроорганизмов солонца среднего, измененных агрофитомелиорацией, %
Representation of microbial phyla of medium solonetz modified by agrophytomelioration, %

Филы бактерий	Целина	Севооборот с донником	Севооборот с кострцом
Proteobacteria	13,80±0,80	18,80±0,60	15,00±0,70
Gemmatimonadetes	4,40±0,50	4,90±0,40	3,40±0,40
Chloroflexi	1,20±0,10	1,08±0,20	0,75±0,20
Firmicutes	0,08±0,02	0,30±0,02	0,50±0,05

Различия фил под севооборотах преимущественно обусловлены изменениями в численности классов бета- и дельта-протеобактерий (рис. 4). Это ризосферные микроорганизмы, от обилия которых значительно зависит успешность прохождения круговорота

веществ. К Betaproteobacteria причисляют сапротрофы и хемолитоавтотрофы, в частности, Nitrosomonadaceae, осуществляющие первую стадию нитрификации, и тионовые бактерии, окисляющие восстановленные соединения серы [20]

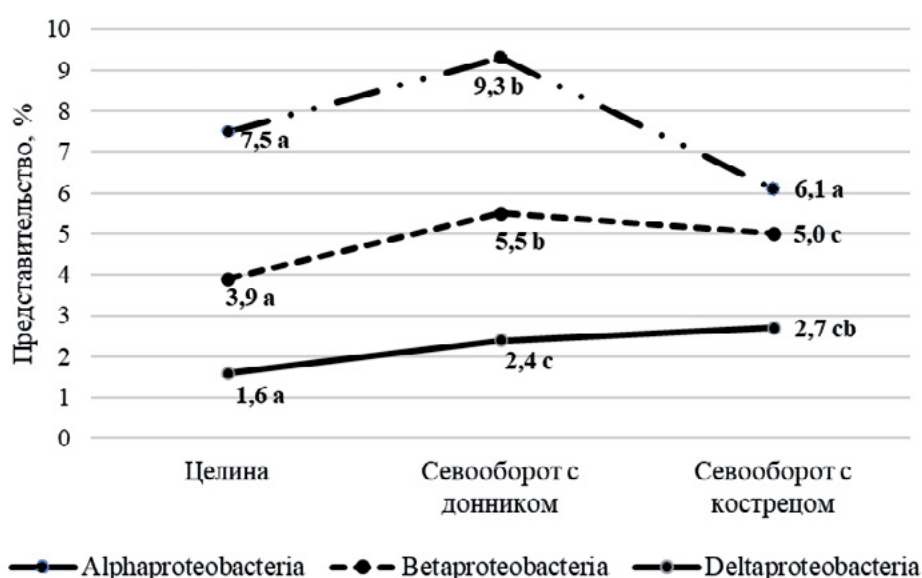


Рис. 4. Процентное представительство классов Proteobacteria в агрогенно трансформированном солонце среднем (разными буквами обозначены средние значения вариантов, существенно различающиеся между собой при $p < 0,05$)

Fig. 4. Percentage representation of Proteobacteria classes in acrogenic transformed medium solonetz (Different letters indicate the mean values of the variants, which differ significantly from each other at $p < 0.05$)

Представители Deltaproteobacteria гидролизуют органические субстраты за счет активного выделения ферментов протеаз и целлюлаз и возвращают минеральный азот и углерод в питание растений. Под севооборотах агрономически важных представителей этого класса выделялось больше в 1,5–1,7 раза, бета-протеобактерий – в 1,3–1,4 раза. Альфа-протеобактерии, связанные с симбиотической азотфиксацией, в фитомелиорируемом солонце были многочисленнее примерно на 20 % только под севооборотом с донником.

Возрастание в фитомелиорируемом солонце выявлено также для бактерий типа

Firmicutes. Это почвенные сапрофиты, включающие семейство бацилл – один из главных минерализаторов азотсодержащих веществ и продуцентов стимуляторов роста растений. Их численность под севооборотом с донником возросла в 3,8 раза, под севооборотом с многолетними травами – в 6,3 раза по сравнению с солонцом целины.

Противоположное изменение относительно целины выявлено в Барабе для бактерий фил Chloroflexi и Gemmatimonadetes, но только под кострцом. Про Chloroflexi известно, что роды этого типа более обильны в уплотненных почвах [21]. Представительство

Gemmatimonadetes в микробном сообществе всегда выше в условиях недостатка влаги [22].

Анализ зависимости между микробными таксонами, приведенными в таблице, и данными химической диагностики целинного и фитомелиорируемого солонца выявил тесную, статистически значимую отрицательную корреляцию ионов Cl⁻ с содержанием Firmicutes (– 0,819) и Proteobacteria (– 0,765) и положительную корреляцию средней силы с Chloroflexi (0,62). От количества обменного Na⁺ в почве зависели филы Firmicutes и Chloroflexi. Для Firmicutes зависимость была сильной и обратной с $r = -0,913$, для Chloroflexi – сильной и прямой с $r = 0,758$.

На Gemmatimonadetes приведенные химические показатели не повлияли.

ВЫВОДЫ

1. За 33 года возделывания севооборота с донником и севооборота с коострецом на исследуемом солонце среднем произошли существенные изменения в группе автотрофных нитрификаторов. В среднем за 4 года исследований их обилие в сравнении с целиной возросло в 1,9 и 2,3 раза. Для бактерий-аммонификаторов и денитрификаторов изменения в численности были менее выражены.

2. Развитие трех эколого-трофических групп почвенных микробов: аммонификаторов, нитрификаторов и азотфиксаторов – в целом обусловило увеличение урожайности зеленой массы кормовых трав. Степень их связи с продуктивностью кластерный анализ интерпретировал как близкую к 98–99 %. Слабее, на уровне 89 % сходства, урожайность трав была связана с влагообеспеченностью вегетации, на уровне 66,3 % – с засоленностью почвы и слабо связана с теплообеспеченностью сезона.

3. В длительно фитомелиорируемом солонце среднем к августу скорость микробного разложения органики в сравнении с исходной целинной почвой несколько снижена, а скорость микробиологического гумусообразования повышена, особенно под севооборотом с донником.

4. В трансформированной севооборотами почве выявлены 4 таксономические группы бактерий (филы), достоверно отличающиеся от целины. Здесь возросла доля филы фирмикутов-минерализаторов сложных азотсодержащих веществ и продуцентов стимуляторов роста растений. Представителей филы Proteobacteria-класса Deltaproteobacteria выделялось больше в 1,5–1,7, бета-протеобактерий – в 1,3–1,4 раза. Оба класса связаны с улучшением почвенного плодородия. Под коострецом отмечено снижение представительства Chloroflexi – индикаторов плотности почвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Prokaryotic community assembly after 40 years of soda solonetz restoration by natural grassland and reclaimed farmland* / W. Gao, J. Xu, J. Zhao [et al.] // European Journal of Soil Biology. – 2020. – Vol. 100. – P. 103213. – <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103213>.
2. Семендяева Н.В. Свойства солонцов Западной Сибири и теоретические основы химической мелиорации. – Новосибирск: СО РАСХН, 2002. – 160 с.
3. Константинов М.Д., Ломова Т.Г., Кухарь М.А. Фитомелиоративные луговые севообороты на солонцовых почвах Западной Сибири. – Новосибирск: СО РАСХН, 2011. – 104 с.
4. Семендяева Н.В., Ломова Т.Г., Утенков Г.Л. Научное обеспечение сельскохозяйственного освоения солонцовых почв юга Западной Сибири за период с 1969 по 2014 г. // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2015. – № 1. – С. 7–22.
5. Оценка фитомелиоративной эффективности *Kochia scoraria* (L.) Schrad / К.Е. Денисов, П.В. Тарасенко, И.С. Полетаев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 12. – С. 15–18.
6. Ломова Т.Г., Коробова Л.Н. Фитомелиоративное окультуривание солонцов Барабы и его влияние на биологическую активность почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 1 (242). – С. 12–18.
7. Курсакова В.С., Трофимов И.Т. Многолетние травы на засоленных почвах и их мелиорация. – Барнаул, 2004. – С. 30–48.
8. *Plant compartment and biogeography affect microbiome composition in cultivated and native Agave species* / D. Coleman-Derr, D. Desgarnes, C. Fonseca-Garcia [et al.] // New Phytol. – 2016. – Vol. 209. – P. 798–811. – <https://doi.org/10.1111/nph.13697>.
9. Сэги Й. Методы почвенной микробиологии. – М.: Колос, 1983. – 295 с.

10. Wellington E. M. H., Berry A., Krsek M. Resolving functional diversity in relation to microbial community structure in soil: exploiting genomics and stable isotope probing // *Current opinion in microbiology*. – 2003. – Vol. 6, N 3. – P. 295–301. – [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(03\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(03)00066-3).
11. Пуртова Л.Н., Киселева И.В. Влияние фитомелиорации на показатели плодородия и интегральное отражение агрогенных почв Приморья // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. – 2019. – № 1 (203). – С. 51–57. – DOI: 10.25808/08697698.2019.203.1.006.
12. Пуртова Л.Н., Киселева И.В., Щанова Л.Н. Влияние фитомелиорации на процессы гумусоаккумуляции и микрофлору агрогенных почв Приморья. – Владивосток, 2021. – 109 с.
13. Riksen V.S., Korobova L.N. Functional and taxonomic changes in the domain Bacteria in response to phytomelioration of saline soils // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – Dushanbe: IOP Publishing Ltd, 2022. – Vol. 1010. – P. 012046. – DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012046.
14. Korobova L.N., Riksen V.S., Lomova T.G. Biodiversity of shallow solonchaks bacteria, occupied longly with crop rotation with *Bromus inermis* (Poaceae) // *Journal of Agriculture and Environment*. – 2022. – N 2 (22). – <https://doi.org/10.23649/jae.2022.2.22.12>.
15. Riksen V.S., Korobova L.N. Biodiversity of the microbiome as an indicator of phytomeliorative soil transformation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – Dushanbe: IOP Publishing Ltd, 2023. – Vol. 1154 (1). – P. 012017. – DOI: 10.1088/1755-1315/1154/1/012017.
16. *World reference base for soil resources 2006*. IUSS Working Group. – World Soil Resources Reports. – Rome, 2006. – N 103. – 145 p.
17. Edgar R.C. SINTAX: a simple non-Bayesian taxonomy classifier for 16S and ITS sequences // *Biorxiv*. – 2016. – C. 074161. – <https://doi.org/10.1101/074161>.
18. Braker G., Conrad R. Diversity, structure, and size of N₂O-producing microbial communities in soils—what matters for their functioning? // *Advances in applied microbiology*. – 2011. – Vol. 75. – P. 33–70. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387046-9.00002-5>.
19. Юриенас Д.А., Каширская Н.Н. Обзор основных таксономических групп микроорганизмов в почвах зонального ряда по данным метагеномного анализа и флуоресцентной гибридизации in situ // *Успехи современной биологии*. – 2022. – Т. 142, № 6. – С. 578–590. – DOI: 10.31857/S0042132422060102.
20. Negative to positive shifts in diversity effects on soil nitrogen over time / X. Chen, H.Y. Chen, E.B. Searle [et al.] // *Nature Sustainability*. – 2021. – Vol. 4, N 3. – P. 225–232. – <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00641-y>.
21. Limited resilience of the soil microbiome to mechanical compaction within four growing seasons of agricultural management / M. Longepierre, F. Widmer, T. Keller [et al.] // *ISME Communications*. – 2021. – Vol. 1, N 1. – P. 44. – <https://doi.org/10.1038/s43705-021-00046-8>.
22. Global Biogeography and Quantitative Season Dynamics of Gemmatimonadetes in Soil / J. De Bruyn, L. Nixon, M. Fawaz [et al.] // *Appl Environ. Microbiol.* – 2011. – Vol. 77 (17). – P. 6295–6300. – <https://doi.org/10.1128/AEM.05005-11>.

REFERENCES

1. Gao W., Xu J., Zhao J., Zhang H., Ni Y., Zhao B., Tebbe C., Zhang J., Jia Z., Prokaryotic community assembly after 40 years of soda solonchak restoration by natural grassland and reclaimed farmland, *European Journal of Soil Biology*, 2020, Vol. 100, pp. 103213, <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103213>.
2. Semendyaeva N.V., *Svoistva solontsov Zapadnoi Sibiri i teoreticheskie osnovy khimicheskoi melioratsii* (Properties of solonchaks in Western Siberia and the theoretical foundations of chemical reclamation), Novosibirsk: SO RASKhN, 2002, 160 p.
3. Konstantinov M.D., Lomova T.G., Kukhar' M.A., *Fitomeliorativnye lugovye sevooboroty na solontsovykh pochvakh Zapadnoi Sibiri* (Phytomeliorative meadow crop rotations on solonchak soils of Western Siberia), Novosibirsk: SO RASKhN, 2011, 104 p.
4. Semendyaeva N.V., Lomova T.G., Utenkov G.L., *Vestnik NGAU*, 2015, No. 1, pp. 7–22. (In Russ.)

5. Denisov K.E., Tarasenko P.V., Poletaev I.S., Zuev V.V., *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2019, No. 12, pp. 15–18. (In Russ.)
6. Lomova T.G., Korobova L.N., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2015, No. 1 (242), pp. 12–18. (In Russ.)
7. Kursakova V.S., Trofimov I.T., *Mnogoletnie travy na zasolennykh pochvakh i ikh melioratsiya* (Perennial grasses on saline soils and their melioration), Barnaul, 2004, pp. 30–48.
8. Coleman-Derr D., Desgarennnes D., Fonseca-Garcia C., Gross S., Clingenpeel S., Woyke T., North G., Visel A., Partida-Martinez L.P., Tringe S.G., Plant compartment and biogeography affect microbiome composition in cultivated and native Agave species, *New Phytol*, 2016, Vol. 209, pp. 798–811.
9. Segi I., *Metody pochvennoi mikrobiologii* (Soil microbiology methods), Moscow: Kolos, 1983, 295 p.
10. Wellington E.M.H., Berry A., Krsek M., Resolving functional diversity in relation to microbial community structure in soil: exploiting genomics and stable isotope probing, *Current opinion in microbiology*, 2003, Vol. 6, No. 3, pp. 295–301, <https://doi.org/10.1111/nph.13697>.
11. Purtova L.N., Kiseleva I.V., *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2019, No. 1 (203), pp. 51–57. (In Russ.)
12. Purtova L.N., Kiseleva I.V., Shchapova L.N., *Vliyanie fitomelioratsii na protsessy gumusonakopleniya i mikrofloru agrogennykh pochv Primor'ya* (Influence of Phytomelioration on the Processes of Humus Accumulation and Microflora of Agrogenic Soils in Primorye), Vladivostok, 2021, 109 p.
13. Riksen V.S., Korobova L.N., Functional and taxonomic changes in the domain Bacteria in response to phytomelioration of saline soils, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Dushanbe: IOP Publishing Ltd, 2022, Vol. 1010, pp. 012046, DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012046.
14. Korobova L.N., Riksen V.S., Lomova T.G., Biodiversity of shallow solonets bacterias, occupied longly with crop rotation with *Bromus inermis* (Poaceae), *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, No. 2 (22), <https://doi.org/10.23649/jae.2022.2.22.12>.
15. Riksen V.S., Korobova L.N., Biodiversity of the microbiome as an indicator of phytomeliorative soil transformation, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Dushanbe: IOP Publishing Ltd, 2023, Vol. 1154 (1), pp. 012017, DOI: 10.1088/1755-1315/1154/1/012017.
16. World reference base for soil resources 2006, IUSS Working Group, World Soil Resources Reports, No. 103, Rome, 2006, 145 p.
17. Edgar R.C., SINTAX: a simple non-Bayesian taxonomy classifier for 16S and ITS sequences, *Biorxiv*, 2016, pp. 074161, <https://doi.org/10.1101/074161>.
18. Braker G., Conrad R., Diversity, structure, and size of N₂O-producing microbial communities in soils—what matters for their functioning? *Advances in applied microbiology*, 2011, Vol. 75, pp. 33–70, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387046-9.00002-5>.
19. Yurshenas D.A., Kashirskaya N.N., *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2022, Vol. 142, No. 6, pp. 578–590. (In Russ.)
20. Chen X., Chen H. Y., Searle E.B., Chen C., Reich P.B., Negative to positive shifts in diversity effects on soil nitrogen over time, *Nature Sustainability*, 2021, Vol. 4, No. 3, pp. 225–232, <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00641-y>.
21. Longepierre M., Widmer F., Keller T., Weisskopf P., Colombi T., Six J., Hartmann M., Limited resilience of the soil microbiome to mechanical compaction within four growing seasons of agricultural management, *ISME Communications*, 2021, Vol. 1, No. 1, pp. 44, <https://doi.org/10.1038/s43705-021-00046-8>.
22. De Bruyn J., Nixon L., Fawaz M., Johnson M., Radosevich M., Global Biogeography and Quantitative Season Dynamics of Gemmatimonadetes in Soil, *Appl Environ. Microbiol.*, 2011, Vol. 77 (17), pp. 6295–6300, <https://doi.org/10.1128/AEM.05005-11>.

РАЗНОКАЧЕСТВЕННОСТЬ СЕМЯН НОВОГО СОРТА *CLARKIA AMOENA* МАЛИНОВАЯ ЧАША НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.В. Королева, специалист ландшафтного центра НГАУ

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: coroleva-nsk@yandex.ru

Ключевые слова: *Clarkia amoena*, Onograceae, сорт, хозяйственно-ценные признаки, продуктивность, качества семян, топографическая и матуральная неоднородность, экологическая изменчивость.

Реферат. Кларкия прелестная (*Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr.), являющаяся ценной декоративной культурой открытого грунта, выращивалась в климатических условиях юга Западной Сибири (координаты GPS: 55.0312880° с.ш., 82.9903190° в.д.). Целью работы являлось изучение особенностей репродуктивной биологии нового сорта кларкии Малиновая чаша селекции Новосибирского ГАУ и оценка топографической (количество и качество семян с побегов разных порядков), матуральной (разная степень созревания плодов) и экологической (зависимость продуктивных и посевных качеств от основных климатических факторов в периоды цветения и оплодотворения) изменчивости хозяйственно-ценных признаков. В исследовании использовали метод множественной регрессии, корреляционный и кластерный анализы экспериментальных данных. Плоды и семена нового сорта кларкии Малиновая чаша, завязавшиеся при свободном опылении, сформированные в разные сроки цветения и на разных по местоположению на главном стебле побегах, различались по количеству, массе, крупности и посевным качествам. Анализ показателей качества семян (масса 1000 шт., энергия прорастания, всхожесть) выявил множественную регрессионную зависимость от теплообеспеченности периодов оплодотворения и формирования семян. Полновесность семян кларкии сорта Малиновая чаша по массе 1000 шт., сформировавшихся в разные периоды, варьировала от 0,327 г в неблагоприятный для формирования семян период – с 20 августа по 10 сентября – до 0,6 г в благоприятный период – первую декаду августа. Была выявлена значительная зависимость массы 1000 шт. семян от среднесуточной температуры воздуха и суммы активных температур выше 15 °С, коэффициент корреляции (r) колебался в пределах 0,976–0,978. Проведенные исследования выявили ряд особенностей формирования структуры урожая нового сорта кларкии в зависимости от топографической, матуральной, экологической изменчивости. Реальная семенная продуктивность сорта кларкии Малиновая чаша в условиях юга Западной Сибири в среднем составляет 50 % от потенциальной. С одного сортового растения в условиях юга Западной Сибири получается 3,026 г семян (в среднем за 3 года исследований). Установленные взаимосвязи между качеством семенного материала и основными климатическими факторами позволяют контролировать и в определенной мере прогнозировать урожайность семян нового сорта *Clarkia amoena* Малиновая чаша в резко-континентальных климатических условиях юга Западной Сибири.

DIFFERENT QUALITY OF SEEDS OF THE NEW *CLARKIA AMOENA* RASPBERRY BOWL IN THE SOUTHERN OF WESTERN SIBERIA

E.V. Koroleva, Specialist of the NSAU landscape centre

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: queen-nsk@yandex.ru

Keywords: *Clarkia amoena*, Onograceae, cultivar, economically valuable traits, productivity, seed quality, topographical and maturational heterogeneity, ecological variability.

Abstract. *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr., a valuable outdoor ornamental crop, was grown south of Western Siberia (GPS coordinates: 55.0312880° N, 82.9903190° E). The work aimed to study the features of the reproductive biology of a new variety of clarkia Malinovaya chasha selected by the Novosibirsk State Agrarian University and to assess the topographic (quantity and quality of seeds from shoots of different orders), maturational (various degrees of fruit ripening) and ecological (dependence of productive and sowing attributes on the main climatic factors in periods flowering and fertilisation) variability of economically valuable traits. The study used the method of multiple regression, correlation, and cluster analyses of experimental data. Fruits and seeds of a new variety of Clarkia Raspberry Cup, which were set during free pollination, formed at different flowering

times and on shoots of various locations on the main stem, differed in quantity, weight, size and sowing qualities. Analysis of seed quality indicators (weight of 1000 seeds, germination energy, germination) revealed a multiple regression dependence on the heat supply of the periods of fertilisation and seed formation. The importance of the seeds of the clarkia variety Raspberry bowl by weight of 1000 pcs., formed in different periods, varied from 0.327 g in the period unfavourable for seed formation - from August 20 to September 10 - to 0.6 g in the favourable period - the first ten days of August. A significant dependence of the mass of 1000 pcs. Based on the average daily air temperature and the sum of active temperatures above 15 °C, the correlation coefficient (r) ranged from 0.976 to 0.978. The conducted studies have revealed several features of the formation of the crop structure of a new variety of Clarkia, depending on topographic, natural, and ecological variability. The actual seed productivity of the clarkia variety Raspberry bowl in the south of Western Siberia is, on average, 50% of the potential. From one varietal plant in the south of Western Siberia, 3.026 g of seeds are obtained (on average, over three years of research). The established relationships between the quality of seed material and the main climatic factors make it possible to control and, to a certain extent, predict the seed yield of the new variety *Clarkia amoena* Raspberry bowl in the sharply continental climatic conditions of the south of Western Siberia

Для расширения ассортимента культивируемых летников с целью использования их в озеленении Новосибирска и других городов Западной Сибири должна быть сформирована долгосрочная селекционная программа по работе с перспективными декоративными интродуцентами и налажено семеноводство новых сортов [1]. Такие сорта должны быть оригинальными, устойчивыми к местным природно-климатическим условиям и высокодекоративными [2]. Российский рынок однолетних цветочных культур представлен в основном низкосортным семенным материалом зарубежного происхождения [3]. По этой причине существует постоянный спрос на производство местного высококачественного сортового семенного материала декоративных летников.

В настоящее время возник интерес к мало-распространенным в промышленном цветоводстве декоративным однолетним растениям многофункционального использования как для озеленения городских пространств, так для контейнерного цветоводства и срезки. Среди таких культур особенного внимания заслуживает кларкия прелестная *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr. родом из Северной Америки (Калифорния), которая на протяжении многих лет в российских и европейских источниках именовалась как годеция прелестная (*Godetia amoena* (Lehm.) G. Don, что не соответствует таксономической номенклатуре рода *Clarkia* Pursh [4].

На юге Западной Сибири практически отсутствует селекционная и семеноводческая работа с однолетними декоративными растениями, что значительно осложняет их использование в озеленении. Разработка и совершенствование методов селекции пищевых сельскохозяйственных культур ведется в различных научно-исследовательских институтах Сибирского отделения Российской академии наук, в том числе Сибирском научно-иссле-

довательском институте сельского хозяйства и ЦСБС СО РАН (Новосибирск) [5, 6], а многолетних декоративных растений – в ГНУ НИИСС Россельхозакадемии (Барнаул) [7–9].

Однолетним декоративно-цветущим растениям вида *C. amoena* в агроклиматических условиях юга Западной Сибири свойственно ветвление до третьего-четвертого порядков, что обуславливает растянутость периодов цветения и формирования плодов, а также приводит к значительной карпологической неоднородности и разнокачественности семян как в пределах одного куста, так и в пределах популяции в целом.

Вопросам разнокачественности семян (диаспор) *Clarkia elegans* Douglas из семейства Onagraceae Juss. были посвящены работы О.А. Пасько [10], Г.К. Паначёвой и Л.Л. Ерёмченко [11]. T.L. Ashman, D.J. Schoen изучали влияние перекрестного и автогамного опыления на семенную продуктивность *C. tembloriensis* Vasek [12]. A. A. Hove et al. [13] оценили вопросы влияния времени опыления и влагообеспечения в момент оплодотворения на завязываемость семян *Clarkia unguiculata* Lindl. и *C. xantiana* ssp. *xantiana* A. Gray. Растения *C. xantiana* ssp. *xantiana* встречаются на участках, где доступность воды снижается, а температура повышается, поэтому у них наблюдалось более раннее опыление и образование семян. Авторы выяснили, что завязываемость семян у раннецветущих растений была выше, чем у цветущих позднее [13]. В ранее проведенном нами исследовании была выявлена высокая зависимость периодов роста и развития трех видов кларкии: *C. amoena*, *C. unguiculata*, *C. purpurea* (Curtis) A. Nelson & J. F. Macbr. из семейства Onagraceae Juss. от суммы биологически активных температур выше 10 °C, коэффициент корреляции (r) за 3 года исследований колебался в пределах от 0,77 до 0,99 [14].

Мы полностью согласны с К. Г. Ткаченко, который считает, что изучение интродуцентов в аспектах неоднородности семян и плодов, полученных в различных экологических условиях, должно стать приоритетным направлением при работе с биоресурсными коллекциями растений [15].

Поэтому целью нашего исследования стало изучение репродуктивных процессов и посевных качеств семян нового сорта *Clarkia amoena* Малиновая чаша в связи с условиями формирования плодов на материнском растении в зависимости от основных климатических факторов, характеризующих периоды цветения и завязывания семян, а также получение высококачественного семенного материала. Задачи исследования: определить структуру элементов формирования урожая нового сорта *C. amoena* Малиновая чаша и выявить топографическую, матуральную и экологическую изменчивость семян.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования репродуктивных процессов и качества семенного материала кларкии прелестной *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr. проводились на кафедре растениеводства и кормопроизводства Новосибирского ГАУ в 2020-2022 гг. В 2011 г. из сортопопуляции кларкии Красавица были отобраны индивидуальные растения с пурпурно-розовыми и пурпурно-красными цветками, с которыми проводилась дальнейшая селекционная работа [4]. В результате селекции была получена устойчивая к стрессовым климатическим факторам региона сорто-популяция растений с малиновой окраской цветков от светлых до насыщенных пурпурных оттенков со светлой каймой по краю и основанию лепестка, которая была зарегистрирована в Госсортокомиссии РФ в 2021 г. под названием Малиновая чаша [16, 17] (рис. 1).



Рис. 1. *C. amoena* Малиновая чаша: а) соцветие; б) семенные коробочки (открытые, закрытые и недоразвитые). Фото автора, Новосибирск, 2022

Fig. 1. *C. amoena* Raspberry bowl: a) inflorescence; b) seed pods (open, closed and underdeveloped). Photo by the author, Novosibirsk, 2022

Качество сформированных семян у *C. amoena* сильно зависит от основных климатических факторов и суммы активных температур выше 10 и 15 °C в момент оплодотворения и формирования плодов [18]. Поэтому процессы цветения (сроки, темп, продолжительность) и формирования семян исследовались нами с учетом местоположения цветков и плодов на растении. При определении плодородности и семенной продуктивности кларкии сорта Малиновая чаша с побегов разных порядков при свободном опылении использовали методику И.В. Вайнагий [19] и методические указания по семеноведению интродуцентов

[20]. Изучение цветения проводили отдельно по каждому побегу, а наблюдения за распусканием – по каждому цветку кисти. Фазу оплодотворения и начало завязывания плода отмечали в дату полного раскрытия цветка и первые 10 дней после цветения. Поэтому все зафиксированные календарные даты полного цветения побегов разного уровня кларкии прелестной и начало формирования плодов распределились на 5 основных периодов: I – последняя декада июля; II–IV – первая, вторая и третья декады августа; V – первая декада сентября, когда температура воздуха еще не опускается ниже 10 °C (табл. 1).

Таблица 1

Климатическая характеристика периодов оплодотворения и начала формирования плодов
Climatic characteristics of periods of fertilisation and the beginning of fruit formation

Периоды завязывания плодов	Гидротермические условия				
	Среднесуточная температура воздуха, ° С	Сумма осадков, мм	ГТК	Сумма температур выше 10 ° С	Сумма температур выше 15 ° С
	2020 г.				
I – 20.07-31.07	17,1	45	2,5	181	181
II – 1.08-10.08	21,5	14	0,61	228	228
III – 11.08-20.08	18,5	44	0,95	195	195
IV – 21.08-31.08	16	25	1,68	149	149
V – 1.09-10.09	12,1	16	1,65	97	56
	2021 г.				
I – 20.07-31.07	20	0,3	0,02	202	202
II – 1.08-10.08	19,8	24	1,23	194	194
III – 11.08-20.08	16,8	37	2,16	171	158
IV – 21.08-1.08	17,7	6	0,34	175	162
V – 1.09-10.09	13,6	5	0,33	148	86
	2022 г.				
I – 20.07-31.07	20	20	1,02	197	197
II – 1.08-10.08	18,8	12,1	0,63	193	193
III – 11.08-20.08	17,8	2,7	0,19	144	57
IV – 21.08-01.08	12,5	40,2	2,93	137	85
V – 1.09-10.09	9,5	26,5	1,71	155	105

Нами изучались топографическая неоднородность (количество и качество семян с побегов разных порядков), матуральная (разная степень созревания плодов), а также зависимость семенной продуктивности от погодных условий вегетационного периода и разнородная изменчивость. Семенная продуктивность (потенциальная (ПСП), реальная (РСП) и коэффициент семенной продуктивности (КСП)) учитывалась по числу генеративных (продуктивных) побегов на особь, количеству плодов, семяпочек и семян на генеративный побег и на растение. Посевные качества семян изучались согласно ГОСТ 24933.0-81 на семена цветочных культур [21]. Семена из открытых и закрытых коробочек, сформированных в разные сроки, с побегов разных порядков в соответствии с периодом оплодотворения и завязывания плодов закладывали в чашки Петри в четырехкратной повторности по 100 шт. между

слоями увлажненной дистиллированной водой фильтровальной бумаги [22] и ставили на проращивание в термостат при температуре 20 °С без доступа света. Срок определения энергии прорастания у вида *C. amoena* составляет 5 суток, а всхожесть определяли на 10-е сутки, согласно ГОСТ 24933.0-81 [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характерным для кларкии (*C. amoena*) сорта Малиновая чаша является небольшое (на 2–3 дня) опережение начала цветения на нижних побегах второго порядка по сравнению со средними, в связи с чем на растении обозначаются 3 яруса побегов: верхний – главная кисть и верхние 4 побега; средний и нижний ярусы. Самыми первыми формируются побеги нижне-

го яруса, а именно, первые два самые развитые семядольные, и затем развиваются последующие побеги, более короткие, по направлению роста снизу вверх главного стебля. Структура продуктивности побегов разного уровня у модельного растения кларкии прелестной сорта Малиновая чаша в момент уборки растений с поля представляет собой сформированные плоды разной степени зрелости: открытые, закрытые и недоразвитые. Плод кларкии прелестной у сорта Малиновая чаша представляет собой многосемянную коробочку веретеновидной формы. Реальная семенная продуктивность и урожайность семян учитывались только с нормально развитых плодов (открытых и закрытых коробочек), расположенных на разных ярусах материнского растения (табл. 2).

При этом выявилась неоднородность плодов и семян, связанная с неодновременностью созревания (матуральная), обусловленная разными условиями питания и водоснабжения, и топографическая, связанная с разными возрастом цветоноса и темпами органогенеза. Самое большое количество семян в плодах образуется на побегах второго и третьего порядка в верхнем и среднем ярусе, что составляет половину всего урожая семян с одного растения. Самый низкий показатель количества семян – 63 шт. встречается на побегах третьего порядка среднего яруса. Семена с побега первого поряд-

ка (главного стебля) крупнее и полновеснее, масса 1000 семян больше в среднем на 0,08 и 0,16 г, чем у семян с побегов второго и третьего порядков. Семена с побегов второго порядка нижнего яруса более полновесны, чем с побегов верхнего и среднего яруса, что связано с более ранними сроками формирования кисти на семядольных побегах и следующих за ними нижних побегах. Реальная семенная продуктивность кларкии сорта Малиновая чаша в условиях юга Западной Сибири в среднем составляет 50 % от потенциальной продуктивности, самый высокий КСП отмечен у побегов второго порядка верхнего яруса 60 %, что в среднем на 10 % выше, чем на побегах среднего и нижнего яруса, и на 16 % выше, чем на главной кисти. На побегах третьего порядка КСП в среднем составляет 47 %. Самый высокий коэффициент семенной продуктивности наблюдался на побегах верхнего яруса, что на 6 % выше, чем на побегах нижнего яруса.

Плодопродуктивность нормально развитых коробочек (открытых и закрытых), из которых получается основной урожай семян, составляет в среднем 63 % на главном стебле и такая же продуктивность нормально развитых плодов наблюдалась на побегах второго порядка верхнего, среднего и нижнего яруса, а на побегах третьего порядка количество нормально развитых плодов ниже на 7–13 % (рис. 2)

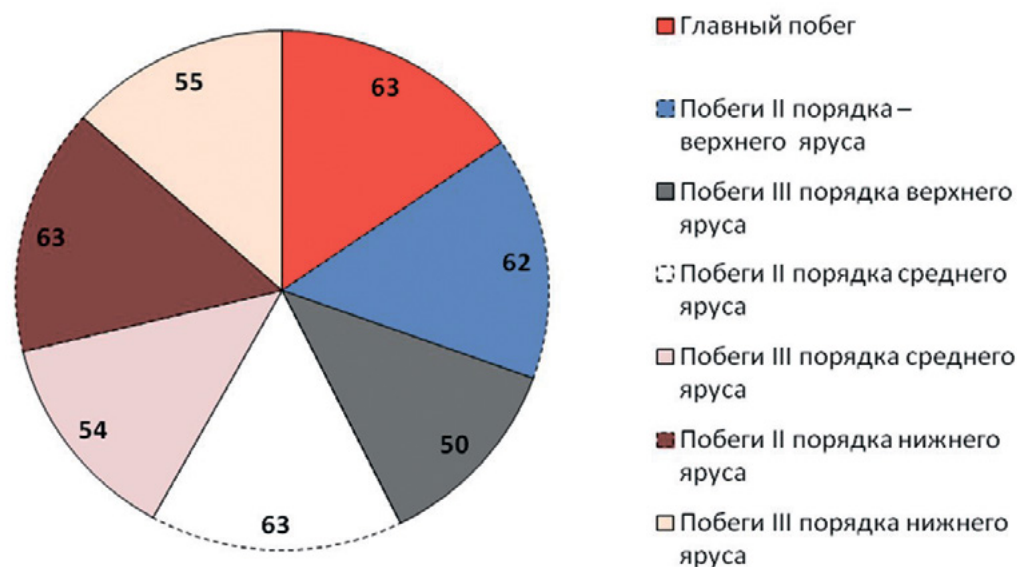


Рис. 2. Плодопродуктивность побегов модельного растения кларкии прелестной Малиновая чаша в Новосибирске

Fig. 2. Fruit productivity of the shoots of the model plant Clarkia lovely Raspberry bowl in Novosibirsk

Таблица 2

Структура формирования продуктивности модельного растения *C. atropurpurea* Малиновая чаша (свободное опыление)
 The structure of the formation of productivity of the model plant *C. atropurpurea* Raspberry bowl (free pollination)

Месторасположение побегов на материнском растении	Длина, см		Количество побегов II и III порядка	Количество плодов, шт., по степени зрелости				Среднее число семязачек в завязи	Среднее число семян	ПСП	РСП	КСП, %	Масса 1000 шт., г	Семенная продуктивность, г	Количество, г / м ²
	побега	кисти		открытые	закрытые	недо-развитые	всего								
Главный побег	30,0	14,0	32	2	3	3	8	96	68	768	340	44	0,53	0,18	2,34
Побеги II порядка верхнего яруса	12,5	5,3	4	2	11	8	21	105	101	2205	1313	60	0,43	0,56	7,28
Побеги III порядка	3,6	3,1	2	1	3	4	8	124	96	768	384	50	0,37	0,14	1,82
Побеги II порядка среднего яруса	14,4	4,4	8	3	16	11	30	122	98	3660	1862	51	0,44	0,88	11,44
Побеги III порядка	6,9	2,9	4	1	6	6	13	70	63	910	441	48	0,36	0,16	2,08
Побеги II порядка нижнего яруса	29,2	6,6	6	2	17	11	30	100	79	3000	1501	50	0,47	0,71	9,23
Побеги III порядка	8,5	3,6	8	1	14	12	27	88	70	2376	1050	44	0,38	0,40	5,20
Итого	105,1	39,9	32	12	70	53	135	705	575	13663	6891	50	0,43	3,03	39,39

Примечание. Средние значения для 20 растений.
 Note. Average values for 20 plants.

. Масса 1000 семян варьировала как по периодам завязывания плодов в годы проведения исследований, так и зависела от качества

сформированных плодов и местоположения на материнском растении (табл. 3).

Таблица 3

Изменчивость показателя массы 1000 семян в зависимости от условий формирования коробочек
Variability of the mass index of 1000 seeds depending on the conditions of bolls formation

Качество плодов	2020 г.		2021 г.		2022 г.		Среднее значение за 2020–2022 гг.	
	I	II	I	II	I	II	I	II
<i>I период: 20.07-31.07</i>								
Открытые	0,590± 0,020	0,470± 0,025	0,503 ± 0,030	0,483 ±0,030	0,580± 0,040	0,493 ± 0,040	0,558 ± 0,040	0,482± 0,040
Закрытые	0,514± 0,020	0,504 ± 0,020	0,514 ± 0,020	0,503 ±0,020	0,521± 0,020	0,459 ± 0,020	0,516 ± 0,020	0,489 ± 0,020
<i>II период: 01.08-10.08</i>								
Открытые	0,600± 0,020	0,600 ± 0,020	0,560 ± 0,020	0,510 ±0,020	0,54± 0,020	0,53± 0,020	0,567 ± 0,021	0,550 ± 0,021
Закрытые	0,544± 0,020	0,541 ± 0,020	0,540 ± 0,020	0,543± 0,020	0,520± 0,020	0,460 ± 0,020	0,535 ± 0,020	0,515 ± 0,020
<i>III период: 11.08-20.08</i>								
Открытые	0,526± 0,020	0,451 ± 0,025	0,488 ± 0,023	0,453± 0,023	0,483± 0,023	0,430 ± 0,023	0,499 ± 0,023	0,445 ± 0,023
Закрытые	0,551± 0,012	0,483 ± 0,012	0,514 ± 0,012	0,510± 0,012	0,484± 0,012	0,486 ± 0,012	0,516 ± 0,012	0,493± 0,012
<i>IV период: 21.08-31.08</i>								
Открытые	0,400± 0,020	0,420 ± 0,021	0,410 ± 0,021	0,430 ± 0,021	0,400± 0,021	0,330 ± 0,021	0,403 ± 0,021	0,393 ± 0,021
Закрытые	0,440± 0,020	0,470± 0,025	0,450 ± 0,020	0,480 ± 0,020	0,430± 0,020	0,390 ± 0,020	0,440 ± 0,020	0,446 ± 0,020
<i>V период: 01.09-10.09</i>								
Открытые	0,390± 0,020	0,330 ± 0,023	0,380 ± 0,023	0,350 ± 0,023	0,360± 0,023	0,303 ± 0,023	0,380 ± 0,023	0,327 ± 0,023
Закрытые	0,410± 0,015	0,380 ± 0,015	0,390 ± 0,015	0,370 ± 0,015	0,390± 0,015	0,340 ± 0,015	0,396 ± 0,015	0,363 ± 0,015
Средние значения	0,497	0,465	0,475	0,463	0,471	0,422	0,481	0,450
Открытые	0,501	0,454	0,468	0,445	0,473	0,417	0,481	0,439
Закрытые	0,492	0,476	0,482	0,481	0,469	0,427	0,481	0,461

Примечание. Здесь и далее: I – побеги первого порядка (главная кисть); II – побеги второго порядка (боковые цветоносы).

Note. Here and below: I - shoots of the first order (main brush); II - shoots of the second order (lateral peduncles).

В первый период, характеризующийся в 2020 г. как избыточно влажный, а в 2022 г. как умеренно теплый и влажный, на главной кисти из открытых коробочек сформировались примерно равнозначные по качеству семена с массой, равной 0,58–0,59 г, а из закрытых коробочек семена были мельче на 0,06–0,07 г. В 2021 г. третья декада июля характеризовалась как теплая и сухая, и масса 1000 семян из открытых коробочек была меньше на 0,087 г, чем в 2020 г., на 0,077 г, чем в 2022 г., а в среднем за 3 года составляла 0,558 г. Масса 1000 семян из закрытых коробочек была одинаковой в 2020–2021 гг., в 2022 г. была выше только на 0,007 г, а в среднем за 3 года составляла 0,516 г. Масса 1000 семян из открытых коробочек с побегов второго порядка была ниже на 0,007 г, чем из закрытых плодов.

Наиболее благоприятные метеорологические условия за все исследуемые годы для завязывания плодов и семян кларкии сорта Малиновая чаша складывались во второй период цветения, с 1 по 10 августа, за счет большего количества тепла и достаточного количества влаги для формирования семян (ГТК от 0,6 до 1,23). Самый благоприятный по сумме активных температур больше 10 °C и больше 15 °C, равной 228 °C, был 2020 г., что сказалось и на массе 1000 семян, которая была самой высокой за все периоды и годы исследований и составила 0,60 г из открытых коробочек главной кисти, и такие же показатели полновесности семян наблюдались с плодов, сформированных на побегах второго порядка. Похожими как по сумме активных температур (193–194 °C), так и по показателям массы 1000 семян, которая колебалась в пределах 0,51–0,56 из открытых коробочек и была незначительно выше на главной кисти, были 2021 и 2022 гг. В закрытых коробочках сформировались менее полновесные семена с массой 1000 семян в среднем 0,535 г на главной кисти и 0,515 г на побегах второго порядка, что на 0,02 г ниже.

Третий период, с 11 по 20 августа, наиболее обеспеченным по количеству тепла был в 2020 г. Сумма активных температур выше 10 и 15 °C составила 195 °C, что выше на 37 °C, чем в 2022 г., и на 138 °C, чем в 2022 г.

В целом за все 3 года в этот период при достаточном увлажнении количество тепла было значительно меньше, чем в предыдущих периодах, и при этих условиях на главной кисти из открытых коробочек в среднем сформировались менее полновесные семена, чем из закрытых плодов. Наименьшей массой обладали семена, сформированные в 2022 г. на побегах второго порядка из открытых коробочек (0,043 г), что было ниже показателя 2020 г. на 0,096 и 2021 г. – на 0,058 г.

Четвертый период характеризовался довольно значительной суммой температур выше 15 °C – в среднем за 3 года 132 °C, что всего на 4 °C ниже суммы предыдущего периода. Наиболее высокая сумма активных температур выше 15 °C (162 °C) наблюдалась в 2021 г., что сказалось и на качестве сформированных семян на главной кисти: масса 1000 семян была выше на 0,01 г, чем в 2020 и 2021 гг., а на побегах второго порядка масса 1000 шт. также была выше в 2021 г. на 0,01 г, чем в 2020 г., и на 0,1 г, чем в 2022 г. В среднем по периоду за 3 года масса 1000 семян из закрытых плодов на главной кисти была выше на 0,037 г, и на 0,05 г – на побегах второго порядка.

Наименьшие значения параметров семенной продуктивности были отмечены в пятый период цветения – с 1 по 10 сентября, когда масса 1000 семян в среднем за 3 года на главной кисти была ниже на 0,19 г, а на побегах второго порядка – на 0,22 г по сравнению с массой 1000 семян, сформированных в благоприятный второй период. Наиболее благоприятные метеорологические условия были отмечены в 2021 г., когда среднесуточная температура воздуха была 13,6 °C, а сумма активных температур выше 10 °C составляла 148 °C.

Для определения степени сходства показателей разнокачественности семян кларкии сорта Малиновая чаша из открытых и закрытых коробочек по массе 1000 шт., сформированных в различные по метеоусловиям периоды и на разных порядках побегов, был произведен их кластерный анализ путем измерения евклидова расстояния на базе программы статистических расчетов MINITAB (рис. 3).

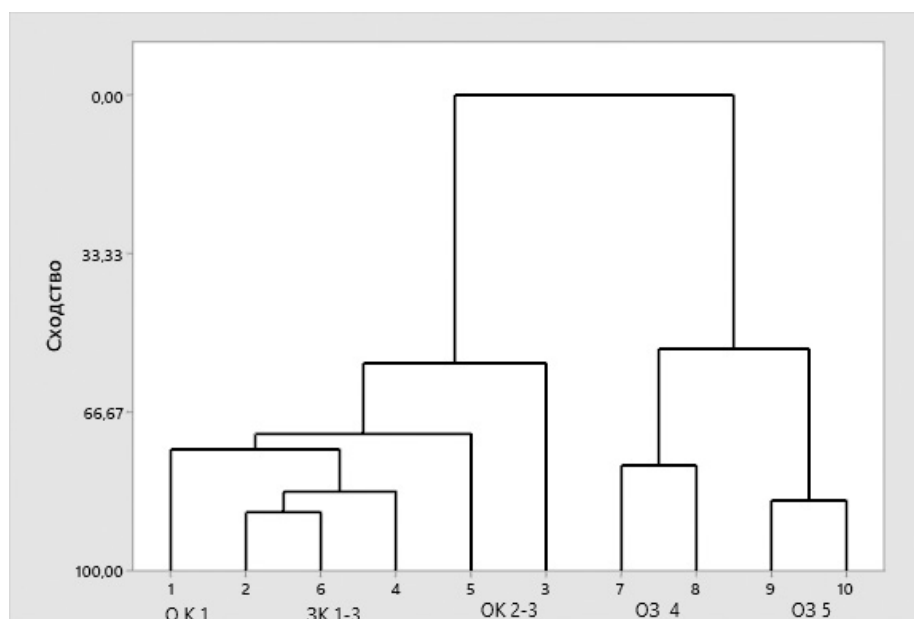


Рис. 3. Дендрограмма, отражающая степень сходства по матуральной и топографической неоднородности плодов *C. amoena* Малиновая чаша по массе 1000 семян (метод полной связи, евклидово расстояние):

1 – открытые коробочки, 2 – закрытые коробочки (I период – 20.07–31.07); 3 – открытые коробочки, 4 – закрытые коробочки (II период 01.08–10.08); 5 – открытые коробочки, 6 – закрытые коробочки (III период – 10.08–20.08); 7 – открытые коробочки, 8 – закрытые коробочки (IV период – 21.08–31.08); 9 – открытые коробочки, 10 – закрытые коробочки (V период – 01.09–10.09).

OK1 – открытые коробочки, сформированные в первом периоде, ЗК1-3 – закрытые коробочки, сформированные в первые три периода, ОК2-3 – открытые коробочки, сформированные во втором и третьем периодах, ОЗ4 – открытые и закрытые коробочки, сформированные в четвертом периоде, ОЗ5 – открытые и закрытые коробочки, сформированные в пятом периоде.

Примечание. Данные учитывались с побегов разных порядков (главной кисти (первый порядок) и боковых цветоносов второго порядка).

Fig. 3. Dendrogram reflecting the degree of similarity in terms of maturational and topographic heterogeneity of fruits of *C. amoena* Raspberry bowl by weight of 1000 seeds (complete connection method, Euclidean distance):

1 – open boxes, 2 – closed boxes (I period – 20.07–31.07); 3 – open boxes, 4 – closed boxes (II periods from 01.08–10.08); 5 – open boxes, 6 – closed boxes (III period – 10.08–20.08); 7 – open boxes, 8 – closed boxes (IV period – 21.08–31.08); 9 – open boxes, 10 – closed boxes (V period – 01.09–10.09).

OK1 – open boxes formed in the first period, ZK1-3 – closed boxes created in the first three periods, OK2-3 – empty boxes included in the second and third periods, OZ4 – open and closed containers formed in the fourth period, OZ5 – open and closed boxes created in the fifth period.

Note. The data were taken into account from shoots of different orders (the main raceme (first order) and lateral peduncles of the second order).

Данная дендрограмма выявила матуральную неоднородность семян по признаку массы 1000 семян и четко определила два основных кластера.

Первый кластер включает 6 субкластеров из плодов, сформированных с 20.07 по 20.08: ОК1 включает субкластер 1, где для определения количественного показателя массы 1000 семян они взяты из открытых коробочек, завязавшихся в первом периоде; в ОК2-3 вошли субкластер 3 – семена из открытых коробочек второго периода и субкластер 5 – семена, сфор-

мированные в открытых коробочках третьего периода; ЗК1-3 с субкластерами 2, 4, 6 – это семена из закрытых коробочек, сформированных в первом, втором и третьем периодах.

Второй кластер объединил 4 субкластера из плодов, сформированных с 21.08 по 10.09: ОЗ4 включает субкластеры 7 – семена из открытых и 8 – из закрытых коробочек, сформированных в четвертом периоде с 21 по 31 августа, а ОЗ5 – субкластеры 9, 10 – семена из открытых и закрытых коробочек, сформированных в пятом (осеннем) периоде.

Повышение среднесуточной температуры воздуха приводило к увеличению массы 1000 семян как из открытых коробочек ($r = 0,94$), так и из закрытых коробочек ($r=0,96$) независимо от местоположения на побеге (рис. 4).

Посевные качества семян в среднем за 3 года исследований сильно зависели также от метеорологических условий в периоды завязывания и формирования семян (табл. 4).

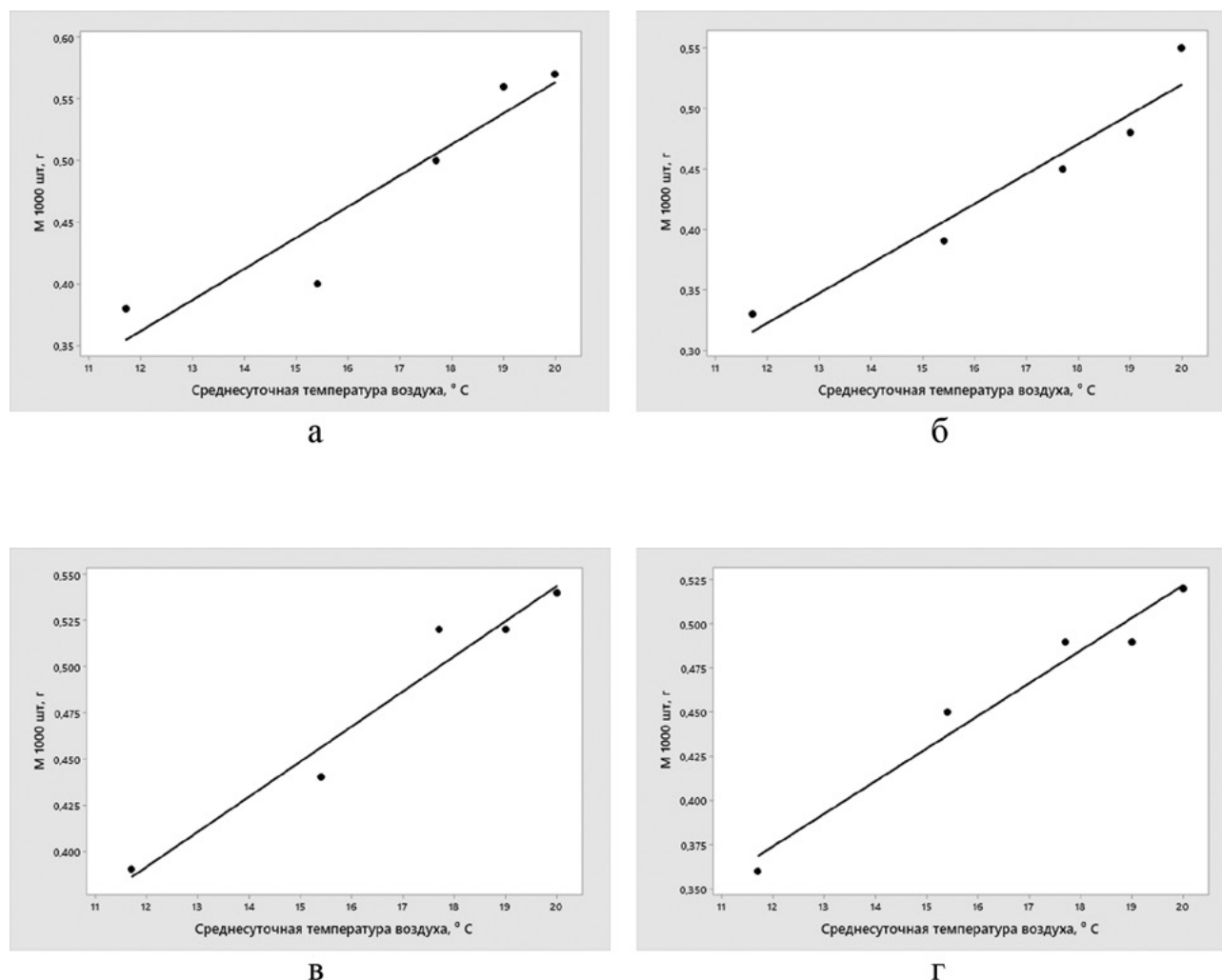


Рис. 4. Линии регрессии зависимости массы 1000 семян *C. amoena* Малиновая чаша от среднесуточной температуры воздуха, сформированных: из открытых коробочек: а – на главной кисти; б – на побегах второго порядка; из закрытых коробочек: в – на главной кисти; г – на побегах второго порядка.

$$\text{а) } Y = 0,060 + 0,025 x; \quad \text{б) } Y = 0,027 + 0,025 x;$$

$$\text{в) } Y = 0,164 + 0,019 x; \quad \text{г) } Y = 0,153 + 0,018 x,$$

где Y – масса 1000 шт., г; x – среднесуточная температура воздуха, °C

Fig. 4. Regression lines of the dependence of the mass of 1000 seeds of *C. amoena* Raspberry bowl on the average daily air temperature, formed: from open boxes: а – on the main raceme; б – on shoots of the second order; from closed boxes: в – on the main brush; г – on shoots of the second order.

$$\text{а) } Y=0.060 + 0.025 x; \quad \text{б) } Y=0.027 + 0.025 x;$$

$$\text{в) } Y=0.164 + 0.019 x; \quad \text{г) } Y=0.153 + 0.018 x,$$

Where: Y - the weight of 1000 pieces, g; x is the average daily air temperature, °C

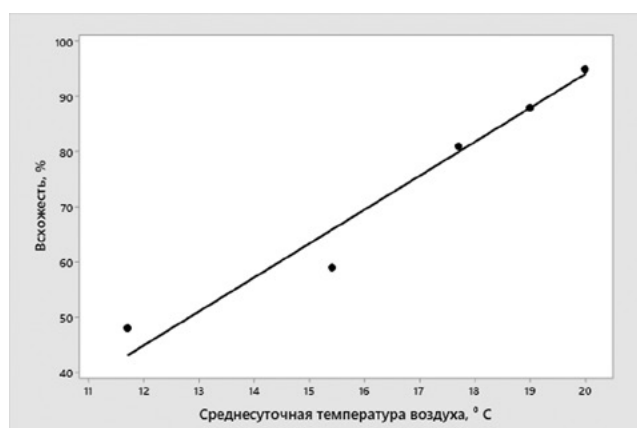
Таблица 4

Посевные качества семян *C. amoena* Малиновая чаша в зависимости от метеорологических условий периода формирования плодов
Sowing qualities of seeds of *C. amoena* Raspberry bowl depending on meteorological conditions of the period of fruit formation

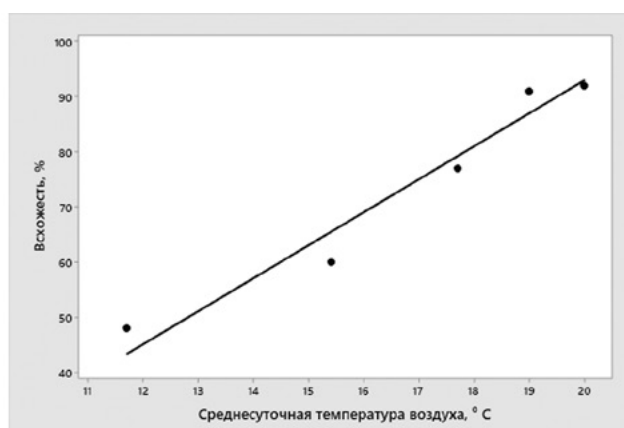
Качество плодов	I период 20.07–31.07		II период 01.08–10.08		III период 11.08–20.08		IV период 21.08–31.08		V период 01.09–10.09	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Энергия прорастания, %										
Открытые	84	85	69	85	72	65	50	55	46	30
Закрытые	86	85	98	95	75	66	45	42	45	42
Среднее	85	85	93,5	90	73,5	65,5	47,5	48,5	45,5	36
Всхожесть, %										
Открытые	89	88	88	88	80	76	54	58	46	41
Закрытые	87	94	98	95	81	78	64	62	50	54
Среднее	88	91	94,5	91,5	80,5	77	59	60	48	47,5

Повышение среднесуточной температуры воздуха в период формирования семян привело к повышению посевных качеств семян:

на главной кисти $r = 0,978$ и на побегах второго порядка $r = 0,976$ (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Линии регрессии зависимости всхожести семян *C. amoena* Малиновая чаша (средние значения) от среднесуточной температуры воздуха в период формирования плодов: а – на главной кисти и б – на побегах второго порядка.

а) $Y = -28,78 + 6,145x$; б) $Y = -26,44 + 5,969x$,
где Y – всхожесть семян, %; x – среднесуточная температура воздуха, °C

Fig. 5. Regression lines of dependence of seed germination of *C. amoena* Raspberry bowl (average values) on the average daily air temperature during fruit formation: а – on the main raceme and б – on second-order shoots.

а) $Y = -28.78 + 6.145x$; б) $Y = -26.44 + 5.969x$,
where: Y - Seed germination, %; x - average daily air temperature, °C

Для определения степени сходства периодов формирования плодов и семян по показателям посевных качеств *C. amoena* сорта Малиновая чаша с побегов разных порядков

был произведен их кластерный анализ путем измерения евклидова расстояния на базе программы статистических расчетов MINITAB (рис. 6).

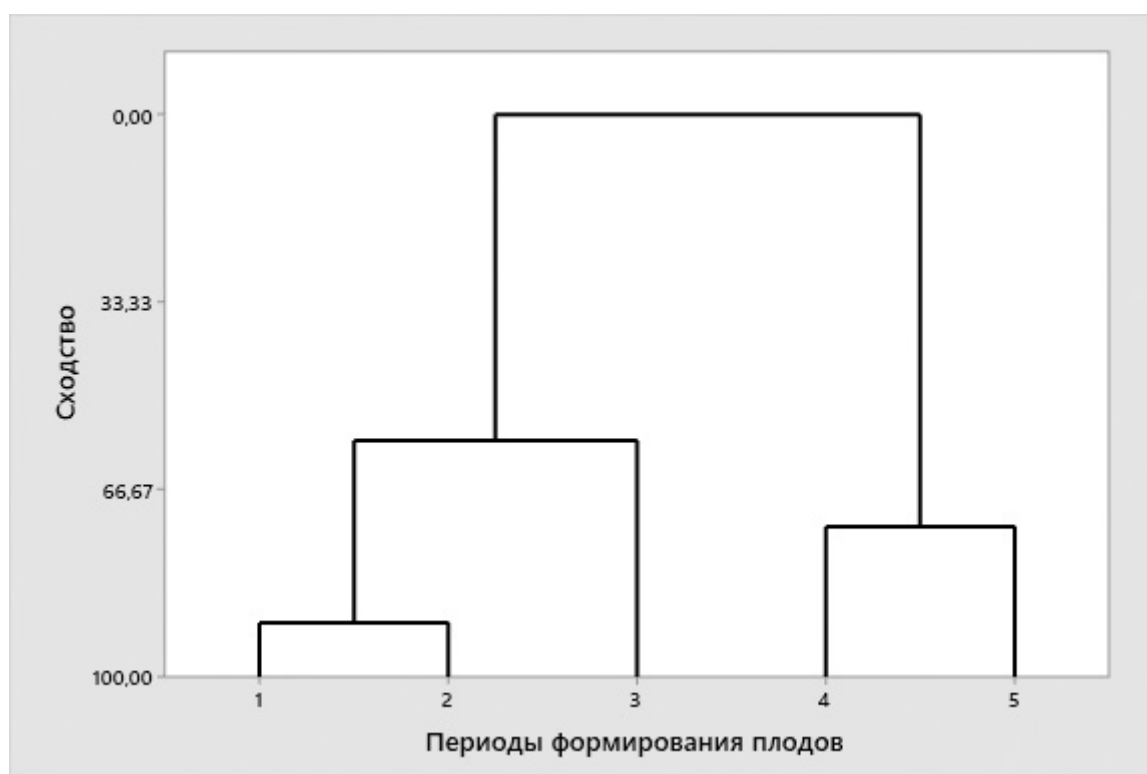


Рис. 6. Дендрограмма, отражающая степень сходства по показателям качества семян между различными периодами формирования плодов и семян *C. amoena* Малиновая чаша:

1 – период с 20 по 31 июля; 2 – период с 1 по 10 августа; 3 – период с 11 по 20 августа; 4 – период с 21 по 31 августа; 5 – период с 1 по 10 сентября

Fig. 6. Dendrogram reflecting the degree of similarity in terms of seed quality between different periods of fruit and seed formation of *C. amoena* Raspberry bowl:

1 – the period from 20 to 31 July; 2 – the period from 1 to 10 August; 3 – the period from 11 to 20 August; 4 – the period from 21 to 31 August; 5 – the period from 1 to 10 September

Дендрограмма по показателям посевных качеств, как и предыдущая, четко выделила лишь два кластера, включающих периоды, сильно различающиеся по метеорологическим характеристикам: с 20 июля по 20 августа и с 21 августа по 10 сентября.

Первый кластер подразделяется на три субкластера и объединяет показатели посевных качеств первых двух периодов (энергия прорастания от 84 до 95 %, всхожесть от 81 до 95 %), которые также похожи и по метеорологическим характеристикам, и третий субкластер, отличающийся меньшим количеством тепла и включающий третий период формирования плодов и семян со следующими показателями посевных качеств: энергия прорастания от 66 до 74 %, всхожесть от 77 до 81 %.

Второй кластер объединил два субкластера четвертого и пятого периодов с самыми низ-

кими показателями посевных качеств семян (энергия прорастания от 36 до 49 %, всхожесть от 48 до 60 %).

ВЫВОДЫ

1. Основную структуру урожая растения кларкии (*C. amoena*) сорта Малиновая чаша, выращенного посевом семян в открытый грунт в климатических условиях юга Западной Сибири, составляют семена, полученные с побегов второго и третьего порядка (2,85 г, а вместе с главным стеблем 3,03 г). Средний урожай семян, получаемый с 1 м² за 3 года исследования составляет 39,39 г.

2. Реальная семенная продуктивность растений сорта Малиновая чаша в местных агро-климатических условиях составляет 50 % от

потенциальной. Самый высокий коэффициент семенной продуктивности (60%) был отмечен у коробочек, сформированных на побегах второго порядка верхнего яруса.

3. На величину урожая существенное влияние оказывают топографическая и матуральная изменчивость. На побегах первого и второго порядка формируется 63 % нормально развитых плодов, а на побегах третьего порядка – на 8–13 % меньше.

4. Каждый из этих типов неоднородности проявляется на разных уровнях в аспекте семеноведения и семеноводства с учетом экологических факторов: погодных условий вегетационного периода и неодинаковых условий питания растущих цветоносных и плодonoсящих побегов разных порядков на разветвленных растениях кларкии прелестной сорта Малиновая чаша.

5. Масса 1000 семян – основной количественный показатель, отвечающий за продуктивность сорта, на который оказывают сильное влияние климатические факторы, определяющие периоды завязывания и формирования плодов и семян кларкии, а именно среднесуточная температура воздуха выше 15 °С и ГТК. Самыми крупными по массе 1000 шт. были семена, полученные в 2020 г. – самом удачном по соотношению тепла и влаги. Средняя масса 1000 шт. из открытых и закрытых коробочек, сформированных на главной кисти, составила 0,50 г, а из коробочек, сформированных на побегах второго порядка, – 0,47 г.

6. Незначительный перевес семян из закрытых коробочек, сформированных на побегах второго порядка материнского растения, по сравнению с открытыми может быть связан с дозариванием этих семян при бла-

гоприятной и стабильной температуре воздуха – 20 °С.

7. Кластерный анализ данных позволил четко разграничить 3 периода формирования плодов и семян у *C. атоена* Малиновая чаша по показателям качества семенного материала: первый – наиболее благоприятный период, с 20 июля по 10 августа, характеризующийся средними за 3 года значениями: среднесуточной температурой воздуха 19,5 °С, ГТК 1,0 и суммой активных температур выше 15 °С, составляющей 199 °С; второй период, с 11 по 20 августа, с более низкими гидротермическими показателями: среднесуточной температурой воздуха 17,7 °С, ГТК 1,1 и суммой активных температур выше 15 °С, равной 137 °С; третий период, с 21 августа по 10 сентября, с самыми низкими показателями качества семян и неблагоприятными погодными условиями по сравнению с предыдущими периодами: среднесуточной температурой воздуха 13,5 °С, ГТК 1,44 и суммой активных температур выше 15 °С, составляющей 107 °С.

8. Положительные и достоверно значимые корреляции ($r = 0,96–0,98$) наблюдались у растений *C. атоена* между посевными качествами семян (массой 1000 шт., энергией прорастания и всхожестью) и среднесуточной температурой воздуха выше 15 °С.

9. Установление тесных взаимосвязей между структурой элементов урожая и экологическими факторами является основой для разработки эффективной программы селекции и семеноводства кларкии на юге Западной Сибири, а также позволяет контролировать и в определенной мере прогнозировать урожайность и посевные качества нового сорта *Clarkia атоена* Малиновая чаша.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королева Е.В. Изучение декоративного потенциала популяций *Clarkia* Pursh в условиях лесостепи Западной Сибири // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 59-4. – С. 173–183.
2. Современные направления в селекции некоторых цветочных культур / М.А. Соколова, О.Б. Кузичев, С.В. Гончарова, Г.М. Пугачева // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 2. – С. 34–38.
3. Королева Е.В., Петров А.Ф., Чудинова Ю.В. Формирование генетической коллекции сортов однолетних цветочных культур рода *Clarkia* Pursh на базе Новосибирского ГАУ и оценка посевных качеств семян // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сельскохозяйственных культур: материалы междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 26–27 авг. 2021 г. – Краснодар: ЭДВИ, 2021. – С. 104–110.
4. Королева Е.В., Петров А.Ф., Чудинова Ю.В. Внутривидовая изменчивость цветочно-декоративных растений семейства Onagraceae и механизмы их сортообразования // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 2(59). – С. 18–42.

5. Храмцов И. Ф. 180-летие СибНИИСХ // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 12. – С. 3–4.
6. Интродукция и селекция пищевых растений в ЦСБС СО РАН, или насколько мы всеядны / А. Б. Горбунов, Н. В. Моисеева, В. С. Симагин [и др.] // Вестник ВОГиС. – 2005. – Т. 9, № 3. – С. 394–406.
7. Пошелюжина О.В. Урожай и качество семян декоративных многолетников в условиях лесостепной зоны Алтайского края // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 42–43.
8. Долганова З.В. Люди – создатели декоративного садоводства в Алтайском крае // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 7. – С. 10–12.
9. Достижения в интродукции и селекции декоративных растений на юге Западной Сибири / З. В. Долганова, Л. А. Клементьева, О. А. Мухина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 7. – С. 24–28.
10. Пасько О.А. Неоднородность семян однолетних цветочных растений // Агро XXI – 2011. – №1-3. – С. 40–42.
11. Паначева Г.К., Еременко Л.Л. Зависимость формирования и созревания семян *Clarkia elegans* Dougl. от погодных условий при интродукции в г. Новосибирск // Вестник ИрГСХА. – 2011. – № 44-6. – С. 95–102.
12. Ashman T.L., Schoen D.J. The cost of floral longevity in *Clarkia tembloriensis*: An experimental investigation // *Evolutionary Ecology*. – 1997. – Vol.11. – P. 289–300. – <https://doi.org/10.1023/A:1018416403530>.
13. Hove A.A., Mazer S.J., Ivey C.T. Seed set variation in wild *Clarkia* populations: teasing apart the effects of seasonal resource depletion, pollen quality, and pollen quantity // *Ecol Evol.* – 2016. – Aug 18; Vol. 6(18). – P. 6524–6536. – DOI: 10.1002/ece3.2372.
14. Королева Е.В. Биологические особенности цветения генетической коллекции растений семейства *Onagraceae* Juss. в условиях лесостепи Западной Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2022. – № 21-2. – С. 69–75.
15. Ткаченко К.Г. Методические аспекты изучения латентного периода растений // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: материалы X междунар. форума, Благовещенск - Хэйхэ, 5–6 июня 2019 г. – Благовещенск; Хэйхэ: Дальневост. гос. аграр. ун-т, 2019. – С. 194–197.
16. Официальный бюллетень ФГБУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» [Электронный ресурс]. – 2022. – № 1(271). – URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/03/bull_271_1.html (дата обращения: 05.04.2023).
17. Выписка из реестра ФГБУ «Госсорткомиссия» на 21:51 05.04.2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/7853728/> (дата обращения: 05.04.2023).
18. Королева Е.В., Ерёменко Л.Л. Зависимость семенной продуктивности *Godetia amoena* (lehm) G. Don от гидротермических условий в момент оплодотворения // Продуктивность культурных растений в зависимости от погодных условий: сб. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, июль 2012 г.). – Новосибирск, 2012. – С. 288–295.
19. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. – 1974. – Т. 59, № 6. – С. 826–831.
20. Методические указания по семеноведению интродуцентов. – М.: Наука, 1980. – 64 с.
21. Семена цветочных культур. Методы определения всхожести и энергии прорастания семян [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/138/13865.pdf> (дата обращения: 16.01.2023).
22. Влияние природных регуляторов роста на посевные качества однолетних цветочных культур / Е.В. Королева, А.А. Зибина, А.Ф. Петров [и др.] // Актуальные тенденции в развитии агрономической науки: сб. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения д-ра биол. наук, проф., акад. РАН, засл. деятеля науки России Г.П. Гамзикова. Новосибирск, 30 янв. 2023 г. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2023. – С. 142–146.

REFERENCES

1. Koroleva E.V., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, T. 59–4, pp. 173–183. (In Russ.).
2. Sokolova M.A., Kuzichev O.B., Goncharova S.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, T. 33, No. 2, pp. 34–38. (In Russ.).
3. Koroleva E.V., Petrov A.F., Chudinova YU.V., *Selekciya, semenovodstvo, tekhnologiya vozdevaniya i pererabotka sel'skohozyajstvennykh kul'tur* (Breeding, seed production, cultivation technology and processing of agricultural crops), Proceedings of the 3rd Intern. conf., Krasnodar, 26–27 avg. 2021 g., Krasnodar: EDVI, 2021, pp. 104–110. (In Russ.).
4. Koroleva E.V., Petrov A.F., Chudinova YU.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 2 (59), pp. 18–42. (In Russ.).
5. Hramcov I.F., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2008, No. 12, pp. 3–4. (In Russ.).
6. Gorbunov A.B., Moiseeva N.V., Simagin B.C., Snakina T.I., Boyarskih I.G., Fotev YU.V., Kudryavceva G.A., Belousova V.P., *Vestnik VOGiS*, 2005, T. 9, No. 3, pp. 394–406. (In Russ.).
7. Poshelyuzhina O.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2009, No. 4, pp. 42–43. (In Russ.).
8. Dolganova Z.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2008, No. 7, pp. 10–12. (In Russ.).
9. Dolganova Z.V., Klement'eva L.A., Muhina O.A., Bzhickih N.V., Vanyushina E.N., Pugach V.A., Sinogejkina G.E., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2013, No. 7, pp. 24–28. (In Russ.).
10. Pasko O.A., *Agro XXI*, 2011, No. 1–3, pp. 40–42. (In Russ.).
11. Panacheva G.K., Eremenko L.L., *Vestnik IrGSKHA*, 2011, No. 44–6, pp. 95–102. (In Russ.).
12. Ashman T.L., Schoen D.J., The cost of floral longevity in *Clarkia tembloriensis*: An experimental investigation, *Evolutionary Ecology*, 1997, No. 11, pp. 289–300, <https://doi.org/10.1023/A:1018416403530>.
13. Hove A.A., Mazer S.J., Ivey C.T., Seed set variation in wild *Clarkia* populations: teasing apart the effects of seasonal resource depletion, pollen quality, and pollen quantity, *Ecol Evol.*, 2016, Aug 18, Vol. 6 (18), pp. 6524–6536.
14. Koroleva E.V., *Problemy botaniki YUzhnoj Sibiri i Mongolii*, 2022, No. 21–2, pp. 69–75. (In Russ.).
15. Tkachenko K.G., *Ohrana i racional'noe ispol'zovanie lesnykh resursov* (Protection and rational use of forest resources), Proceedings of the 3rd Intern. forum, Blagoveshchensk - Hejhe, 5–6 iyunya 2019 g. – Blagoveshchensk; Hejhe: Dal'nevost. gos. agrar. un., 2019, pp. 194–197. (In Russ.).
16. *Oficial'nyj byulleten' FGBU «Gosudarstvennaya komissiya Rossijskoj Federacii po ispytaniyu i ohrane selekcionnykh dostizhenij»* (Official Bulletin), 2022, No. 1 (271): https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/03/bull_271_1.html (April 05, 2023).
17. *Vypiska iz reestra FGBU "Gossortkomissiya" na 21:51 05.04.2023*, Available at: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/7853728/> (April 05, 2023).
18. Koroleva E.V., Eryomenko L.L., *Produktivnost' kul'turnykh rastenij v zavisimosti ot pogodnykh uslovij* (Productivity of cultivated plants depending on weather conditions), Proceedings of the Conference Title. (Novosibirsk, iyul' 2012 g.), Novosibirsk, 2012, pp. 288–295. (In Russ.).
19. Vajnagij I.V., *Botanicheskij zhurnal*, 1974, T. 59, No. 6, pp. 826–831. (In Russ.).
20. *Metodicheskie ukazaniya po semenovedeniyu introductentov* (Guidelines for seed breeding of introducters), Moscow: Nauka, 1980, 64 p.
21. *Semena cvetochnykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti i energii prorastaniya semyan*: <https://files.stroyinf.ru/Data/138/13865.pdf> (data obrashcheniya 16.01.2023). (In Russ.).
22. Koroleva E.V., Zibina A.A., Petrov A.F., Lomako I.S., Boboeva SH. U., *Aktual'nye tendencii v razvitii agronomicheskoy nauki* (Current trends in the development of agronomic science), Proceedings of the Conference, Novosibirsk: IC NSAU Zolotoj kolos, 2023, pp. 142–146. (In Russ.).

АДАПТАЦИЯ МИКРОРАСТЕНИЙ СЛИВЫ ДОМАШНЕЙ (*PRUNUS DOMESTICA*) К УСЛОВИЯМ *IN VIVO*

А.В. Ложкин, кандидат сельскохозяйственных наук

М.Г. Маркова, научный сотрудник

Е.Н. Сомова, старший научный сотрудник

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, Ижевск, Россия

E-mail: markovamg@udman.ru

Ключевые слова: микрорастения, слива домашняя, адаптация, низовой торф, цеолит.

Реферат. Целью исследований являлась возможность применения цеолита для адаптации микрорастений сливы домашней сорта Казанская в условиях *in vivo*. Для экспериментов контрольным был субстрат на основе низового торфа (изготовитель АО «Удмуртторф», Удмуртская Республика, Россия). В исследуемых вариантах в торф добавляли цеолит (Татарско-Шатрашанское месторождение, Республика Татарстан, Россия) в дозах 60; 90, 120 г/л. Микрорастения также высаживали на субстрат из 100% -го цеолита. Установлено, что приживаемость микрорастений сливы домашней к нестерильным условиям в субстрате из низового торфа с добавлением цеолита во всех дозах значительно выше, чем в контрольном варианте (78,3%), и варьирует в пределах 86,7–99,2%. Приживаемость микрорастений сливы домашней в 100%-м субстрате из цеолита составила 80,8%, что на уровне контрольного показателя. На первом этапе адаптации значительно увеличилась длина прироста микрорастений в субстрате из низового торфа с добавлением цеолита в дозах 60 и 90 г/л, она составила 1,9 и 3,3 см соответственно при 1,2 см в контроле. В сравнении с максимально допустимой длительностью адаптации по ГОСТ Р 54051-2010 в 45 суток адаптация сливы домашней в целом составила 21 сутки. При этом в вариантах с внесением в субстрат на основе низового торфа цеолита в дозах 60; 90 и 120 г/л длина прироста микрорастений сливы домашней в среднем оказалась 6,0; 8,0 и 5,3 см соответственно, а высота адаптированных микрорастений к концу второго этапа адаптации составила 7,0; 9,0; 7,3 см, что превысило показатели ГОСТ Р 54051-2010.

ADAPTATION OF PLUM HOME (*PRUNUS DOMESTICA*) MICRO PLANTS TO *IN VIVO* CONDITIONS

A.V. Lozhkin, PhD in Agricultural Sciences

M.G. Markova, Researcher

E.N. Somova, Senior Researcher

Udmurt Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

E-mail: markovamg@udman.ru

Keywords: micro plants, domestic plum, adaptation, grassroots peat, zeolite.

Abstract. The aim of the research was the possibility of using zeolite for the adaptation of micro plants of plum home variety Kazanskaya under *in vivo* conditions. The control was a substrate for experiments based on grassroots peat (manufactured by JSC “Udmurtorf”, Udmurt Republic, Russia). In the studied variants, zeolite (Tatarsko-Shatrashanskoe deposit, Republic of Tatarstan, Russia) was added to peat in 60, 90, and 120 g/l doses. Microplants were also planted on a 100% zeolite substrate. It has been established that the survival rate of domestic plum micro plants to non-sterile conditions in a grassroots peat substrate with the addition of zeolite in all doses is significantly higher than in the control variant (78.3%) and varies within 86.7–99.2%. The survival rate of domestic plum micro plants in a 100% zeolite substrate was 80.8% at the control indicator's level. At the first stage of adaptation, the growth length of micro plants in the bottom peat substrate with the addition of zeolite at doses of 60 and 90 g/l increased significantly. It amounted to 1.9 and 3.3 cm, respectively, with 1.2 cm in control. Compared with the maximum allowable duration of adaptation according to GOST R 54051-2010 of 45 days, the transformation of home plum was 21 days in general. At the same time, in the variants with the addition of zeolite to the substrate based on grassroots peat at doses of 60: 90 and 120 g/l, the growth length of home plum micro plants was, on average, 6.0, 8.0, and 5.3 cm, respectively, and the height of adapted micro plants to the end of the second stage of adaptation were 7.0; 9.0; 7.3 cm, which exceeded the performance of State Standard (SS) R 54051-2010.

В условиях Среднего Предуралья России слива домашняя занимает не последнее место в любительских садах. Плоды ценятся за богатый минеральный состав, высокое содержание пектиновых веществ, наличие большого количества биологически активных веществ и витаминов. Использование новых адаптированных, пластичных, способных противостоять болезням и стрессовым погодным условиям сортов сливы позволяет существенно увеличить экологическую устойчивость садоводства [1]. В условиях Удмуртской республики хорошо адаптировался сорт сливы домашней Казанская селекции ТатНИИСХ.

Большой вред плодовым культурам наносят вирусные и фитоплазменные болезни, которые способны изменять фотосинтетическую деятельность, потребление и накопление минеральных элементов и даже скорость прохождения фаз растений [2]. Культивирование *in vitro* – один из способов оздоровления растений, надежный с точки зрения генетической стабильности размножаемых форм [3]. Клональное микроразмножение состоит из четырех этапов: введение эксплантов в культуру ткани, собственно микроразмножение, укоренение и адаптация. Переход из стерильных условий в нестерильные является для микро-растений стрессовым. Успех адаптации зависит от множества факторов, одним из которых является использование различных субстратов, обеспечивающих высокую приживаемость посадочного материала [4]. Добавление в субстраты цеолитов – минералов, обладающих уникальными адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами, способствует обеспечению длительного действия внесенного удобрения, предотвращению вымывания питательных веществ, накоплению и в течение длительного времени удержанию в почве дополнительного количества воды, что очень важно при адаптации микро-растений к нестерильным условиям [5, 6].

Наибольший эффект при использовании цеолитов как удобрений получен при их обогащении минеральными и органическими компонентами. Торфоцеолитные удобрения как в чистом виде, так и обогащенные стандартными минеральными туками (10; 20 и 30 %) положительно влияют на морфометрические параметры растений [7]. Имеются также данные, что растения могут расти на 100%-м цеолитном субстрате и положительно отзываться на добавку такого субстрата к удобренным и неудобренным грунтам. Добавка сравнительно небольшого количества неудобренного нейтра-

лизованного верхового торфа к цеолитному субстрату резко улучшает рост растений [8]. Установлено, что оптимальной для изменения ростовой среды биологических патогенных микроорганизмов является фракция активированного цеолита размером до 0,2 мм. В ростовой среде при этом происходит увеличение показателя щелочности [9]. Добавление смеси селенита натрия с цеолитом в почву при орошении положительно влияет на развитие корневой системы [10]. Введение природного цеолита в почву улучшало прирост растительной биомассы подсолнечника, площадь листьев, потенциал фотосинтеза и обеспечивало высокие урожаи [11].

Важным свойством цеолитов является способность выделять и вновь впитывать различные вещества [12]. Основываясь на этих свойствах цеолитов, их рекомендуют добавлять в садовую землю и почвосмеси для горшечных растений. Так, 1 кг цеолита способен впитать около 700 г воды, при поливе он впитывает влагу, а затем постепенно отдает растениям, являясь своего рода водным резервуаром. Пористая структура цеолитов повышает аэрацию почвы, делая ее более рыхлой и воздухопроницаемой [13]. Под действием цеолита уменьшается вымывание из почвы азота. Цеолит пролонгирует действие удобрений [14]. Активированный цеолит марки ZEOL, полученный путем термической и механической обработки цеолит-содержащих пород Татарско-Шатрашанского месторождения, положительно влияет на агрохимические свойства почв, а также обладает высокой адсорбционной и ионообменной способностью, механической прочностью и малой токсичностью. Его использование в качестве добавки к грунту на основе низового торфа на этапе адаптации микро-растений представляет практический интерес [15].

Цель исследований – изучить возможность применения цеолита для адаптации микро-растений сливы домашней в условиях *in vivo*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – микро-растения сливы домашней сорта Казанская. Исследования проведены на базе меристемной лаборатории УдмФИЦ УрО РАН согласно «Технологии получения оздоровленного посадочного материала плодовых и ягодных культур» [16]. Субстратом в исследованиях служил торф низовой с pH 5,0–5,5 производства АО «Удмуртторф» (Удмуртская Республика,

Россия), в который добавляли цеолит осадочно-го происхождения Татарско - Шатрашанского месторождения (Республика Татарстан, Россия) в дозах 30; 60; 90 и 120 г/л грунта. В одном из вариантов использовали 100%-й цеолит, в контрольном варианте – торф низовой.

Используемый в данных исследованиях цеолит состоит из клиноптилолита – 20–30%, монтмориллонита – 20–30, кварца – 4,6–11,3, опал-кристобалита – 20–30 и кальцита – 10,6–20,1%. Содержит SiO_2 57,12–66,34%, Al_2O_3 – 5,74–6,51, CaO – 14,6–18,75, K_2O – 1,06–1,8, Fe_2O_3 – 1,32–2,75, MgO – 1,33–1,8, Na_2O – 0,04–0,25, TiO_2 – 0,25–0,36, MnO – 0–0,01, P_2O_5 – 0,08–0,49, SiO_2 (аморф.) – 31,64%. Соотношение Si/Al 10,02–10,64. Кислотность (рН) водной суспензии 6,8–7,2. Пористость 55,65, плотность насыпная 0,65–0,7 г/см³, плотность истинная 2,3 г/см³, эффективный диаметр пор 0,4 нм, динамическая влагоемкость 3,85.

Торф низовой имел следующие характеристики: среднюю степень разложения, зольность 31,8%, рН 5,5–5,7, содержание сухого вещества 86%, N-NH_4 – 9%, P_2O_5 – 61,0 мг/кг, K_2O – 9,2 мг/кг.

Микрорастения для адаптации были высажены в мини-парники по 30 шт. в каждом варианте. На первом этапе (14 суток) влажность

воздуха составляла 100%, температура – 22–27°C, освещенность – 75–85 мМоль/м²·с⁻¹, 6500 К, фотопериод – 16 ч. На втором этапе адаптации микрорастения культивировали 7 суток при влажности воздуха 50–60%. Эксперименты проведены в трехкратной повторности, показатели длины и высоты растений

измеряли линейкой. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование цеолита осадочного происхождения в качестве добавки к низовому торфу на первом этапе адаптации микрорастений сливы домашней оказало положительное влияние. Так, приживаемость микрорастений во всех вариантах с добавлением цеолита в субстрат на основе низового торфа оказалась значительно выше и варьировала в пределах 86,7–99,2% при 78,3% в контрольном варианте и HCP_{05} 5,8%. В субстрате на основе цеолита приживаемость микрорастений сливы составила 80,0%, что на уровне контроля. Максимально высокая приживаемость микрорастений сливы домашней (%) получена в варианте с добавлением в субстрат цеолита в дозе 90 г/л – 99,2%:

Субстрат на основе низового торфа (контроль)	78,3
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 30 г/л	90,0
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 60 г/л	90,8
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 90 г/л	99,2
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 120 г/л	86,7
Субстрат на основе 100%-го цеолита	80,8
HCP_{05}	5,8

На первом этапе адаптации для эксперимента были выбраны и высажены в мини-парники микрорастения высотой в среднем около 1,0 см (табл. 1). В конце адаптации, через 14 суток, длина прироста микрорастений в субстрате на основе низового торфа (контроль) составила в среднем 1,2 см. При внесении в торфяной субстрат цеолита во всех дозах длина прироста микрорастений сливы увеличилась, но существенно только в вариантах с добавлением 60 и 90 г/л и составила соответственно 1,9

и 3,3 см при HCP_{05} 0,3 см. Добавление цеолита в дозах 30 и 120 г/л оказало незначительное положительное влияние, увеличив длину прироста микрорастений сливы до 1,4 см. В субстрате на основе 100%-го цеолита прироста у микрорастений сливы не наблюдалось, но они сформировали более мощную корневую систему. В конце первого этапа высота микрорастений в среднем варьировала от 2,0 см до 4,3 см, количество нормально развитых листьев – от 8,6 до 10 шт. и более на одно микрорастение.

Таблица 1

Показатели качества микрорастений после первого этапа адаптации
Quality indicators of micro plants after the first stage of adaptation

Вариант	Длина прироста, см	Число нормально развитых листьев, шт.	Высота микро-растения, см
Субстрат на основе низового торфа (контроль)	1,2	8,6	2,2
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 30 г/л	1,4	Более 10	2,4
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 60 г/л	1,9	Более 10	2,9
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 90 г/л	3,3	Более 10	4,3
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 120 г/л	1,4	Более 10	2,4
Субстрат на основе 100%-го цеолита	1,0	Более 10	2,0
НСР ₀₅	0,3		

На втором этапе адаптации микрорастения культивировали 7 суток также в мини-парниках, но без крышки. При этом влажность воздуха составляла 50–60%. Длина прироста микрорастений сливы на данном этапе оказалась достоверно высокая в сравнении с контролем (3,3 см) в вариантах с добавлением цеолита в дозах 60; 90; 120 г/л и составила соответственно 4,1; 4,7 и 3,9 см при НСР₀₅ 0,2 см (табл. 2). При максимально допустимой длительности адаптации 45 суток в целом в конце адапта-

ции (за два этапа) микрорастения с этих же вариантов достигли высоты 7,0; 9,0 и 7,3 см соответственно за 21 сутки, что превышает показатель ГОСТ Р 54051-2010 (не менее 5 см).

Механические повреждения и поражения болезнями, вредителями отсутствовали, листья были в нормальном тургорном состоянии. Дальнейшее подращивание адаптированных микрорастений сливы в лабораторных условиях проходило в отдельных контейнерах объемом 0,5 л.

Таблица 2

Показатели качества адаптированных микрорастений сливы домашней
Quality indicators of adapted plum micro plants

Вариант	Длина прироста, см	Число нормально развитых листьев, шт.	Высота микро-растения, см
Субстрат на основе низового торфа (контроль)	3,3	Более 10	4,5
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 30 г/л	3,4	Более 10	4,8
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 60 г/л	4,1	Более 10	7,0
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 90 г/л	4,7	Более 10	9,0
Субстрат на основе низового торфа + цеолит 120 г/л	3,9	Более 10	7,3
Субстрат на основе 100%-го цеолита	3,4	Более 10	4,4
НСР ₀₅	0,2		

ВЫВОДЫ

1. При адаптации микрорастений сливы домашней в субстрате из низового торфа с добавлением цеолита осадочного происхождения выявлено значительное увеличение приживае-

мости микрорастений сливы – до 86,7–99,2% в сравнении с контролем (78,3%).

2. Максимально высокая приживаемость микрорастений сливы – 99,2% достигнута при добавлении в субстрат цеолита в дозе 90 г/л.

3. Приживаемость микрорастений сливы в субстрате из 100%-го цеолита составила 80,0% – на уровне контроля.

4. Максимальные приросты микрорастений сливы, по итогам адаптации в целом, достигнуты в вариантах с добавлением цеолита в дозах

60; 90; 120 г/л и составили 4,1; 4,7 и 3,9 см соответственно при 3,3 см в контроле

5. В вариантах с добавлением цеолита в дозах 60; 90; 120 г/л адаптированные микрорастения сливы за 21 сутки достигли высоты 7,0; 9,0 и 7,3 см соответственно, что превышает показатель ГОСТ Р 54051-2010 (не менее 5 см).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еремин Г.В., Еремин В.Г. Использование генофонда дикорастущих видов рода *Prunus* L. в селекции клоновых подвоев косточковых культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2015. – Т. 176, № 4. – С. 416–428.
2. Бунцевич Л.Л., Винтер М.А., Щербаков Н.А. Влияние вируса шарки сливы (PPV) на эффективность клонального микроразмножения сливы домашней // Вестник АПК Ставрополья. – 2018. – № 4 (34). – С. 98–101.
3. Высоцкий В.А. Подходы к прогнозированию конечного выхода растений при клональном микроразмножении плодовых и ягодных культур // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 24–26.
4. Осипов Г.Е., Осипова З.А. Новый сорт сливы домашней Синеокая селекции Татарского НИИСХ // Садоводство и виноградарство. – 2016. – № 5. – С. 43–45.
5. Степанова Е.И., Конеева О.А. Применение цеолитов в сельскохозяйственном производстве // Природные ресурсы Центрального региона России и их рациональное использование: материалы II Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию кафедры почвоведения и прикладной биологии Орлов. гос. ун-та им. И.С. Тургенева. – Орел, 2019. – С. 119–122.
6. Influence of binder on porous structure of zeolite compositions and their catalytic activity / I.E. Kononova, E.V. Maraeva, V.A. Moshnikov, S.A. Skornikova // Glass physics and chemistry. – 2020. – Vol. 46, N 2. – P. 184–195.
7. Бонн В.Л. Практика применения торфоцеолитных удобрений для повышения качества посадочного материала земляники // Адаптивность сельскохозяйственных культур в экстремальных условиях Центрально- и Восточно-Азиатского макрорегиона: сб. тр. конф. Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2018. – С. 161–170.
8. Питательный субстрат для растений на основе цеолитов / В.С. Солдатов, А.П. Езубец, В.В. Сапрыкин, Е.Г. Косандрович, Л.Н. Шаченкова // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1 (66). – С. 149–161.
9. Цеолит – концентрация водородных ионов и микробный фон / А.Н. Чернов, Е.А. Прищипенко, Д.М. Афордоань, Р.Р. Газизов // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: материалы IV Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. году науки и технологий в РФ и 40-летию института общей и экспериментальной биологии. – Улан-Удэ: Изд-во Бурят. науч. центра Сиб. отд-ния РАН, 2021. – С. 524–526.
10. Plant growth and biological productivity after processing with microelements / I.A. Dobrosmyslova, A.A. Sazanova, V.G. Semenov [et al.] // Вестник национальной академии наук Республики Казахстан. – 2021. – №1 (389). – С. 74–80.
11. Kulzhanova S., Popov V. Influence of natural zeolites and improved mineral feeding on physiological and morphological features of sunflower in north-eastern // Kazakhstan International Research Journal. – 2018. – № 2 (68). – P. 39–44.
12. Mamadoliev I.I., Fayzullaev N.I. Optimization of the activation conditions of high silicon zeolite // International journal of advanced science and technology. – 2020. – Vol. 29, N 3. – P. 6807–6813.
13. Gas adsorption in zeolite and thin zeolite layers: molecular simulation, experiment, and adsorption potential theory / W. Kellouai, M. Plazanet, B. Coasne [et al.] // Langmuir. – 2021. – P. 162–169.
14. Шаббаев В.П., Бочарникова Е.А., Остроумов В.Е. Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита // Почвоведение. – 2020. – № 6. – С. 738–750.

15. *Активированный цеолит как компонент органоминерального удобрения* / Е.М. Кулагина, Е.Ю. Громова, Р.И. Юсупова, Ф.Ф. Багаутдинов, Ю.Г. Галяметдинов // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 11. – С. 9–12.
16. *Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур: метод. указания* / М.Т. Упадышев [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2013. – 91 с.
17. *Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям*. – Изд. 6-е, стер. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.

REFERENCES

1. Eremin G.V., Eremin V.G., *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*, 2015, Vol. 176, No. 4, pp. 416–428. (In Russ.)
2. Buntsevich L.L., Vinter M.A., Shcherbakov N.A., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2018, No. 4 (34), pp. 98–101. (In Russ.)
3. Vysotskii V.A., *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*, 2019, Vol. 6, No. 1, pp. 24–26. (In Russ.)
4. Osipov G.E., Osipova Z.A., *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2016, No. 5, pp. 43–45. (In Russ.)
5. Stepanova E.I., Koneeva O.A., *Prirodnye resursy tsentral'nogo regiona Rossii i ikh ratsional'noe ispol'zovanie* (Natural resources of the central region of Russia and their rational use), Proceedings of the 2nd FII-Russian Conference, Orel: Publishing House of I.S. Turgenev Orel State University, 2019, pp. 119–122. (In Russ.)
6. Kononova I.E., Maraeva E.V., Moshnikov V.A., Skornikova S.A., Influence of binder on porous structure of zeolite compositions and their catalytic activity, *Glass physics and chemistry*, 2020, Vol. 46, No. 2, pp. 184–195. (In Russ.)
7. Bopp V.L., *Adaptivnost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v ekstremal'nykh usloviyakh tsentral'noi i vostochno-aziatskogo makroregiona* (Adaptability of agricultural crops in extreme conditions of the Central and East Asian macroregion), Proceedings of the conference title, Krasnoyarsk: Publishing house of Krasnoyarsk state agrarian university, 2018, pp. 161–170. (In Russ.)
8. Soldatov V.S., Ezubets A.P., Saprykin V.V., Kosandrovich E.G., Shachenkova L.N., *Pochvovedenie i agrokhiymiya*, 2021, No. 1 (66), pp. 149–161. (In Russ.)
9. Chernov A.N., Prishchipenko E.A., Afordoan'i D.M., Gazizov R.R., *Raznoobrazie pochv i bioty severnoi i tsentral'noi Azii* (Diversity of soils and biota of North and Central Asia), Proceedings of the 4th FII-Russian Conference, Ulan-Ude: Publishing House of the Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021, pp. 524–526. (In Russ.)
10. Dobrosmyslova I.A., Sazanova A.A., Semenov V.G., *Vestnik natsional'noi akademii nauk respubliky Kazakhstan*, 2021, No. 1 (389), pp. 74–80. (In Kazakhstan)
11. Kulzhanova S., Popov V., Influence of natural zeolites and improved mineral feeding on physiological and morphological features of sunflower in north-eastern, *Kazakhstan International Research Journal*, 2018, No. 2 (68), pp. 39–44. (In Kazakhstan)
12. Mamadoliev I.I., Fayzullaev N.I., Optimization of the activation conditions of high silicon zeolite, *International journal of advanced science and technology*, 2020, Vol. 29, No. 3, pp. 6807–6813.
13. Kellouai W., Plazanet M., Coasne B., Judeinstein P., Baudoin S., Drobek M., Julbe A., Gas adsorption in zeolite and thin zeolite layers: molecular simulation, experiment, and adsorption potential theory, *Langmuir*, 2021, pp. 162–169.
14. Shabaev V.P., Bocharnikova E.A., Ostroumov V.E., *Pochvovedenie*, 2020, No. 6. pp. 738–750. (In Russ.)
15. Kulagina E.M., Gromova E.Yu., *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2020, Vol. 23, No. 11, pp. 9–12. (In Russ.)
16. Upadyshev M.T. i dr., *Tehnologiya poluchenija ozdorovlennogo ot virusov posadochnogo materiala plodovykh i jagodnykh kul'tur* (Technology for obtaining virus-free planting material for fruit and berry crops), Moscow: Rosinformagroteh, 2013, 91 p.
17. Dosphehov B.A., *Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Field experiment methodology: (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Al'jans, 2011, 350 p.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОРТОВ СОИ ОМСКОГО АНЦ В КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

¹Л.В. Омелянюк, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

²И.В. Сидорик, зав. лабораторией

¹А.М. Асанов, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

²Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», с. Заречное, Костанайской обл., Республика Казахстан

E-mail: omelyanyuk@anc55.ru

Ключевые слова: соя, сорт, скороспелость, урожайность семян, содержание белка.

Реферат. Исследования проведены в 2012–2021 гг. в ТОО СХОС «Заречное» Костанайской области Республики Казахстан. В эксперимент включены скороспелые сорта сои селекции Омского АНЦ, допущенные для возделывания в РФ: Дина, Сибирячка и Золотистая, районированная и в РК. В мае–сентябре в 2012, 2014, 2019, 2022 гг. наблюдались сухие погодные условия (ГТК 0,40 – 0,69); засушливые (ГТК 0,70 – 0,99) – в 2015 – 2017, 2020 гг.; умеренно влажные (ГТК 1,00) – в 2013 и 2018 гг. Достоверное положительное влияние на продолжительность вегетационного периода оказывало повышение коэффициента ГТК за период май–сентябрь ($r = 0,566$) и в июле ($r = 0,444$). Увеличение суммы осадков удлиняло период вегетации до 113 сут, повышение температуры воздуха ускоряло вегетацию до 83 сут ($r = -0,353$ и $r = -0,440$ соответственно). Наиболее стабильной была высота растений, которая изменялась в зависимости от условий года и сорта от 55 до 76 см – коэффициент вариации около 10%. Достоверные сортовые различия средних многолетних значений выявлены лишь по числу бобов на растении – сорт Сибирячка имел преимущество перед сортами Дина и Золотистая, сформировав в среднем за 10 лет 36 бобов на растении. На уровень урожайности семян достоверное влияние оказывали сумма осадков ($r = 0,608$) и температура воздуха ($r = -0,632$) в июне, а также число продуктивных узлов ($r = 0,365$) на растении. На повышение доли белка положительно влияло увеличение суммы осадков в июне и в целом за май–сентябрь: $r = 0,415$ и $r = 0,581$ соответственно, а также ГТК за эти периоды: $r = 0,362$ и $r = 0,561$. Выявлена существенная положительная корреляционная связь содержания белка с массой 1000 семян ($r = 0,615$) и не высокая, но достоверная положительная корреляция массы 1000 семян с суммой осадков в августе ($r = 0,375$). Максимальные в опыте урожайность семян и содержание в них белка отмечены у сорта Дина в 2016 г. – 2,78 т/га и 40,6% соответственно. У сорта Золотистая лучшая стрессоустойчивость по этим показателям. Пластичностью отличались сорта: Дина – по урожайности ($bi = 1,11$) и Сибирячка – по массе 1000 семян ($bi = 1,18$). Все сорта селекции Омского АНЦ, включенные в эксперимент, могут быть использованы в селекционной работе в условиях Костанайской области в качестве источников скороспелости и урожайности – для формирования более 2,4 т/га семян им требуется от 93 до 110 сут.

RESULTS OF THE STUDY OF SOYBEAN VARIETIES AT OMSK AGRICULTURAL RESEARCH CENTER IN THE KOSTANAY REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

¹L.V. Omelyanyuk, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

²I.V. Sidorik, Head laboratory

¹A.M. Asanov, PhD in Agricultural Sciences

¹Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia

²Agricultural experimental station “Zarechnoye”, village Zarechnoye, Kostanay region, Republic of Kazakhstan

E-mail: omelyanyuk@anc55.ru

Keywords: soybean, variety, early maturity, seed yield, protein content.

Abstract. The authors conducted research from 2012–2021 at LLP Agricultural Experimental Station “Zarechnoye” of the Kostanay region of Kazakhstan. The experiment included early maturing soybean varieties bred by the Omsk ANC, approved for cultivation in the Russian Federation: Dina, Sibiryachka and Zolotistaya, also zoned in the Republic of Kazakhstan. From May till September 2012, 2014, 2019, and 2022 dry weather

conditions were observed (HTC 0.40 - 0.69); arid (HTC 0.70 - 0.99) - in 2015 - 2017, 2020; moderately humid (HTC 1.00) - in 2013 and 2018. A significant positive effect on the duration of the growing season was provided by an increase in the HTC coefficient for the period May–September ($r = 0.566$) and in July ($r = 0.444$). An increase in precipitation lengthened the growing season to 113 days, and an increase in air temperature accelerated the growing season to 83 days ($r = -0.353$ and $r = -0.440$, respectively). The most stable was the plant height, which varied depending on the conditions of the year and variety from 55 to 76 cm - the coefficient of variation was about 10%. Significant varietal differences in average long-term values were revealed only by the number of pods per plant - the Sibiryachka cultivar had an advantage over the Dina and Zolotistaya cultivars, having formed an average of 36 pods per plant over ten years. The level of seed yield was significantly affected by the amount of precipitation ($r = 0.608$) and air temperature ($r = 0.632$) in June, as well as the number of productive nodes ($r = 0.365$) per plant. The increase in the share of protein was positively influenced by the rise in the amount of precipitation in June and in general for May–September: $r = 0.415$ and $r = 0.581$, respectively, as well as by the HTC for these periods: $r = 0.362$ and $r = 0.561$. A significant positive correlation was found between the protein content and the weight of 1000 seeds ($r = 0.615$) and a not high but significant positive correlation between the weight of 1000 seeds and the amount of precipitation in August ($r = 0.375$). The maximum seed yield and protein content in the experiment were noted in the Dina variety in 2016 - 2.78 t/ha and 40.6%, respectively. Variety Zolotistaya has the best resistance to stress in these indicators. Types differed in plasticity: Dina - in terms of yield ($bi = 1.11$) and Sibiryachka - in terms of weight of 1000 seeds ($bi = 1.18$). All varieties of the selection of the Omsk ANC included in the experiment can be used in breeding work in the conditions of the Kostanay region as sources of early maturity and yield - they need from 93 to 110 days to form more than 2.4 t/ha of seeds.

Благодаря успехам селекционеров посевная площадь сои в Казахстане увеличилась с 30 тыс. га в 1990-х гг. до 113,3 тыс. га в 2021 г. При этом доля отечественных сортов в настоящее время составляет 55–65%, что является большим и уверенным шагом к достижению продовольственной безопасности [1]. Соя очень сложна для возделывания в Республике Казахстан из-за климатических особенностей этой страны. Однако культура пользуется спросом и обещает фермерам высокую рентабельность. Посевом сои в хозяйствах достигают сразу нескольких целей: соевый шрот в достаточной степени обогащён белками для питания и оздоровления крупного рогатого скота, культура имеет высокую маржинальность, а также является хорошим предшественником для других сельскохозяйственных растений.

По холдингу Olzha Agro в 2020 г. было посеяно 1,8 тыс. га сои. Использовались гибридные сорта Аполло и Ультра, а также Марина и Золотистая. Здесь ориентируются на расширение площадей под соей до 12–14 тыс. га. Впрочем, из-за климатических условий выбор сортов сои в Казахстане невелик – приходится использовать скороспелые и ультраскороспелые разновидности, т.е. аграрии рискуют, но всё равно сеют, потому что есть спрос и выгодна цена [2].

Определяющее значение при возделывании теплолюбивой сои как культуры короткого дня имеет подбор сортов, адаптированных к узким поясам географических широт (с разницей в 1°C), что усиливает приоритет местной региональной селекции [3]. Ученые уже доказали возможность возделывания ультраскороспелых

сортов сои в регионах Северного Казахстана [4]. Более наглядные результаты, позволяющие отобрать сорта, характеризующиеся не только ультраскороспелостью, но и высокой продуктивностью, были получены в Костанайской области, поэтому дальнейшую работу по выведению ультраскороспелых и высокопродуктивных сортов, включающую всю схему – от гибридизации до высших селекционных питомников, – следует проводить именно здесь [5]. Для создания таких сортов актуальной задачей является поиск генотипов инорайонной селекции, адаптированных к условиям региона.

Несмотря на достаточно высокий генетический потенциал сортов, при выращивании в различных почвенно-климатических условиях отмечается сильное снижение урожайности в отдельные годы и её нестабильность [6, 7]. Стабильность производства зерна во многом зависит от складывающихся погодных условий, технологии возделывания и способности сорта сохранить высокий уровень урожайности и качества зерна при воздействии неблагоприятных условий среды [8]. Высокая чувствительность отдельных сортов к неблагоприятным условиям выращивания часто сужает ареал и ограничивает их общее распространение. На основании испытания сортов сои в разных регионах выращивания можно прогнозировать генетически определенную степень стабильности урожайности (приспособленности к условиям выращивания) [9].

Результатом многолетней селекционной работы в Омском АНЦ являются сорта сои, сочетающие короткий вегетационный период с высоким потенциалом урожайности в экс-

тремальных для этой агрокультуры сибирских природно-климатических условиях на широте 55° [10]. Определение хозяйственной ценности исследуемых сортов обычно осуществляется с помощью многолетних испытаний в полевых условиях [11].

Цель исследований – определить потенциал урожайности и белковости семян сортов сои сибирского экотипа в условиях Северного Казахстана.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В эксперимент включены скороспелые сорта сои селекции Омского АНЦ, допущенные для возделывания в производстве РФ: Дина – с 2003 г. по 10-му и 11-му регионам, Золотистая – с 2013 г. по 9–11-му регионам, а также районирована в 2016 г. по Костанайской области и является эталоном в ГСИ РК; Сибирячка – с 2013 г. по 10-му и 11-му регионам, в 2014–2021 гг. – стандарт в селекции и в ГСИ РФ.

Опыты проведены в 2012–2021 гг. на поле-вом стационаре ТОО «СХОС "Заречное"» близ г. Костанай Костанайской области (53°12'51" с.ш., 63°37'28" в.д.). Почва участка – чернозем южный маломощный в комплексе с солонцами до 10%. Мощность гумусового горизонта (А+В) 41–45 см. Вскипание от НСІ с 85 см, выделение карбонатов с той же глубины. Содержание гумуса 3,0–3,2%. По данным агрохимической лаборатории ТОО «СХОС "Заречное"», почва опытного участка содержит валового азота (в слое 0–20 см) 0,15–0,16%, фосфора – 0,10–0,13%. Обеспеченность почвы подвижными формами азота (NO_3 по Грандваль-Ляжу) – 22,5–25,5 мг/кг почвы (средняя), фосфора (P_2O_5 по Чирикову) – 114–136 мг/кг почвы (повышенная) и калия (K_2O по Чирикову) – более 200 мг/кг почвы (высокая). Поглощающий комплекс насыщен кальцием и в меньшей мере – магнием. Обменного натрия и калия содержится незначительное количество. Реакция водной суспензии в пределах первого метра слабощелочная. Полная полевая влагемкость почвы для метрового слоя – 204,6 мм, влажность завядания – 70,2 мм, диапазон доступной влаги – 134,4 мм.

Агротехника в опытах – общепринятая для Северного Казахстана [12]. Опыт закладывался по гербицидному пару, подготовка которого осуществлялась с применением почвозащитной ресурсосберегающей технологии. Закрытие влаги проводилось по мере достижения физической спелости почвы вращающейся бороной, не нарушающей мульчирующий слой,

предпосевная культивация – СКП-2,1 с последующим боронованием тяжелыми боронами типа «Зигзаг». Непосредственно перед посевом проведена инокуляция семян сои штаммами азотфиксирующих бактерий. Состав рабочего раствора: Ризобаш 3 л/т семян + вода 10 л/т + Борогум 0,5 л/т + Биолипостим 0,3 л/т. Посев проведен в оптимальный срок (третья декада мая), делянки 11-рядковые площадью 20 м² с междурядьями 15 см. Норма высева – 650 тыс. всхожих семян на 1 га. Размещение образцов рендомизированное в трехкратной повторности. В период полных всходов – начала ветвления посевы сои обработаны гербицидом Арамо (1,5 л/га) для уничтожения просовидных сорняков. В фазе 4–5 настоящих листьев агрокультуры проведена внекорневая подкормка комплексным микроудобрением Микроэл. Уборка осуществлялась напрямую комбайном «Сампо-2010» при влажности семян 15–16% с последующей их очисткой и сушкой до 13–14%.

Полевая оценка проводилась в соответствии с методическими указаниями ВИР [13]. Белок определяли в испытательной лаборатории СХОС «Заречное» (аккредитована и аттестована) по ГОСТ 32749-2014 на ИК-анализаторе «Ифралюм ФТ». Из каждой повторности у 25 растений анализировали структуру урожая по основным показателям. Статистический анализ осуществлялся по Б.А. Доспехову [14]. Коэффициент корреляции рассчитывали по комплексу всех данных, полученных за период 2012–2021 гг. (объем выборки – 30 пар значений). Стрессоустойчивость определяли по разности между минимальным и максимальным показателями [11]; пластичность и стабильность – по методике Эберхарта и Рассела в изложении В.А. Зыкина и др. [15].

Климат в зоне проведения исследований – резко-континентальный с жарким и сухим летом и малоснежной холодной зимой. Продолжительность безморозного периода колеблется от 108 до 130 суток. Затяжные холода весной, ранее похолодание осенью и поздние летние осадки типичны для климата Костанайской области и отличают его от других засушливых регионов (например, Поволжья). Характерным признаком континентального климата является преобладание осадков теплого периода (май–октябрь) – 60–80% от годовой нормы с максимумом во второй половине лета, чаще всего в июле. Особенно засушливым бывает конец мая – июнь. Большая инсоляция, резкая разница температур днем и ночью, низкая влажность воздуха, малооблачность и частые ветра вызывают интенсивное

испарение влаги, в 2–5 раз превышающее сумму атмосферных осадков. Все климатические факторы сильно варьируют в разные вегетационные периоды как по напряженности, так и по времени проявления.

За годы проведения исследований период май – сентябрь был самым засушливым в 2021 г. (ГТК 0,49) с суммой осадков 145 мм (77% от нормы) и рекордно низким ГТК в июне и августе – соответственно 0,22 и 0,08 (табл. 1).

Таблица 1

Гидротермическое обеспечение периода май–сентябрь (2012–2021 гг.)
Hydrothermal supply for the period May–September (2012–2021)

Период	Средне-много-летнее	Год									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Сумма осадков, мм											
Май	36	28	21	14	82	3	52	45	18	81	6
Июнь	35	27	10	19	38	51	78	76	13	23	14
Июль	56	23	117	108	31	71	68	36	23	17	104
Август	35	101	114	9	23	11	37	82	53	70	5
Сентябрь	25	11	2	13	38	74	7	13	52	14	17
Сумма за май–сентябрь	187	190	262	162	211	210	242	252	159	204	145
Среднесуточная температура воздуха, °C											
Май	13,7	15,7	13,6	17,1	15,0	14,2	13,5	11,9	15,4	17,2	20,0
Июнь	20,0	22,0	20,2	21,2	22,2	18,3	18,7	16,6	18,5	17,8	20,8
Июль	20,9	24,2	20,4	16,7	20,2	20,3	19,7	22,1	23,1	23,3	21,3
Август	18,9	20,8	18,8	21,1	16,9	22,9	20,3	18,1	19,3	19,8	22,2
Сентябрь	12,5	13,0	13,0	10,7	12,9	13,0	12,6	13,2	10,9	13,7	11,1
Среднее за май–сентябрь	17,2	19,1	17,2	17,4	17,4	17,7	17,0	16,4	17,4	18,4	19,1
Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК)											
Май–сентябрь	0,71	0,65	1,00	0,61	0,79	0,77	0,93	1,00	0,59	0,73	0,49
Июнь	0,58	0,41	0,16	0,30	0,56	0,94	1,39	1,53	0,23	0,43	0,22
Июль	0,86	0,31	1,84	2,08	0,49	1,13	1,11	0,52	0,32	0,24	1,57
Август	0,60	1,57	1,95	0,14	0,44	0,15	0,58	1,47	0,89	1,13	0,08

Самой дождливой была вторая половина лета в 2013 г., когда в июле и августе сумма осадков превысила среднее многолетнее значение на 109 и 224% соответственно. В целом в мае–сентябре сухие условия (ГТК 0,40–0,69) наблюдались в 2012, 2014, 2019, 2021 гг.; засушливые (ГТК 0,70–0,99) – в 2015–2017, 2020 гг.;

обеспеченные влагой (ГТК 1,00) – в 2013 и 2018 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Соя, как и другие сельскохозяйственные культуры, подвержена влиянию стрессовых

факторов, особенно возникающих при изменении погодных условий в процессе формирования урожая [7, 16, 17]. В нашем опыте достоверное положительное влияние на продолжительность вегетационного периода оказывало повышение ГТК в целом за период

май–сентябрь ($r = 0,566$) и в июле ($r = 0,444$) (табл. 2). Однако, если увеличение суммы осадков удлиняло период вегетации, то повышение температуры воздуха оказывало противоположный – отрицательный эффект ($r = -0,353$ и $r = -0,440$ соответственно).

Таблица 2

Корреляционная связь хозяйственно-ценных признаков сои с параметрами гидротермического обеспечения за период вегетации (май–сентябрь) и летние месяцы (2012–2021 гг.)
Correlation of economically valuable traits of soybeans with parameters of hydrothermal supply for the growing season (May–September) and summer months (2012–2021)

Хозяйственно-ценный признак	Период			
	май–сентябрь	июнь	июль	август
<i>Корреляционная связь с ГТК</i>				
Вегетационный период	0,566*	0,328	0,444*	-0,074
Урожайность	0,323	0,640*	0,194	-0,386*
Белок в семенах	0,561*	0,362*	-0,101	0,298
Масса 1000 семян	0,238	0,296	-0,180	0,337
<i>Корреляционная связь с суммой осадков (мм) за период</i>				
Вегетационный период	0,566*	0,352*	0,495*	-0,104
Урожайность	0,274	0,608*	0,250	-0,418*
Белок в семенах	0,581*	0,415*	-0,055	0,297
Масса 1000 семян	0,284	0,327	-0,130	0,375*
<i>Корреляционная связь со средней температурой воздуха (°C) за период</i>				
Вегетационный период	-0,353*	-0,112	-0,440*	-0,079
Урожайность	-0,354*	-0,632*	-0,232	0,277
Белок в семенах	-0,315	0,117	0,029	-0,232
Масса 1000 семян	0,049	0,065	0,303	0,170

* Корреляция достоверна (порог существенности $r = 0,350$).

В целом изучаемые сорта стабильно вызревали в любых погодных условиях. Минимальный индекс среды по анализируемому показателю отмечен в засушливых 2012 и 2019 гг. (–12,0 и –10,4 соответственно), максимальный – в 2017 г. (+15,3) (рис. 1). У сорта Золотистая проявился очень сильный эффект в увеличении продолжительности вегетации: как в 2013 г. в условиях переувлажнения в июле и августе при наибольшем за 10 лет ГТК (1,84 и 1,95) – до 113 сут (+10 сут к показателю других омских сортов), так и в очень засушливом 2019 г. – до максимальных в опыте 89 сут (+ 6 сут).

Нашими исследованиями подтверждаются выводы ученых о том, что урожайность и качество производимого соевого зерна подвержены значительным колебаниям по годам [11]. Моделирование фенологии и урожайности сои в программе CROPGRO-Soybean, проведенное американскими исследователями на основе

анализа урожайности агрокультуры и климатических данных за 20 лет, позволило предположить, что негативное влияние повышения температуры может быть нивелировано увеличением количества осадков, оптимизацией орошения и выращиванием позднеспелых сортов сои [18]. В нашем опыте выявлена не очень высокая, но существенная положительная корреляция средней по сортам урожайности семян с продолжительностью их вегетационного периода ($r = 0,577$, $r^2 = 0,643$). Установлено, что омским сортам для формирования более 2,4 т семян с 1 га требуется не менее 93 сут (рис. 2), но при затягивании вегетации более чем до 110 сут урожайность снижается, а также обостряются трудности уборочной компании из-за неблагоприятных погодных явлений, свойственных осеннему периоду в регионе, низких температур воздуха и осадков.

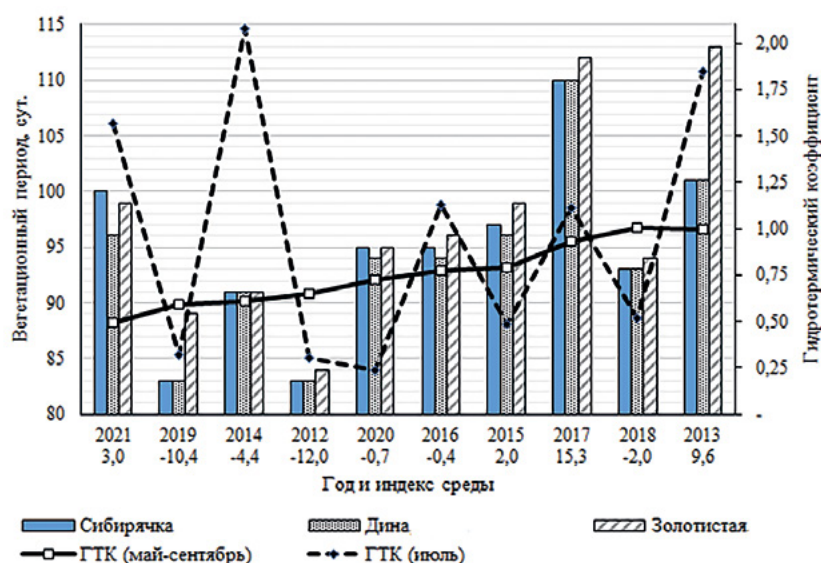


Рис. 1. Изменение продолжительности вегетационного периода в зависимости от увеличения ГТК за май–сентябрь и ГТК в июле (2012–2021 гг.)

Fig. 1. Change in the duration of the growing season depending on the increase in the HTC in May–September and the HTC in July (2012–2021)

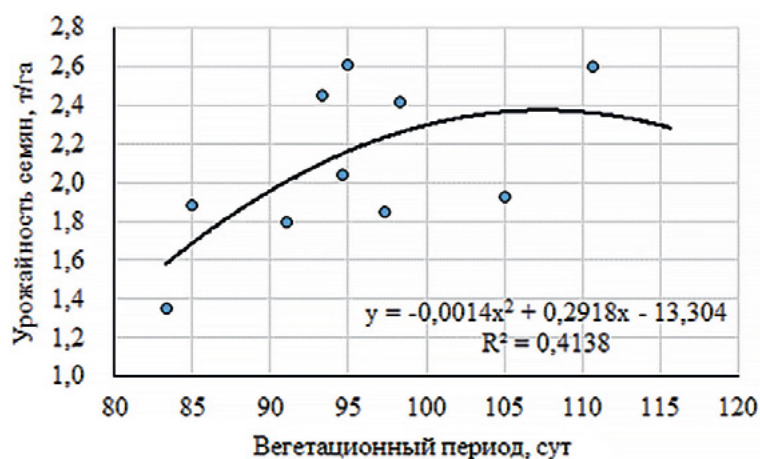


Рис. 2. Влияние продолжительности вегетационного периода на среднюю по выборке урожайность семян сои (2012–2021 гг.)

Fig. 2. Influence of the length of the growing season on the average yield of soybean seeds for the sample (2012–2021)

На уровень урожайности семян оказывали положительное влияние погодные условия июня: повышение суммы осадков ($r = 0,608$) и снижение температуры воздуха ($r = 0,632$). В августе усиление осадков негативно сказывалось на формировании урожайности сои ($r = 0,386$) (см. табл. 2). Наименьший индекс среды отмечен в засушливом 2012 г. ($-0,74$), наибольший – в 2016 и 2017 гг. ($+0,52$ и $+0,51$) при повышенных значениях ГТК в июне и июле ($0,94$ – $1,39$). Максимальный уровень урожайности сорта Сибирячка ($2,65$ т/га) и Золотистая

($2,55$ т/га) сформировали в 2017 г., Дина – в 2016 г. ($2,78$ т/га) (рис. 3). В нашем опыте выявлено достоверное положительное влияние количества продуктивных узлов на уровень урожайности ($r = 0,365$) и число бобов на растении ($r = 0,607$).

Наиболее стабильной в годы исследований была высота растений, которая изменялась, в зависимости от воздействия внешних факторов и сорта, от 55 до 76 см – коэффициент вариации около 10% (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика сортов сои по элементам структуры урожая (2012–2021 гг.)
Characteristics of soybean varieties by crop structure elements (2012–2021)

Показатель	Сорт	Минимум	Максимум	Среднее многолетнее*	Коэффициент вариации, %
Высота растений, см НСР ₀₅ ** = 6,4	Сибирячка	55,0	73,0	61,7	10,9
	Дина	55,0	70,0	61,8	8,5
	Золотистая	58,0	76,0	66,2	10,4
Высота прикрепления нижнего боба, см НСР ₀₅ = 1,9	Сибирячка	10,0	16,0	12,7	14,4
	Дина	9,0	18,0	14,0	19,9
	Золотистая	11,0	22,0	14,5	21,6
Количество боковых ветвей, шт. НСР ₀₅ = 0,5	Сибирячка	2,0	4,0	2,7	25,0
	Дина	2,0	4,0	2,7	25,0
	Золотистая	2,0	3,0	2,8	15,1
Количество продуктивных узлов, шт. НСР ₀₅ = 2,6	Сибирячка	10,0	22,0	15,5	24,0
	Дина	6,0	23,0	17,3	28,5
	Золотистая	11,0	25,0	17,2	24,5
Количество бобов с одного растения, шт. НСР ₀₅ = 4,2	Сибирячка	23,0	76,0	40,7	36,2
	Дина	8,0	47,0	32,6	32,9
	Золотистая	17,0	42,0	30,9	31,4

* Среднее за 2012 – 2021 гг.; ** для сравнения средних многолетних значений.

* Average for 2012 - 2021; ** for comparison of long-term averages.

Изменение погодных условий наиболее сильно отражалось на количестве бобов. Оно варьировало от минимальных 8 шт. у сорта Дина (2012 г.) до максимальных 76 шт. у сорта Сибирячка (2018 г.). Достоверные сортовые различия средних многолетних значений выявлены лишь по этому показателю – сорт Сибирячка имел преимущество перед сортами Дина и Золотистая, сформировав в среднем за 10 лет 36 бобов на растении.

Интенсивность процессов накопления азота в растениях сои особенно высока в условиях повышенной влажности. Эффективная ассимиляционная деятельность листьев, активная азотфиксация клубеньковых бактерий приводят к усиленной аккумуляции азота в зерне [19]. В нашем опыте выявлены положительные корреляции белковости зерна со значениями гидротермического обеспечения периода май–сентябрь и июня: с ГТК ($r = 0,561$ и $r = 0,362$ соответственно), а также с суммой осадков ($r = 0,581$ и $r = 0,415$) (табл. 2). Годы с положительными значениями индекса среды по белку, за редким исключением, отличались сравнительно высокими значениями ГТК за период май–сентябрь (0,77–1,00) (рис. 4).

Исключением является засушливый 2012 г. с индексами среды по урожайности -0,74

и по анализируемому показателю +2,27. В этих условиях 40,9% белка выявлено у сорта Сибирячка при сборе семян 1,20 т/га. У сорта Дина в 2016 г. в условиях оптимального увлажнения в июне и июле при рекордной в опыте урожайности (2,78 т/га) семена также имели повышенную белковость (40,6%).

В нашем опыте выявлена существенная положительная корреляция содержания белка с массой 1000 семян ($r = 0,615$). Установлена не высокая, но достоверная положительная корреляция массы 1000 семян лишь с суммой осадков в августе – в период налива бобов ($r = 0,375$) (см. табл. 2).

Масса 1000 семян варьировала от 124,0 (сорт Дина, 2020 г.) до 207,9 г (сорт Сибирячка, 2012 г.). В среднем по опыту анализируемый показатель был в пределах 152,0 – 169,1 г, степень варьирования средняя. Достоверных сортовых различий средних многолетних значений не выявлено (табл. 4).

Стрессоустойчивость определяли по разности между минимальным и максимальным показателями [11]. Чем меньше величина этого параметра, тем выше стрессоустойчивость. Этим качеством отличается сорт Золотистая по урожайности семян и содержанию в них белка.

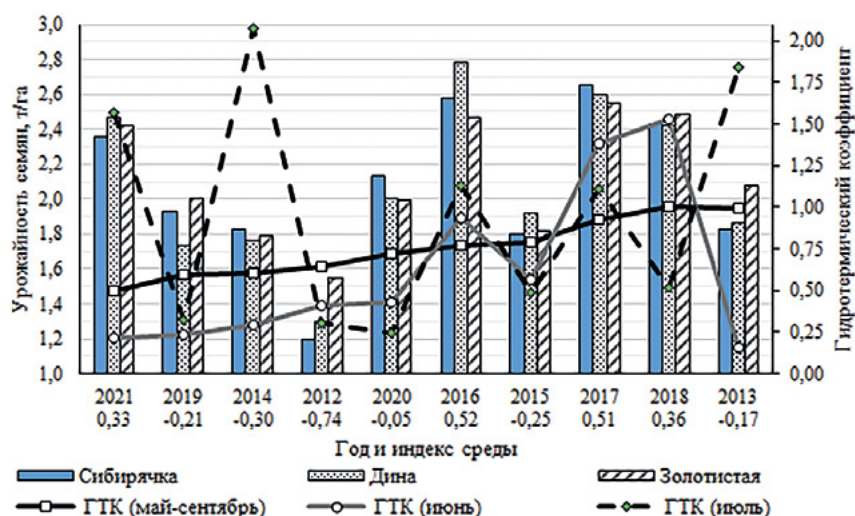


Рис. 3. Изменение урожайности семян в зависимости от увеличения ГТК за май–сентябрь, ГТК в июне и июле (2012–2021 гг.)

Fig. 3. Change in seed yield depending on the increase in HTC in May–September, HTC in June and July (2012–2021)

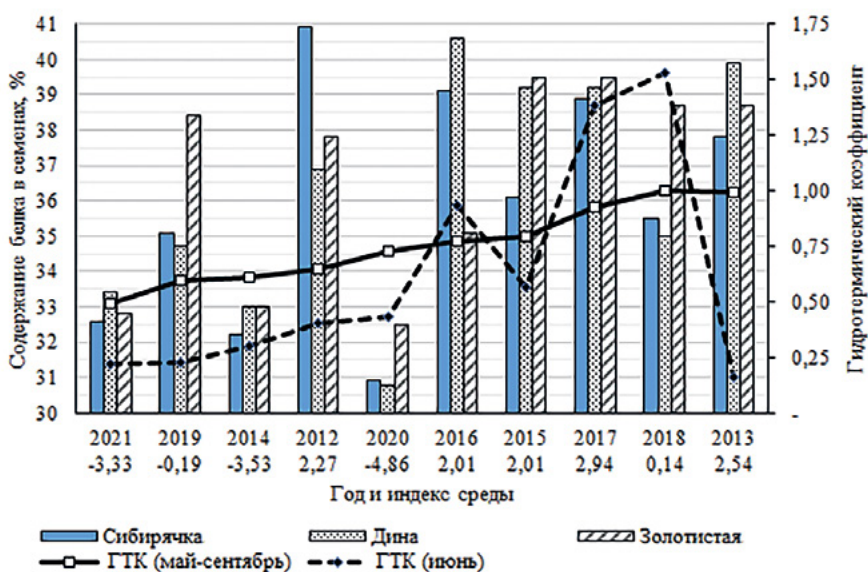


Рис. 4. Изменение содержания белка в семенах в зависимости от увеличения ГТК за май–сентябрь, ГТК в июне (2012–2021 гг.)

Fig. 4. Change in protein content in seeds depending on the increase in HTC in May–September, HTC in June (2012–2021)

Пластичность и стабильность характеризуют способность сорта адаптироваться к варьированию условий выращивания. Оптимальные показатели имеют сорта, у которых коэффициенты регрессии выше, а среднеквадратическое значение – ниже [9]. В нашем опыте лишь сорт Сибирячка по урожайности имел такие характеристики: коэффициент регрессии $b_i = 1,06$ и

стабильность $\sigma_d^2 = 0,53$. Повышенной пластичностью отличались сорта: Дина – по урожайности ($b_i = 1,11$), Сибирячка – по массе 1000 семян ($b_i = 1,18$). Сорт Золотистая проявил себя как экстенсивный по трем параметрам, исключая вегетационный период, и оказался самым нестабильным.

Таблица 4

Характеристика сортов сои по основным хозяйственно-ценным признакам (2012–2021 гг.)
 Characteristics of soybean varieties according to the main economically valuable traits (2012–2021)

Показатель	Сорт	Размах варьирования				Стрес- соустой- чивость	Плас- тич- ность, b_i	Ста- биль- ность, σ_d^2
		мини- мум	мак- симум	сред- нее	коэф. вариа- ции, %			
Вегетацион- ный период, сут		83	110	94,8	8,6	27,0	0,97	2,48
	Сибирячка	83	110	94,1	8,4	27,0	0,95	1,45
	Дина	84	113	97,2	9,5	29,0	1,08	6,14
Урожайность, т/га $НСР_{05}^* = 0,34$	Золотистая	1,20	2,58	2,07	21,4	1,4	1,06	0,53
	Сибирячка	1,30	2,78	2,08	22,3	1,5	1,11	0,65
	Дина	1,55	2,55	2,12	16,5	1,0	0,82	0,64
Белок в семенах, % $НСР_{05} = 1,5$	Золотистая	30,9	40,9	35,9	9,2	10,0	1,06	1,62
	Сибирячка	30,8	40,6	36,3	9,3	9,8	1,08	1,77
	Дина	32,5	39,2	36,6	8,0	6,7	0,86	2,69
Масса 1000 семян, г $НСР_{05} = 24,3$	Золотистая	136,1	207,9	169,1	13,0	71,8	1,18	56,50
	Сибирячка	124,0	174,4	152,0	10,5	50,4	0,88	16,44
	Дина	139,8	194,9	158,7	11,6	55,1	0,94	74,38

* Для сравнения средних многолетних значений.

* For comparison of long-term averages.

ВЫВОДЫ

1. Изучаемые сорта сои омской селекции стабильно вызревали в любых погодных условиях. На продолжительность вегетационного периода сои оказывало положительное влияние повышение ГТК в целом за период май–сентябрь ($r = 0,566$) и в июле ($r = 0,444$). Увеличение суммы осадков удлиняло период вегетации, повышение температуры воздуха ускоряло вегетацию ($r = -0,353$ и $r = -0,440$ соответственно).

2. Достоверные сортовые различия средних многолетних значений выявлены лишь по числу бобов на растении – сорт Сибирячка имел преимущество перед сортами Дина и Золотистая, сформировав в среднем за 10 лет 36 бобов на растении.

3. Установлена положительная корреляционная связь количества продуктивных узлов с урожайностью ($r = 0,365$) и числом бобов на растении ($r = 0,607$). На уровень урожайности семян оказывали достоверное влияние погодные условия июня: сумма осадков ($r = 0,608$) и

температура воздуха ($r = -0,632$). Улучшению белковости зерна способствовало увеличение суммы осадков в июне и в целом за май – сентябрь: $r = 0,415$ и $r = 0,581$ соответственно, а также повышение ГТК за эти периоды: $r = 0,362$ и $r = 0,561$. Выявлена существенная положительная корреляционная связь массы 1000 семян с содержанием белка ($r = 0,615$) и не высокая, но достоверная положительная – с суммой осадков в августе ($r = 0,375$).

4. Максимальную урожайность и белковость семян в опыте показал сорт Дина в 2016 г. – 2,78 т/га и 40,6% соответственно. Лучшая стрессоустойчивость по этим показателям у сорта Золотистая. Пластичностью отличались сорта: Дина – по урожайности ($b_i = 1,11$) и Сибирячка – по массе 1000 семян ($b_i = 1,18$).

5. Все сорта селекции Омского АНЦ, включенные в эксперимент, могут быть использованы в дальнейшей селекционной работе в условиях Костанайской области в качестве источников скороспелости и урожайности – для формирования более 2,4 т/га семян им требуется от 93 до 110 сут.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидоренко С.В. Отечественная селекция сои в годы независимости Казахстана как основа продовольственной безопасности страны [Электронный ресурс]. – URL: http://pinterest.com/pin/create/button/?url=https://kazniizr.kz/otechestvennaya-selektsiya-soi-v-gody-nezavisimosti-kazahstana-kak-osnova-prodovolstvennoj-bezopasnosti-strany/&media=https://kazniizr.kz/wp-content/uploads/2021/10/242137973_4248256898555643_5230156672385120725_n.jpg&description=https://kazniizr.kz (дата обращения: 25.08.2022).
2. Казахстанская соя: опыт и прогнозы [Электронный ресурс]. – URL: [http://eldala.kz\(https://eldala.kz/specproekty/2861-kazahstanskaya-soya-opyt-i-prognozy\)](http://eldala.kz(https://eldala.kz/specproekty/2861-kazahstanskaya-soya-opyt-i-prognozy)) (дата обращения: 25.08.2022).
3. Селекция скороспелых сортов сои для условий орошения / В.В. Толоконников, Т.С. Кошкарлова, С.В. Иленева [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 3 (45), ч. 3. – С. 123–124. – DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.037.
4. Сидорик И.В., Зинченко А.В. Значение сои в земледелии Казахстана // Масличные культуры: научно-технический бюллетень НИИМК. – 2018. – Вып. 2 (174). – С. 75–78. – DOI: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-75-78.
5. Изучение скороспелой коллекции сои в условиях Северного, Восточного и Юго-Восточного Казахстана / С.В. Дидоренко, С.И. Абугалиева, А.К. Затыбеков [и др.] // Издәністер, нәтижелер – Исследования, результаты. – 2017. – № 4 (76). – С. 294–304.
6. Гатаулина Г.Г., Заренкова Н.В., Никитина С.С. Сорта сои северного экотипа: как погода влияет на рост, развитие, формирование урожая и его вариабельность // Кормопроизводство. – 2019. – № 7. – С. 34–40.
7. Irwin S., Good D. Forming Expectations for the 2016 U.S. Average Soybean Yield: What About El Nino? [Elektronny resurs] // Farmdoc daily / Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign. – March 9, 2016. – Vol. 6. – P. 46. – URL: <http://farmdocdaily.illinois.edu/2016/03/expectations-for-2016-us-average-soybean-yield.html> (дата обращения: 10.09.2022).
8. Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области. // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2. – С. 19–25. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25>.
9. Белявская Л.Г., Белявский Ю.В., Диянова А.А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов сои // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 4 (28) – С. 42–48. – DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11048.
10. Суворова Ю.Н., Омельянюк Л.В., Асанов А.М. Подсолнечник и соя – перспективные интродуцированные масличные культуры для Западной Сибири // Вестник ОмГАУ. – 2021. – № 4. – С. 64–73. – DOI: 10.48136/2222-0364_2021_4_64.
11. Оценка исходного материала сои по качеству зерна на гомеостатичность / А.Р. Ашиев, К.Н. Хабибуллин, М.В. Скулова [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 5. – С. 45–49.
12. Технология возделывания сои в Костанайской области: рекомендации / С.И. Джурбаев, И.В. Сидорик, С.А. Тулькубаева [и др.]. – Заречное: ТОО «СХОС "Заречное"», 2020. – 21 с.
13. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение / ФИЦ–ВИГРР им. Н.И. Вавилова (ВИР); М.А. Вишнякова, И.В. Сеферова, Т.В. Буравцева [и др.]; под ред. М.А. Вишняковой. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВИР, 2018. – 143 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1973. – 335 с.
15. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка) / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.С. Юсов [и др.]. – Уфа: Центр с.-х. консультирования РБ, 2011. – С. 29–44.
16. Гатаулина Г.Г., Заренкова Н.В., Консаго Веанди Ф. Урожайность и элементы структуры урожая сортов сои северного экотипа при формировании в разных погодных условиях // Кормопроизводство. – 2020. – № 8. – С. 33–37.

17. *Evaluation of legume-supported agriculture and policies at farm level* / N. Schlafke, P. Zander, M. Reckling [et al.] // *Legume Futures Report 4.3.* – Available from www.legume-futures.de. – 2014.
18. Калибровка модели CROPGRO Soybean и оценка реакции урожайности сои на изменение климата / J.E. Quansah, P. Welikhe, G. El Afandi [et al.] // *American Journal of Climate Change.* – 2020. – N 9. – P. 297–316. – DOI: 10.4236/ajcc.2020.93019.
19. Головина Е.В., Зеленев А.А. Физиологические особенности сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР // *Аграрная наука.* – 2020. – № 11–12. – С. 89–96. – DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-89-96.

REFERENCES

1. Didorenko S.V., URL: http://pinterest.com/pin/create/button/?url=https://kazniizr.kz/otechestvennaya-seleksiya-soi-v-gody-nezavisimosti-kazahstana-kak-osnova-prodovolstvennoj-bez-opasnosti-strany/&media=https://kazniizr.kz/wp-content/uploads/2021/10/242137973_4248256898555643_5230156672385120725_n.jpg&description://kazniizr.kz (data obrashheniya 25.08.2022). (In Russ.)
2. *Kazakh soybeans: experience and forecasts*, [http://eldala.kz\(https://eldala.kz/specproekty/2861-kazahstanskaya-soya-opyt-i-prognozy\)](http://eldala.kz(https://eldala.kz/specproekty/2861-kazahstanskaya-soya-opyt-i-prognozy)) (data obrashheniya 25.08.2022). (In Russ.)
3. Tolokonnikov V.V., Koshkarova T.S., Ileneva S.V. [i dr.], *Mezhdunarodny'j nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2016, No. 3 (45), ch. 3, pp. 123–124. (In Russ.)
4. Sidorik I.V., Zinchenko A.V., *Maslichny'e kul'tury': nauchno-texnicheskij byulleten' NIIMK*, 2018, Vol. 2 (174), pp. 75–78. (In Russ.)
5. Didorenko S.V., Abugaliev S.I., Zaty'bekov A.K. [i dr.], *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty*, 2017, No. 4 (76), pp. 294–304. (In Russ.)
6. Gataulina G.G., Zarenkova N.V., Nikitina S.S., *Kormoproizvodstvo*, 2019, No. 7, pp. 34–40. (In Russ.)
7. Irwin S., Good D., Forming Expectations for the 2016 U.S. Average Soybean Yield: What About El Nino? [Elektronny resurs], *Farmdoc daily*, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, March 9, 2016, Vol. 6, pp. 46, URL: <http://farmdocdaily.illinois.edu/2016/03/expectations-for-2016-us-average-soybean-yield.html>.
8. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 2, pp. 19–25. (In Russ.)
9. Belyavskaya L.G., Belyavskij Yu.V., Diyanova A.A., *Zernobobovy'e i krupyany'e kul'tury*, 2018, No. 4 (28), pp. 42–48. (In Russ.)
10. Suvorova Yu.N., Omel'yanyuk L.V., Asanov A.M., *Vestnik OmGAU*, 2021, No. 4, pp. 64–73. (In Russ.)
11. Ashiev A.R., Xabibullin K.N., Skulova M.V. [i dr.], *Zernovoe khozyajstvo Rossii*, 2019, No. 5, pp. 45–49. (In Russ.)
12. Dzhurabaev S.I., Sidorik I.V., Tul'kubaeva S.A. [i dr.], *Texnologiya vozdel'yvaniya soi v Kostanajskoj oblasti* (Soybean cultivation technology in Kostanay region), Zarechnoe: TOO «SXOS “Zarechnoe”», 2020, 21 p.
13. Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravceva T.V. [i dr.], *Kollekciya mirovy'x geneticheskix resursov zernovy'x bobovy'x VIR: popolnenie, soxranenie i izuchenie* (VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying), Sankt-Peterburg: VIR, 2018, 143 p.
14. Dospexov B.A., *Metodika polevogo opy'ta*, Moscow: Kolos, 1973, 335 p. (In Russ.)
15. Zy'kin V.A., Belan I.A., Yusov V.S. [i dr.], *Ekologicheskaya plastichnost' sel'skoxozyajstvenny'x rastenij (metodika i ocenka)* (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and evaluation)), Ufa: Centr s.-x. konsul'tirovaniya RB, 2011, pp. 29–44.
16. Gataulina G.G., Zarenkova N.V., Konsago Veandi F., *Kormoproizvodstvo*, 2020, No. 8, pp. 33–37. (In Russ.)
17. Schlafke N., Zander P., Reckling M., Hecker J-M. [et al.], *Evaluation of legume-supported agriculture and policies at farm level*, *Legume Futures Report 4.3.*, available from www.legume-futures.de, 2014.

18. Quansah J.E., Welikhe P., El Afandi G. [et al.], Kalibrovka modeli CROPGRO Soybean i ocenka reakcii urozhajnosti soi na izmenenie klimata, *American Journal of Climate Change*, 2020, No. 9, pp. 297–316.
19. Golovina E.V., Zelenov A.A., *Agrarnaya nauka*, 2020, No. 11–12, pp. 89–96. (In Russ.)

АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА

П.А. Постников, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.В. Масленина, научный сотрудник

О.В. Васина, младший научный сотрудник

Е.Л. Тиханская, младший научный сотрудник

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Ключевые слова: темно-серая почва, предшественник, фон питания, продуктивная влага, минеральный азот, урожайность, корреляционный анализ.

Реферат. Исследования проведены в 2016–2020 гг. на темно-серой лесной почве в условиях Свердловской области в стационарном длительном опыте. Объектом наблюдений являлся яровой ячмень Сонет. Оценка агротехнологических приемов возделывания ярового ячменя проведена в двухфакторном опыте: фактор А – севообороты (предшественник); фактор В – фон питания. Установлено, что в слое 0–50 см в период посева обеспеченность почвенной влагой в среднем по предшественникам варьировала в интервале 64,4–80,3 мм. Внесение минеральных удобрений и их сочетаний с органическими в полевых севооборотах увеличило запасы продуктивной влаги на 7–10 мм. Наибольшее суммарное содержание нитратного и аммонийного азота отмечено в период всходов ячменя, систематическое использование удобрений обеспечило повышение количества минерального азота в пахотном слое на 6,3–14,3 м/кг по сравнению с контролем (11,5–12,8 мг). Обнаружена тесная положительная связь между содержанием влаги и минеральным азотом в слое 0–20 см в фазе всходов ячменя, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,67. За ротацию севооборотов не выявлено заметной разницы между предшественниками по воздействию на урожайность ячменя, в контроле она варьировала на уровне 2,63–2,77 т/га, на удобренных фонах питания выявлено превышение сбора зерна на 0,2–0,47 т/га при размещении его второй культурой после чистого пара по отношению к занятому. В среднем по предшественникам применение удобрений обеспечило дополнительный сбор зерна на уровне 1,53–1,54 т/га по отношению к контролю (2,71 т/га). Органоминеральный фон питания по своему воздействию на продуктивность зернофуражной культуры не уступал минеральным удобрениям. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений в зависимости от предшественника на минеральном фоне питания варьировала от 13,2 до 19,1 кг зерна, максимум отмечен в зернопаротравяном севообороте. При сочетании органических и минеральных удобрений отдача снизилась до 8,4–12,0 кг. Выявлена сильная корреляционная связь между урожайностью ячменя и содержанием минерального азота в пахотном слое, в среднем за вегетацию она составила $r = 0,97$.

AGROTECHNOLOGICAL EVALUATION OF SPRING BARLEY CULTIVATION IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE URALS

P.A. Postnikov, PhD in Agricultural Sciences

N.V. Maslenina, Researcher

O.V. Vasina, Junior Researcher

E.L. Tikhanskaya, Junior Researcher

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Keywords: dark grey soil, predecessor, nutrient background, productive moisture, mineral nitrogen, productivity, correlation analysis.

Abstract. The studies were carried out in 2016–2020 on dark grey forest soil in the conditions of the Sverdlovsk region in a long-term stationary experiment. The object of observation was the spring barley Sonnet. The agrotechnological methods of spring barley cultivation were assessed in a two-factor experiment: factor A - crop rotations (precursor); factor B - food background. It was established that in the 0–50 cm layer during

the sowing period, soil moisture availability on average for the predecessors varied in the range of 64.4–80.3 mm. The introduction of mineral fertilisers and their combinations with organic fertilisers in field crop rotations increased the reserves of productive moisture by 7–10 mm. The highest total nitrate and ammonium nitrogen content was noted during barley germination. The systematic use of fertilisers increased mineral nitrogen in the arable layer by 6.3–14.3 mg/kg compared with the control (11.5–12.8 mg). A close positive relationship was found between the moisture content and mineral nitrogen in the 0–20 cm layer in the phase of barley seedlings. The correlation coefficient (r) was 0.67. During the crop rotation, there was no noticeable difference between the predecessors regarding the effect on the barley yield. In control, it varied at 2.63–2.77 t/ha. On fertilised nutrition backgrounds, an excess of grain harvest by 0.2–0.47 t/ha was revealed hectares when placing it as the second crop after the pure fallow to the occupied. On average, for predecessors, fertilisers provided an additional grain harvest at 1.53–1.54 t/ha compared to the control (2.71 t/ha). The organometal background of nutrition was not inferior to mineral fertilisers in terms of its impact on the productivity of grain forage crops—payback 1 kg a.i. Depending on the predecessor on the mineral background of nutrition, Fertilizers varied from 13.2 to 19.1 kg of grain. The maximum was noted in the grain-grass crop rotation. With a combination of organic and mineral fertilisers, the return decreased to 8.4–12.0 kg. A strong correlation was revealed between barley yield and mineral nitrogen content in the arable layer. On average, for the growing season, it was $r = 0.97$.

Увеличение производства зернофуражного зерна является важнейшей задачей растениеводства в XXI в. Резкое сокращение объемов применения минеральных и органических удобрений требует поиска новых путей для стабилизации урожаев зерновых культур. Наиболее перспективным направлением в земледелии становится внедрение приемов биологизации в полевых севооборотах [1–3].

Для улучшения свойств пахотных земель при выращивании ярового ячменя и расширения набора хороших предшественников целесообразно в структуре посева сельскохозяйственных культур увеличение площадей под однолетними и многолетними бобовыми травами и сидеральными культурами [4–7]. Запашка зеленой массы бобовых культур и растений семейства капустных обеспечивает яровые зерновые легкодоступными питательными веществами, а после гороха и клевера остается значительное количество биологического азота [8–11]. Важно учитывать, что доступные формы азота, фосфора, калия, поступающие с сидератами, позволяют заметно сократить затраты на приобретение промышленных минеральных удобрений [12].

Систематическое применение соломы и сидератов в севооборотах способствует обогащению почвы органическим веществом, что усиливает ее микробиологическую активность, тем самым увеличивая содержание доступных элементов питания и гумуса в пахотном слое [13, 14].

Таким образом, путем подбора предшественников и определения сочетаний удобрений можно улучшить питательный режим почвы и добиться повышения урожайности зернофуражной культуры [15–17].

Цель работы – дать оценку воздействия предшественников и фонов питания на агро-

физические, агрохимические свойства темно-серой лесной почвы и урожайность ярового ячменя в условиях Среднего Урала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2016–2020 гг. в Уральском НИИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в длительном стационарном опыте. Объектом исследований являлся яровой ячмень Сонет, районированный по Свердловской области с 2010 г. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов.

1. Севообороты (фактор А): зернопаротравяной (чистый пар – озимая рожь – ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – пшеница); зернопаросидеральный без многолетних трав (сидеральный пар – пшеница – овес – горох – ячмень); зернотравяной, бобовые культуры 40 % (горох – пшеница с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – ячмень – овес); зернотравяной с насыщением многолетними бобовыми травами 20 % (однолетние травы, поукосно рапс – ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – пшеница – овес).

Культуры севооборотов на опытном участке размещены в пространстве и во времени в трехкратной повторности. В первом ярусе распределение полей систематическое, во втором и третьем – рендомизированное. Длина делянки при посеве сельскохозяйственных культур составляет 40 м, ширина – 3,90 м (156 м²). Для внесения удобрений делянка разделена на 2 субделянки (78 м²). Делянки без удобрений вынесены в отдельный блок.

2. Фон питания (фактор В): контроль; минеральный – $N_{30}P_{30}K_{36}$ в среднем на 1 га

севооборотной площади; органоминеральный – $N_{24}P_{24}K_{30}$ + навоз, сидераты, солома.

В зернопаротравяном севообороте на органоминеральном фоне питания вносили подстильный навоз 1 раз за ротацию в дозе 50 т/га; в зернопаросидеральном в паровом поле запаховали зеленую массу рапса, а также заделывали в почву солому гороха и ячменя; в зернотравяном (бобовые культуры 40 %) в качестве органических удобрений использовали отаву клевера и солому гороха, ячменя; в зернотравяном (многолетние бобовые травы 20 %) в качестве сидерата применяли поукосный рапс и запаховали солому пшеницы. Зеленые удобрения и солома были внесены из фактически сложившихся урожаев культур.

В качестве минерального удобрения использовали азофоску с врезанием в почву перед посевом сеялкой СН-16. Для выравнивания баланса калия 1 раз за ротацию дополнительно внесен хлористый калий из расчета K_{30} . Непосредственно под яровой ячмень вносили сложное удобрение в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$.

В опыте высевали районированный сорт ячменя Сонет, норма высева – 4,5 млн всхожих семян на 1 га. В зависимости от погодных условий сроки посева были в основном в пределах первой декады мая. Для снижения уровня засоренности в посевах ячменя в фазе кущения проводили фоновую обработку гербицидами Гербитокс – 1,0 л/га, Феноксал – 0,8 л/га с помощью ранцевого опрыскивателя.

Закладку опыта и наблюдения в летний период проводили по методике Б.А. Доспехова [18], а дисперсионный и корреляционный анализ результатов исследований осуществляли с помощью прикладных программ Microsoft Excel 2007.

Почва опытного участка – темно-серая лесная тяжелосуглинистая со следующей агрохимической характеристикой: содержание гумуса – 4,84–5,07 % (по Тюрину), легкогидролизуемого азота – 146–168 мг (по Корнфилду), подвижного фосфора – 206–236 и обменного калия – 132–178 мг/кг (по Кирсанову); pH солевой вытяжки – 4,97–5,09 (по методу ЦИНАО).

Стационарный опыт заложен в лесолуговой зоне Уральского региона. Климат резко-континентальный, с коротким летом. Продолжительность вегетационного периода с температурой выше 10°C в среднем составляет 124 дня, количество осадков – 263 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период с температурой выше 10°C равняется 1,64. В годы исследований погодные условия имели заметные отклонения по осадкам и среднесуточной температуре воздуха от среднесезонных

норм. В 2016, 2020 гг. отмечен существенный недобор атмосферных осадков в отдельные периоды вегетации растений, гидротермический коэффициент составил 0,77–0,84. В 2017 г. наблюдались умеренно влажные условия в начале лета, во второй половине – избыток осадков. За период от всходов до полной спелости зерна ГТК был на уровне 2,0. В первой половине вегетации ячменя в 2018–2019 гг. отмечены слабозасушливые условия, для периода налива и вызревания зерна характерно избыточное увлажнение. В среднем с 2016 по 2020 г. за вегетационный период ячменя гидротермический коэффициент равнялся 1,50–1,57.

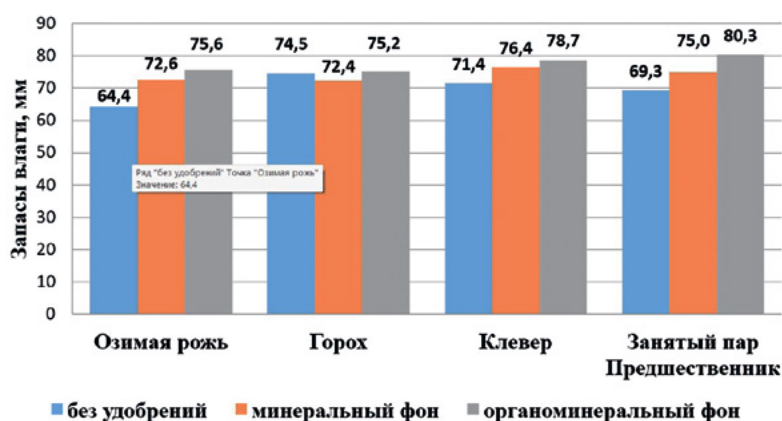
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наличие влаги в почвенном профиле является одним из важнейших факторов, определяющих рост и развитие растений в течение вегетационного периода. Наблюдения за годы исследований показали, что величина запасов продуктивной влаги в темно-серой почве в весенний период зависит от многих условий: увлажненности предыдущего года, зимних осадков, фона питания и т.д. Максимальное содержание почвенной влаги в слое 0–50 см в период посева ячменя отмечено в 2016 г. после избыточного увлажнения в послеуборочный период 2015 г. независимо от предшествующих культур. Количество доступной воды варьировало на уровне 78–80 мм, что соответствовало средней увлажненности. Близкие показатели по запасам влаги выявлены в весенний период в 2018–2019 гг. В то же время после засушливого предыдущего года в 2017 г. запасы доступной воды в почвенном профиле в контроле и на минеральном фоне питания составили всего 65–68 мм, что свидетельствует об удовлетворительной увлажненности. При сочетании минеральных и органических удобрений после клевера и занятого пара (однолетние травы, поукосно рапс) они превышали 70 мм. Подобные тенденции выявлены весной 2020 г.

Усредненные данные по запасам продуктивной влаги в слое 0–50 см показали, что в контрольном варианте доступность воды выше в зернопаросидеральном севообороте после гороха, а наименьшая – в зернопаротравяном после озимой ржи (рисунок). Другие предшественники ячменя по увлажненности почвенного профиля занимали промежуточное положение. При систематическом применении минеральных удобрений возросло поступление растительных остатков в севооборотах, что положительно отразилось на накоплении влаги

в слое 0–50 см. По отношению к контролю на минеральном фоне питания запасы продуктивной влаги достоверно возросли на 5,0–8,2 мм ($НСП_{05}=3,93$), за исключением гороха в зернопаросидеральном севообороте. Сглаживание разницы между фонами питания в данном варианте связано в основном с заделкой зеленой массы рапса в паровом поле и небольшой разницей в урожаях гороха в зависимости от системы удобрения.

Применение навоза, сидератов и соломы в сочетании с минеральными удобрениями способствовало дальнейшему увеличению увлажненности почвенного профиля по отношению к естественному фону плодородия, разница в накоплении составила 7,4–11,2 мм. По сравнению с минеральным фоном питания достоверная разница по обеспеченности почвенной влагой обнаружена после занятого пара при наименьшей существенной разнице, равной $НСП_{05}=3,93$ мм.



Запасы продуктивной влаги в слое 0–50 см в период посева ячменя (2016–2020 гг.)

Productive moisture reserves in the 0–50 cm layer during the barley sowing period (2016–2020)

В процессе вегетации ярового ячменя обнаружена значительная вариабельность содержания почвенной влаги в слое 0–20 см. В период посева ячменя содержание продуктивной влаги в среднем по предшественникам было в пределах от 27,9 до 33 мм. Заметной разницы в накоплении доступной воды между предшественниками не установлено. Достоверное увеличение обеспеченности влагой выявлено только между контрольным вариантом и органоминеральным фоном питания при $НСП_{05}=1,72$.

Наличие влаги в пахотном слое по межфазным периодам ячменя во многом зависело от потребления воды растениями и гидротермических условий вегетации. В период от посева до полных всходов при прогревании воздуха и почвы происходило заметное испарение влаги из-за открытой поверхности участка. В результате к моменту появления всходов в среднем по предшественникам, независимо от фона питания, потери влаги от испарения из слоя 0–20 см составили 5,9–6,7 мм (табл. 1).

Таблица 1

Содержание продуктивной влаги в слое 0–20 см по основным фазам развития ячменя (2016–2020 гг.), мм
Productive moisture content in the 0–20 cm layer according to the main phases of barley development (2016–2020), mm

Предшественник (фактор А)	Фон питания (фактор В)	Фаза развития				Среднее за вегетацию
		всходы	выход в трубку	колоше- ние	полная спелость	
1	2	3	4	5	6	7
Озимая рожь	1	21,5	17,6	21,1	7,13	16,8
	2	23,7	16,6	22,2	8,31	17,7
	3	26,5	19,8	24,1	9,26	19,9
Горох	1	22,3	17,4	20,4	9,26	17,3
	2	22,3	17,1	20,5	7,85	16,9
	3	26,7	20,8	24,7	11,4	20,9

1	2	3	4	5	6	7
Клевер 1-го года пользования	1	22,2	17,0	21,2	7,36	16,9
	2	24,3	18,3	21,1	7,75	17,9
	3	27,8	21,9	24,3	8,11	20,5
Однолетние травы, поукосно рапс	1	21,2	16,5	23,1	8,45	17,3
	2	23,1	17,8	22,6	9,24	18,2
	3	27,5	20,7	25,9	10,0	21,0
Среднее	1	21,8	17,1	21,4	8,05	17,1
	2	23,3	17,4	21,6	8,29	17,6
	3	27,1	20,8	24,8	9,69	20,6
НСР ₀₅ фактор А	–	2,14	2,56	2,17	1,25	–
НСР ₀₅ фактор В	–	1,85	2,11	1,88	1,08	–

К концу периода «посев – всходы» разница по запасам влаги между контролем и минеральным фоном сглаживалась, достоверные различия отмечены только по озимой ржи и клеверу. В последующие фазы развития ячменя в среднем по предшественникам разница между ними исчезла. При сочетании минеральных и органических удобрений запасы доступной воды в пахотном слое были выше на 4,4–6,2 мм по отношению к другим фонам питания. Данная закономерность по органоминеральному фону питания отмечена и в другие межфазные периоды зернофуражной культуры.

К моменту выхода в трубку ячменя при формировании его биомассы увеличился расход воды на транспирацию, в результате запасы влаги в пахотном слое в 2019–2020 гг. снизились до 4,0–13,5 мм. В 2017 г. из-за обильных осадков в первой половине июня обеспеченность доступной влагой на удобренных фонах питания возросла до 28–42 мм, максимум отмечен при запашке сидератов и соломы в севооборотах. Несмотря на изменчивость выпадения осадков по годам, в среднем по предшественникам ячменя выявлена тенденция к снижению запасов продуктивной влаги на 4,7–6,3 мм по сравнению с предыдущим межфазным периодом.

В период колошения из-за ливневых осадков в третьей декаде июня и в начале июля в 2017–2018 гг. обеспеченность пахотного слоя влагой возросла до 30–43 мм, а в 2016 г. запасы воды не превышали 7–11 мм. В среднем за годы исследований увеличение количества осадков в данный межфазный период привело к восполнению расхода воды на транспирацию и испарение из почвы по сравнению с фазой выхода в трубку.

К моменту уборки зернофуражной культуры доступность почвенной влаги во многом зависела от гидротермических условий июля. В

2016 г. запасы продуктивной влаги, независимо от предшественника и фона питания, не превышали 0,7–3,4 мм, а в 2020 г. влажность в пахотном слое была ниже коэффициента завядания. В 2019 г. обеспеченность доступной влагой в фазе полной спелости зерна варьировала на уровне 15–21 мм. Вариабельность запасов влаги по годам исследований существенно влияла на длительность периода колошения – полной спелости зерна ячменя. Усредненные запасы влаги за вегетацию были на уровне 17,1–20,6 мм, т.е. близки к нижней границе удовлетворительной увлажненности, что позволило получить достаточно высокие урожаи зернофуражных культур в большинстве лет исследований.

Одним из факторов, определяющих величину урожаев яровых зерновых культур, является обеспеченность минеральным азотом в течение вегетации растений [19, 20]. В среднем за 2016–2020 гг. максимальное суммарное содержание нитратного и аммонийного азота выявлено в фазу полных всходов (табл. 2). На естественном фоне плодородия достоверных различий между предшественниками не обнаружено. Систематическое применение удобрений в севооборотах способствовало увеличению запасов $N-NO_3 + N-NH_4$ в пахотном слое 0–20 см на 6,9–14,3 мг/кг, или в 1,6–2,3 раза по отношению к контрольному варианту. Из всех лет наблюдений минимальное количество минеральных форм азота, особенно на удобренных фонах питания, обнаружено в засушливых условиях 2016 г., максимальное – в 2017 г. Можно отметить, что по усредненным данным органоминеральный фон питания практически не уступал минеральному в отношении обеспеченности доступным азотом в пахотном слое темно-серой почвы. При умеренно влажных условиях 2017 г. выявлено достоверное преимущество данного варианта по предшествен-

никам гороху и клеверу, при других условиях увлажнения наблюдалась обратная картина.

При нарастании надземной биомассы ярового ячменя идет интенсивное потребление доступного азота из почвы, в результате в фазе выхода в трубку суммарное содержание минеральных форм азота в контроле снизилось на 4,50–6,37 мг, при применении удобрений – на 6,9–14,1 мг/кг по отношению к предыдущей фазе. Все отмеченные тенденции доступности минерального азота в предыдущий период сохранились. Аналогичные закономерности выявлены в фазе колошения, а именно, количество нитратного и аммонийного азота сни-

зилось при применении удобрений в зависимости от предшественника и фона питания по сравнению с предыдущим периодом на 1,9–4,3 мг. В то же время на естественном фоне плодородия обеспеченность минеральным азотом сохранилась практически на прежнем уровне.

Корреляционный анализ показал, что между наличием доступной влаги и содержанием минерального азота в фазе полных всходов существует прямая положительная связь, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,67. В последующие фазы развития ячменя он снижался с 0,4 до 0,3. В среднем за вегетацию ячменя $r = 0,54$.

Таблица 2

Суммарное содержание минерального азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) в пахотном слое темно-серой почвы (2016–2020 гг.), мг/кг

The total content of mineral nitrogen ($N-NO_3 + N-NH_4$) in the arable layer of dark grey soil (2016–2020), mg/kg

Предшественник (фактор А)	Фон питания (фактор В)	Фаза развития			Среднее за вегетацию
		всходы	выход в трубку	колошение	
Озимая рожь	1	12,8	6,43	6,35	8,53
	2	23,6	16,0	14,0	17,9
	3	23,1	14,6	11,3	16,3
Горох	1	12,1	6,33	6,69	8,37
	2	22,5	15,6	12,3	16,8
	3	22,7	12,9	11,0	15,5
Клевер 1-го года пользования	1	12,2	6,80	7,05	8,68
	2	22,8	14,7	10,4	16,0
	3	19,5	14,2	10,5	14,7
Однолетние травы, поукосно рапс	1	11,5	7,00	6,49	8,33
	2	23,9	11,7	9,70	15,1
	3	26,8	12,7	10,2	16,6
Среднее	1	12,2	6,64	6,64	8,48
	2	23,2	14,5	11,6	16,4
	3	23,0	13,6	10,8	15,8
НСР ₀₅ фактор А	–	4,77	2,70	2,83	–
НСР ₀₅ фактор В	–	4,13	2,34	2,45	–

Гидротермические условия в годы исследований оказали заметное влияние на уровень продуктивности зернофуражной культуры в севооборотах. Из всех лет наблюдений максимальные урожаи ячменя получены в 2017 г., а минимальные – в 2016 г. (табл. 3). В 2016 г. при ГТК, равном 0,63, сбор зерна ячменя на удобренных фонах питания в большинстве вариантов не превышал 3,00 т/га. Такой уровень урожайности зернофуражной культуры, несмотря на засушливые условия, стал возможным за счет средней увлажненности почвы в весенний период в слое 0–50 см.

Недостаток атмосферных осадков в междоузлий период «всходы – колошение» оказал

депрессивное воздействие на морфофизиологическое развитие ячменя: уменьшение количества колосков, длины колоса, завязываемости семян и т.д. [21, 22]. В отличие от южных областей Уральского региона [23], на Среднем Урале засухи носят кратковременный характер. В 2020 г. в период формирования и налива зерна гидротермический коэффициент равнялся 0,37, при этом урожайность ячменя по пласту клевера достигала 4,0 т/га и выше. Засушливые условия июля заметно ускорили созревание зерна и оказали негативное воздействие, главным образом на массу 1000 зерен.

Таблица 3

Урожайность ячменя в зависимости от предшественника и фона питания, т/га
Barley yield dependnutritional background, t/ha

Предшественник (фактор А)	Фон питания (фактор В)	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
Озимая рожь	1	2,12	3,40	2,90	2,87	1,88	2,63
	2	2,95	5,67	4,85	4,62	3,68	4,35
	3	3,07	5,87	4,97	4,52	3,90	4,47
Горох	1	1,86	3,88	3,33	2,91	1,77	2,75
	2	3,06	4,74	5,03	4,42	3,87	4,22
	3	3,14	4,88	4,95	4,48	3,72	4,23
Клевер 1-го года пользования	1	2,09	3,91	2,92	2,55	2,04	2,70
	2	2,55	5,72	4,40	4,65	4,07	4,27
	3	2,47	5,58	4,48	4,84	4,02	4,28
Однолетние травы, поукосно рапс	1	2,19	3,65	3,03	2,97	2,02	2,77
	2	2,99	5,32	4,26	4,83	3,27	4,13
	3	2,72	5,40	4,12	4,58	3,20	4,00
Среднее	1	2,06	3,71	3,04	2,82	1,94	2,71
	2	2,89	5,36	4,64	4,63	3,72	4,25
	3	2,85	5,43	4,63	4,60	3,71	4,24
НСР ₀₅ фактор А	–	0,23	0,41	0,37	0,44	0,31	–
НСР ₀₅ фактор В	–	0,20	0,35	0,32	0,38	0,27	–

В 2017 г. равномерное распределение осадков и умеренные температуры в течение вегетации растений обеспечили максимальную урожайность зернофуражной культуры, сбор зерна в контроле варьировал на уровне 3,40–3,91 т/га, а при внесении минеральных удобрений и их сочетаний с органическими он составил 4,74–5,87 т/га. Во влажные годы (2018-й, 2019-й) отмечено снижение урожая ячменя, в среднем по предшественникам в контроле сбор зерна снизился на 0,67 т/га, или на 18 %, на удобренных фонах питания – на 0,72–0,81 т/га, или на 13–15 %.

Оценивая воздействие предшественников на урожайность ячменя, можно сказать, что за годы исследований при применении удобрений максимальный выход зерна получен в зернопаротравяном севообороте при его размещении второй культурой после чистого пара, а минимальный – по однолетним травам, поукосно яровой рапс. В среднем за 2016–2020 гг., независимо от предшествующей культуры, на естественном фоне плодородия заметной разницы между вариантами не выявлено. Интересно отметить, что при распахке многолетней бобовой травы не выявлено ее преимущества в качестве предшественника по отношению к другим, за исключением занятого пара. На наш взгляд, это связано с тем, что растительные остатки клевера разлагаются медленнее, а ячмень об-

ладает коротким периодом потребления основных элементов питания.

Яровой ячмень хорошо отзывается на внесение удобрений. Максимальная отдача от применения минеральных удобрений и их сочетания с подстилочным навозом получена в зернопаротравяном севообороте – на уровне 1,72–1,84 т/га, а минимальная – при размещении по однолетним травам, поукосно рапс (от 1,33 до 1,36 т/га). В среднем по предшественникам в острозасушливый год (2016-й) прибавки зерна зернофуражной культуры были в пределах 0,79–0,83 т/га, при умеренной и избыточной увлажненности соответственно 1,63–1,72 и 1,68–1,70 т/га. Слабозасушливые условия в 2020 г. не оказали отрицательного воздействия на эффективность внесенных удобрений, дополнительный сбор зерна по отношению к контролю составил 1,77–1,78 т/га. В целом можно констатировать, что органоминеральный фон питания по воздействию на урожайность ярового ячменя не уступал минеральному.

В среднем за годы исследований окупаемость 1 кг д.в. удобрений в зависимости от предшественника на минеральном фоне питания варьировала от 13,2 до 19,1 кг зерна, максимальная отмечена в зернопаротравяном севообороте. При сочетании органических и минеральных удобрений отдача снизилась до

8,4–12,0, минимальной она была при размещении ячменя по занятому пару.

Корреляционный анализ показал, что существует тесная положительная связь между запасами влаги в фазе полных всходов и урожайностью ярового ячменя, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,69. В дальнейшем в другие межфазные периоды она ослабевала до 0,45–0,52. В целом за вегетацию ячменя $r = 0,59$. Наиболее сильная взаимосвязь установлена между содержанием доступных форм минерального азота в слое 0–20 см и сбором зерна зернофуражной культуры, коэффициенты корреляции, независимо от вида предшественника и фона питания, варьировали в интервале от 0,93 до 0,97.

ВЫВОДЫ

1. Обеспеченность продуктивной влагой в слое 0–50 см в среднем за годы исследований в период посева варьировала на уровне 64,4–80,3 мм, что соответствовало в варианте без удобрений удовлетворительной увлажненности почвенного профиля, а при применении минеральных и органических удобрений – средней. По отношению к контролю на минеральном фоне питания запасы продуктивной влаги достоверно возросли на 5,0–8,2 мм, за исключением гороха в зернопаросидеральном севообороте. Данная закономерность обнаружена и на органоминеральном фоне питания.

2. В период посева ячменя содержание продуктивной влаги в слое 0–20 см в среднем по предшественникам было в пределах от 27,9 до 33 мм. Заметной разницы в накоплении доступной влаги между предшественниками не установлено. Аналогичная тенденция сохранялась в течение всей вегетации растений. В среднем за годы наблюдений по наличию влаги в пахотном слое не обнаружено существенных различий между естественным фоном плодородия и применением минеральных удобрений по всем изучаемым предшественникам. Использование минеральных удобрений в со-

четании с органическими увеличило запасы почвенной влаги в зависимости от межфазных периодов ячменя на 3,4–5,3 мм по отношению к контролю. В фазе полной спелости зерна воздействие фонов питания на режим влажности практически сглаживалось.

3. Максимальное содержание доступных форм азота в слое 0–20 см обнаружено в период всходов ячменя, в дальнейшем по мере потребления растениями и ухудшения гидро-термических условий его доступность снижалась. Систематическое применение удобрений в севооборотах способствовало увеличению запасов $N-NO_3 + N-NH_4$ в пахотном слое на 6,9–14,3 мг/кг, или в 1,6–2,3 раза по отношению к контрольному варианту. Между наличием доступной влаги и содержанием минерального азота в фазе полных всходов выявлена прямая положительная связь, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,67. В последующие фазы развития ячменя он снижался с 0,4 до 0,3.

4. Независимо от фона питания не установлено заметных различий между предшественниками по воздействию на урожайность ячменя, за исключением варианта с размещением ячменя второй культурой после чистого пара по отношению к занятому на удобренных фонах питания. Максимальная отдача от применения минеральных удобрений и их сочетания с подстилочным навозом получена в зернопаротравяном севообороте – на уровне 1,72–1,84 т/га (урожайность в контроле – 2,63 т/га, а минимальная – при размещении по однолетним травам, поукосно рапс – в интервале от 1,33 до 1,36 т/га (в контроле – 2,77 т/га). В среднем за годы исследований окупаемость 1 кг д.в. удобрений в зависимости от предшественника на минеральном фоне питания варьировала от 13,2 до 19,1 кг зерна, при сочетании органических и минеральных удобрений отдача снизилась до 8,4–12,0 кг.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № FNUW–2022–0002

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахметзянов М.Р., Таланов И.П. Пути повышения почвенного плодородия серых лесных почв Среднего Поволжья. – Казань, 2020. – 188 с. EDN: DVHKBM.
2. *Biological activity of soil and rates of decomposition of plant residues* M.A. Nesmeyanova, S.I. Korzhov, A.V. Dedov [et al.] // *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. – 2020. – Т. 11, N 14. – P. 11A14M. EDN. – ZFIIWE.
3. Семинченко Е.В. Влияние предшественников и приемов биологизации на продуктивность севооборотов в условиях Нижнего Поволжья // *Земледелие*. – 2021. – № 1. – С. 7–10. – EDN: FAAPPH.

4. Кудряшова Н.И., Булахтина Г.К., Кудряшов А.В. Многолетние бобово-злаковые смеси как предшественники для ярового ячменя // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1 (61). – С. 152–161. – EDN: UTGLVZ.
5. Влияние многолетнего внесения соломы и зеленого удобрения на урожайность зерновых культур в зернопаровом севообороте / И.Б. Сорокин, Н.Ю. Николаева, Е.А. Валетова, Ю.В. Чудинова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3 (60). – С. 65–72. – EDN: DNYYWH.
6. Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France / C. Bonnet, N. Gaudio, L. Alletto [et al.] // Agronomy for Sustainable Development. – 2021. – Vol. 41. – P. 65. – URL: <https://link.springer.com/article>.
7. Чулков В.А., Чапалда Т.Л. Оценка влияния сидератов на биологические свойства чернозема оподзоленного в звене полевого севооборота // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 4 (207). – С. 55–63. – EDN: QTQHMZ.
8. Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах / Л.М. Козлова, Ф.А. Попов, Е.Н. Носкова, Е.В. Светлакова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 4. С. – 527–537. – EDN: NBIIIM.
9. Урожайность культур, вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте / П.А. Постников, В.В. Попова, Е.Ф. Данько, О.В. Васина // Плодородие. – 2022. – № 3. – С. 16–19. – EDN: URSFJD.
10. Brankatschk G., Finkbeiner V. Grop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints // Agronomy for Sustainable Development. – 2017. – Vol. 37. – P. 58. – URL: <https://link.springer.com/article>.
11. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years / P. Götz, L. Rücknagel, M. Wensch-Dorendorf [et al.] // European Journal of Agronomy. – 2017. – Vol. 82. – P. 50–59.
12. Дмитриев Н.И. Агроэкономическая эффективность плодосменных севооборотов с сидерацией и фитомелиорацией // Вестник ИрГЦХА. – 2020. – № 101. – С. 14–22. – EDN: SPBKEG.
13. Колобков Е.В., Постников П.А. Микробиологическая активность почвы как фактор оценки биологизированных севооборотов // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 2. – С. 4–6. – EDN: PALUWB.
14. Юмашев Х.С., Захарова И.А. Микробиологическая активность выщелоченного чернозема при различных способах утилизации соломы // Плодородие. – 2018. – № 2 (101). – С. 33–35. EDN: RTWKZH
15. Митрофанов Д.В., Ткачева Т.А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 4 (64). – С. 57–64. – EDN: WZOHMM.
16. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt // Research on Crops. – 2022. – Т. 23, № 1. – С. 40–45. – EDN: FKUCXO.
17. Бортник Т.Ю., Клековкин К.С., Карпова А.Ю. Продуктивность звена «ячмень + клевер – клевер 1 и 2 года пользования» при возделывании по последствию различных систем удобрения // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 2 (38). – С. 57–64. – EDN: AVWTPT.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с. – EDN: ZJQBUD.
19. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2013. – 790 с. – EDN: SZYUED.

20. Галеева Л.П. Азотный режим черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений в зерновом севообороте // Вестник НГАУ. – 2020. – № 3 (56). – С.18–28. – EDN: NMBJLR.
21. Засухоустойчивость сортов ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан / В.И. Блохин, И.Ю. Никифорова, И.С. Ганиева [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3 (71). – С. 4–7. – EDN: FAIBSQ.
22. Митрофанов Д.В. Влияние ключевых факторов и почвенных процессов на продуктивность ячменя в севооборотах на чернозёмах Предуралья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1 (57). – С. 46–53. – EDN: PBQTJI.
23. Особенности погодных условий и урожайности полевых культур в степной зоне Оренбургской области / Н.А. Максютов, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (87). – С. 24–29. – EDN: KYEZPA.

REFERENCES

1. Akhmetzyanov M.R., Talanov I.P., *Puti povysheniya pochvennogo plodorodiya seryh lesnyh pochv Srednego Povolzh'ya* (Ways to increase soil fertility of gray forest soils of the Middle Volga region), Kazan, 2020, 188 p., EDN: DVHKBM.
2. Nesmeyanova M.A., Korzhov S.I., Dedov A.V., Trofimova T.A., Korotkih E.V., Biological activity of soil and rates of decomposition of plant residues, *International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies*, 2020, Vol. 11, No. 14, pp. 11A14M, EDN: ZFIIWE.
3. Seminchenko E.V., *Zemledelie*, 2021, No. 1, pp. 7–10. (In Russ.), EDN: FAAPPH.
4. Kudryashova N.I., Bulahktina G.K., Kudryashov A.V., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 1 (61), pp. 152–161. (In Russ.), EDN: UTGLVZ.
5. Sorokin I.B., Nikolaeva N.Yu., Valetova E.A., Chudinova Yu.V., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 3 (60), pp. 65–72. (In Russ.), EDN: DNYYYWH.
6. Bonnet C., Gaudio N., Alletto L. [et al.], Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France, *Agronomy for Sustainable Development*, 2021, Vol. 41, pp. 65, URL: <https://link.springer.com/article>.
7. Chulkov V.A., Chapalda T.L., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2021, No. 4 (207), pp. 55–63. (In Russ.), EDN: QTQHMZ.
8. Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N., Svetlakova E.V., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, Vol. 23, No. 4, pp. 527–537. (In Russ.), EDN: NBIIIM.
9. Postnikov P.A., Popova V.V., Dan'ko E.F., Vasina O.V., *Plodorodie*, 2022, No. 3, pp. 16–19. (In Russ.), EDN: URSFJD.
10. Brankatschk G., Finkbeiner V., Grop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints, *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, Vol. 37, No. 58, URL: <https://link.springer.com/article>.
11. Götze P., Rücknagel L., Wensch-Dorendorf M. [et al.], Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years, *European Journal of Agronomy*, 2017, Vol. 82, pp. 50–59.
12. Dmitriev N.I., *Vestnik IrGSKHA*, 2020, No. 101, pp 14–22. (In Russ.), EDN: SPBKEG.
13. Kolobkov E.V., Postnikov P.A., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2012. No. 2, pp. 4–6. (In Russ.), EDN: PALUWB.
14. Yumashev X.S., Zakharova I.A., *Plodorodie*, 2018, No. 2 (101), pp. 33–35. (In Russ.), EDN: RTWKZH.
15. Mitrofanov D.V., Tkacheva T.A., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 4 (64), pp. 57–64. (In Russ.), EDN: WZOHMM.
16. Seminchenko E., Solonkin A., Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt, *Research on Crops*, 2022, Vol. 23, No. 1, pp. 40–45, EDN: FKUCXO.

-
17. Bortnik T.Yu., Klekovkin K.S., Karpova A.Yu., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2022, No. 2 (38), pp. 57–64. (In Russ.), EDN: AVWTPT.
 18. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of study results), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p., EDN: ZJQBUD.
 19. Gamzikov G.P., *Agrokhimiya azota v agrocenozah*. (Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses), Novosibirsk: RASKHN, Sib. otd-nie, 2013, p. 790, EDN: SZYUED.
 20. Galeeva L.P., *Vestnik NGAU*, 2020, No. 3 (56), pp. 18–28. (In Russ.), EDN: NMBJLR.
 21. Blokhin V.I., Nikiforov I.Yu., Ganieva I.S. [i dr.], *Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, No. 3 (71), pp. 4–7. (In Russ.), EDN: FAIBSQ.
 22. Mitrofanov D.V., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, No.1 (57), pp. 46–53. (In Russ.), EDN: PBQTJI.
 23. Maksyutov N.A., Zorov A.A., Skorokhodov V.Yu [i dr.], *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 1 (87), pp. 24–29. (In Russ.), EDN: KYEZPA.

УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.С. Сурначёв, научный сотрудник

К.К. Мусинов, научный сотрудник

И.Е. Лихенко, доктор сельскохозяйственных наук

Н.Н. Ермошкина, научный сотрудник

Е.П. Размахнин, научный сотрудник

А.А. Петрова, аспирант

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: sibniirs@bk.ru

Ключевые слова: озимая мягкая пшеницы, срок посева, урожайность, перезимовка, количество продуктивных побегов, кущение.

Реферат. Среди различных факторов, ответственных за урожайность озимой пшеницы, первостепенное значение имеет перезимовка, которая во многом зависит от потенциала генотипа, срока посева и метеорологических условий. Срок посева является одним из ключевых агротехнических факторов в технологии возделывания озимой пшеницы. Цель исследований – изучение влияния сроков посева на формирование урожайности местных сортов озимой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири. Исследования проводили в 2018–2022 гг. на поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. В качестве объекта исследования использовались 5 сортов озимой мягкой пшеницы. Посев проводился в три срока (первый – 20 августа, второй – 1 сентября, третий – 10 сентября). Максимальная урожайность за годы исследований наблюдалась при посеве во второй срок. В среднем за 3 года прибавка составила 0,53 и 0,66 т/га по сравнению с первым и третьим сроками посева соответственно. Наибольшая урожайность была отмечена у сорта Краснообская озимая при втором сроке посева – 5,76 т/га в 2022 г. и 5,16 т/га в среднем за 3 года. Результаты дисперсионного анализа показали, что влияние всех исследуемых факторов на изменение урожайности достоверно. Максимальное влияние оказало взаимодействие факторов «год» и «сорт» и составило 22,7%, остальные факторы распределялись следующим образом: срок посева – 14,5, условия года – 12, генотип – 12,7, взаимодействие условий года и срока посева – 7,9, взаимодействие срока посева и генотипа – 2,1, совокупность всех факторов – 6,7%. По результатам корреляционного анализа, урожайность в годы исследований находилась в достоверной взаимосвязи с перезимовкой ($R = 0,52$), а также с количеством продуктивных побегов ($R = 0,53$). В свою очередь, между собой показатели перезимовки и количество продуктивных побегов коррелируют с коэффициентом $R = 0,36$, что также является достоверным. На основании исследования можно заключить, что оптимальным сроком посева для роста и развития озимой мягкой пшеницы является второй срок посева со сдвигом на 1–3 дня в обе стороны.

YIELD OF WINTER SOFT WHEAT DEPENDING ON SOWING TIME IN FOREST-STEPPE CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

A.S. Surnachev, Researcher

K.K. Musinov, Researcher

I.E. Likhenko, Doctor of Agricultural Sciences

N.N. Ermoshkina, Researcher

E.P. Razmakhnin, Researcher

A.A. Petrova, PhD student

Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding - the branch of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

E-mail: sibniirs@bk.ru

Keywords: soft winter wheat, sowing time, yield, overwintering, number of productive shoots, tillering

Abstract. Overwintering is of paramount importance among the various factors responsible for the creation of winter wheat, which largely depends on the potential of the genotype, sowing time and weather conditions. Sowing time is one of the vital agrotechnical factors in the technology of winter wheat cultivation. The research aims to study the influence of sowing time on the formation of the yield of local varieties of soft winter wheat in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia. The studies were carried out in 2018–2022 on the Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding - a branch of ICG SB RAS. Five varieties of soft winter wheat were used as an object of study. Sowing was carried out in three terms (the first - on August 20, the second - on September 01, and the third - on September 10). The maximum yield over the years of research was observed when sowing in the second term. On average, over three years, the increase was 0.53 and 0.66 t/ha compared to the first and third sowing periods, respectively. The highest yield was noted in the Krasnoobskaya winter variety during the second sowing period - 5.76 t/ha in 2022 and 5.16 t/ha on average over three years. The analysis of variance showed that the influence of all the studied factors on the change in yield is reliable. The maximum force was exerted by the interaction of the factors “year” and “variety” and amounted to 22.7%. The remaining elements were distributed as follows: sowing time - 14.5, year conditions - 12, genotype - 12.7, the interaction of year conditions and sowing date - 7.9, the interaction between sowing time and genotype is 2.1%, the totality of all factors is 6.7%. According to the results of the correlation analysis, the yield in the years of research was in a significant relationship with overwintering ($R = 0.52$) and with the number of productive shoots ($R = 0.53$). In turn, the indicators of overwintering and the number of influential nodes correlate with the coefficient $R = 0.36$, which is also reliable. Based on the study, it can be concluded that the optimal sowing time for the growth and development of soft winter wheat is the second sowing time with a shift of 1–3 days in both directions.

Озимая пшеница – зерновая культура с наиболее высоким биологическим потенциалом продуктивности по сравнению с яровой. Озимая пшеница является хорошим предшественником в севооборотах, введение данной культуры в севооборот способствует также наиболее эффективной организации сельскохозяйственного производства, позволяет снизить напряжение посевной кампании яровых культур весной и уборки осенью. Озимая пшеница хорошо использует влагу осеннего и весеннего периодов, развивает мощную корневую систему, глубоко проникающую в почву, вследствие чего лучше усваивает питательные вещества, меньше страдает от засухи и поэтому имеет большое значение в качестве страховой культуры в засушливые годы [1, 2].

Озимую пшеницу широко возделывают в европейской части РФ, в странах СНГ, на Северном Кавказе, но в Сибири она выращивается на небольших площадях [1]. В условиях Новосибирской области в ходе продолжительных зим с суровыми погодными условиями посевы озимой пшеницы часто подвергаются воздействию ряда неблагоприятных факторов, что зачастую является причиной их сильного изреживания или полной гибели. В связи с этим в области озимая пшеница считается рискованной культурой. Реализация всего потенциала урожайности во многом зависит от условий возделывания.

Среди различных факторов, ответственных за урожайность озимой пшеницы, первостепенное значение имеет перезимовка, которая, в

свою очередь, во многом зависит от потенциала генотипа, срока посева и метеоусловий [3, 4].

Результаты исследований зарубежных и российских ученых показывают, что на урожайность существенное влияние оказывают не только агрометеорологические условия, но и срок посева [4–6].

Срок посева является одним из ключевых агротехнических факторов в технологии возделывания озимой пшеницы. Он оказывает слабое влияние на время созревания пшеницы, но сказывается на продолжительности и сроках фаз развития на ранних этапах и потенциально позволяет избежать неблагоприятных условий окружающей среды в осеннюю вегетацию, значительно влияет на степень кушения, перезимовку, поражение болезнями и вредителями, рост, развитие и в конечном результате на урожайность [7–12].

Сроки посева существенно влияют на анатомическое и физиологическое состояние растений пшеницы озимой [13]. Несоблюдение оптимального срока посева приводит к нарушению нормального типа развития и роста на начальных этапах жизни растений, вследствие чего понижается продуктивность. Оптимальным сроком посева озимой пшеницы считается такой, при котором растения успевают получить необходимое количество тепла для подготовки к зимнему периоду [14].

В вопросе о степени зимостойкости в зависимости от сроков посева озимой пшеницы мнения ученых расходятся. Некоторые считают, что лучше зимуют растения озимой пшени-

цы ранних сроков посева, другие утверждают, что более зимостойкими являются растения оптимальных и поздних сроков [15].

Хорошо зимуют и дают самые высокие урожаи растения, образовавшие ко времени прекращения осенней вегетации 3–4 побега. Такое количество побегов образуется при сумме среднесуточных температур до конца осенней вегетации 500–580 °С [3, 9, 16].

Продуктивность растений озимой пшеницы может уменьшаться как при ранних, так и при поздних сроках посева. Ранний посев увеличивает продолжительность кушения, тогда как поздний снижает урожайность [17, 18]. При более длительной осенней вегетации у растений развивается большая вегетативная масса, что приводит к перерастанию и повреждениям растений вредителями и болезнями [7, 19]. Растения, переросшие до прекращения осенней вегетации, могут пострадать от заморозков зимой и возвратных морозов ранней весной [20, 21]. Зачастую посевы озимой пшеницы поздних сроков имеют хорошую зимостойкость и фитосанитарное состояние посевов, но поздний посев приводит к тому, что растения не успевают раскуститься и укорениться, формируется изреженный стеблестой, мелкие колосья, а значит, снижается и урожайность [4, 19].

Сроки посева зависят от биологических особенностей сорта, климатических и погодных условий, типа почвы и других факторов. Высокая изменчивость этих факторов в различных природно-географических зонах нашей страны не позволяет заранее определить календарные и оптимальные сроки посева озимой пшеницы. В зависимости от срока посева растения озимой пшеницы ко времени прекращения осенней вегетации могут быть в

разных состояниях – от прорастающих семян до хорошо раскустившихся растений [7, 22, 23].

Цель исследований – изучение влияния сроков посева на формирование урожайности местных сортов озимой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2018–2022 гг. на полевом стационаре СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (р.п. Краснообск). В качестве объекта исследования использовались 5 сортов озимой мягкой пшеницы селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, из которых 2 сорта: Краснообская озимая и Памяти Чекурова – были районированы и внесены в Государственный реестр селекционных достижений в процессе проведения исследования. Для опыта использовали семенной материал питомника размножения второго года (ПР-2).

Посев проводился в три срока (первый – 20 августа, второй – 1 сентября и третий – 10 сентября) сеялкой ССФК-7 в 5 повторениях, учётная площадь делянки – 10 м², размещение делянок рендомизированное, предшественник чистый пар. Применяемая агротехника – общепринятая для возделывания озимых зерновых культур в Западной Сибири [24]. Все сорта изучались на естественном фоне без внесения удобрения и средств защиты от болезней и вредителей. Уборку проводили при наступлении фазы полной спелости прямым комбайнированием селекционным зерноуборочным комбайном «Сампо-130». Опыт заложен в соответствии с принятой методикой Б.А. Доспехова [25]. Наблюдения и оценки проводили в соответствии с общепринятыми методиками [26].

Таблица 1

Агrometeorологические условия 2018–2022 гг.
Agrometeorological conditions 2018–2022

Показатель	Средняя многолетняя	2018/19 г.	2020/21 г.	2021/22 г.
1	2	3	4	5
Дата прекращения вегетации	05.10	14.10	19.10	11.10
Дата установления снежного покрова	01.11	31.10	12.11	31.10
Высота снежного покрова, см	30–40	65	58	60
Минимальная температура на глубине узла кушения, °С	-	-2	-5	-5
Дата схода снежного покрова	09.04	06.04	15.04	12.04
Начало вегетации	24.04	12.04	24.04	14.04

1	2	3	4	5
Продолжительность периода отсутствия вегетации, сут.	-	180	187	185
ГТК	-	1,33	0,85	0,68
Сумма эффективных температур (СЭТ) (весенне-летний период)	-	947	1070	1055

Оценка сортов озимой пшеницы по перезимовке в нашей работе была проведена по следующей шкале: меньше 20% – очень низкая; 21–35 – низкая; 36–50 – средняя; 51–75 – выше средней; более 75% – высокая. Статистические и математические обработки экспериментальных данных произведены по алгоритмам Б.А. Доспехова с применением компьютерных программ Microsoft Office Excel и Snedecor.

Метеорологические условия осенней вегетации в годы проведения исследований различались между собой, но оказались удовлетворительными для перезимовки озимой пшеницы. Прекращение вегетации осенью наступало позднее среднесезонных дат.

Высота снежного покрова в годы исследования варьировала от 58 см в 2021 г. до 65 см в 2019 г. Минимальная температура на глубине узла кущения не опускалась ниже -5 °С. В зимний период 2021/22 г. наблюдалось неоднократное повышение температуры выше +0°С, что повлияло на распространение снежной плесени и гибель растений первого срока посева. Дата начала весенней вегетации отмечалась раньше среднесезонных данных в 2019 и в 2022 гг. и совпадала с ними в 2021 г.. Вегетационный период 2019 г. отличался повышенной влагообеспеченностью (ГТК – 1,33) с суммой эффективных температур 947 °С. В 2021 и 2022 гг. гидротермические условия характеризовались как засушливые (ГТК – 0,85) и очень засушливые (ГТК – 0,68) с суммой эффективных температур 1070 и 1055 соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сроки посева озимой мягкой пшеницы оказали влияние на время появления всходов. Так, по годам наименьший период от посева до появления всходов отмечен в 2018 г. при первом сроке посева – 5 суток, в 2020 и в 2021 гг. при аналогичном сроке посева этот период составил 6 суток. Самый длительный

период от посева до появления всходов наблюдался в 2018 г. при третьем сроке посева (10 суток), а в 2020 и в 2021 гг. в аналогичные сроки посева для появления равномерных всходов потребовалось на сутки меньше. Появление всходов при посеве во второй срок было отмечено в 2018 г. на 8-е сутки, а в 2020 и 2021 гг. – на 6-е сутки. Продолжительность вегетационного периода в среднем за 3 года исследований составила: при первом сроке – 336 суток, втором – 325, третьем – 312 суток. Сроки посева пшеницы мягкой озимой не оказали существенного влияния на продолжительность межфазных периодов во время весенне-летней вегетации. Различия наблюдались лишь в период осеннего развития растений и по показателям хозяйственно-ценных признаков.

В годы исследований все растения, вне зависимости от сорта и сроков посева, к моменту прекращения осенней вегетации перешли в фазу кущения. При первом сроке посева коэффициент кущения составлял от 5,6 (2018 г.) до 6,4 шт. (2020 г.), при втором – от 2,9 (2021 г.) до 4,9 (2020 г.), при третьем – от 1,1 (2021 г.) до 2,6 (2018 г.).

По трехлетним результатам исследования был проведен трехфакторный дисперсионный анализ данных по урожайности. Результаты этого анализа показали, что влияние срока посева на изменение урожайности составило 14,5% и является достоверным (рисунок). Достоверное влияние оказывают и такие факторы, как условия года, – 12%, что свидетельствует о высоком воздействии климатических условий на продуктивность, вклад генотипа – 12,7%, что предполагает возможность повышения урожайности за счет введения в производство новых высокопродуктивных сортов. Максимальное же влияние оказало взаимодействие факторов «год» и «сорт», оно составило 22,7% от общего вклада в изменение урожайности. Доля влияния взаимодействия условий года и срока посева составила 7,9%, взаимодействия срока посева и генотипа – 2,1 и совокупности всех факторов – 6,7%.



Результаты дисперсионного анализа данных по урожайности озимой пшеницы в зависимости от года и срока посева (2018–2022 гг.)

Results of ANOVA analysis of winter wheat yield data depending on the year and sowing period (2018–2022)

По результатам корреляционного анализа урожайность в годы исследований находилась в достоверной взаимосвязи с перезимовкой ($R = 0,52$), а также с количеством продуктивных побегов ($R = 0,53$) (табл. 2). В свою очередь,

между собой показатели перезимовки и количества продуктивных побегов коррелируют с коэффициентом $R = 0,36$, что также является достоверным.

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа урожайности, перезимовки и количества продуктивных побегов (2018–2022 гг.)

Results of correlation analysis of yield, overwintering and the number of productive shoots (2018–2022)

	Урожайность	Перезимовка	Количество продуктивных побегов	ГТК	Среднесуточная температура
Урожайность	1	0,52	0,53	0,38	-0,35
Перезимовка	-	1	0,36	0,69	-0,51
Количество продуктивных побегов	-	-	1	-0,17	0,26
ГТК	-	-	-	1	-0,92
Среднесуточная температура	-	-	-	-	1

Примечание. Пороги достоверности на уровне 5%: $R = 0,29$.

Note. Confidence thresholds at the level of 5%: $R = 0.29$.

На осеннее развитие растений оказывает влияние сочетание таких экологических факторов, как температура воздуха и количество осадков. Данные корреляционного анализа показали достоверную положительную зави-

симость показателей перезимовки озимой пшеницы ($R = 0,69$) и ее урожайности ($R = 0,38$) от гидротермического коэффициента (ГТК) осенней вегетации и отрицательную корреляцию с среднесуточной температурой ($R = -0,51$; $-0,35$

соответственно). При длительной осенней вегетации с повышенной температурой воздуха растения озимой пшеницы формируют большую вегетативную массу. У растений поздних сроков уменьшается вероятность попасть под воздействие высоких температур.

Показатели перезимовки озимой пшеницы в годы исследований были различны как по годам, так и по срокам сева. Наиболее заметное влияние оказали сроки посева на перезимовку растений озимой пшеницы в 2021–2022 гг., когда растения в зимнее время при высоких температурах были повреждены снежной плесенью. Так, поздний посев, растения которого ушли в зиму менее развитыми, показал более высокую перезимовку – 79% по сравнению с

первым – 57% и вторым – 61%. Это связано с тем, что растения первого срока обладали большим числом побегов кущения на момент прекращения осенней вегетации и тем самым оказались более подвержены воздействию патогена (табл. 3). В остальные годы исследования явных различий в перезимовке не наблюдалось. Более высокий уровень перезимовки в среднем по годам был отмечен на посевах 2020–2021 гг. – от 70 до 80% вне зависимости от срока посева, что можно объяснить более длительным периодом вегетации осенью и более поздним сходом снежного покрова и возобновления вегетации весной, что не дало возможности возвратным холодам погубить не окрепшие после зимы растения.

Таблица 3

Перезимовка озимой пшеницы в зависимости от срока посева (2018–2022 гг.), %
Overwintering of winter wheat depending on the sowing period (2018–2022), %

Год	Срок посева	Новосибирская 2	Новосибирская 3	Новосибирская 40	Краснообская озимая	Памяти Чекурова	Среднее
2018/19	20.08	65	70	65	70	65	67
	01.09	65	70	65	70	65	67
	10.09	60	70	65	65	60	64
2020/21	20.08	80	70	80	70	70	74
	01.09	80	70	80	70	70	74
	10.09	80	70	80	70	70	74
2021/22	20.08	60	55	65	65	40	57
	01.09	70	65	65	65	40	61
	10.09	85	75	80	85	70	79

Примечание. Средняя перезимовка по срокам посева за 3 года: 20.08 – 66%; 01.09 – 67%; 10.09 – 72%. НСР₀₅: по фактору «год» – 1,9; по фактору «сорт» – 2,5; по фактору «срок посева» – 1,9.

Note. Average overwintering by sowing time for three years: 20.08 - 66%; 01.09 - 67%; 10.09 - 72%. LSD₀₅ (least significant difference): by the factor “year” - 1.9; by the “sorted” factor – 2.5; according to the aspect “sowing time” - 1.9.

Сроки посева озимой пшеницы оказали также существенное влияние на урожайность. Максимальную среднюю урожайность за годы исследования растения озимой пшеницы формировали при втором сроке посева как в каждом отдельно взятом году, так и в среднем по годам (табл. 4). Самую низкую урожайность формировали посевы третьего срока в 2019 и 2021 гг., а в 2022 г. минимальная урожайность была отмечена при первом сроке посева. Так, достоверная прибавка урожайности при посеве во второй срок в среднем за 3 года составила 0,53 и 0,66 т/га по сравнению с первым и третьим сроками соответственно. Что касает-

ся сравнительной урожайности испытанных в опыте сортов, то наиболее продуктивным оказался сорт озимой пшеницы Краснообская озимая. Его максимальная урожайность была отмечена и при втором сроке посева и составила 5,76 т/га в 2022 г. и 5,16 т/га в среднем за 3 года. Несмотря на то, что растения озимой пшеницы третьего срока посева показывают хорошую зимостойкость, их продуктивность уступает растениям второго срока посева. Это связано с тем, что при третьем сроке посева растения формируют меньшее количество побегов кущения и, как следствие, более изреженный стеблестой.

Таблица 4

Урожайность озимой пшеницы в зависимости от срока посева (2018–2022), т/га
The yield of winter wheat depending on the sowing period (2018–2022), t/ha

Год	Срок посева	Новосибирская 2	Новосибирская 3	Новосибирская 40	Краснообская озимая	Памяти Чекурова	Среднее
2018/19	20.08	3,96	4,23	3,96	4,64	3,89	4,14
	01.09	3,95	4,30	4,17	4,40	4,06	4,18
	10.09	3,07	3,84	3,11	4,07	3,65	3,55
2020/21	20.08	5,03	4,66	4,30	4,67	4,64	4,66
	01.09	5,28	5,48	4,58	5,32	4,86	5,10
	10.09	4,50	4,41	4,07	4,57	4,25	4,36
2021/22	20.08	3,49	3,32	3,79	5,36	2,27	3,65
	01.09	5,02	4,77	4,45	5,76	3,74	4,75
	10.09	4,73	3,67	3,72	4,79	3,86	4,15

Примечание. Средняя урожайность по срокам посева за 3 года: 20.08 – 4,15 т/га, 01.09 – 4,68 т/га, 10.09–4,02 т/га. НСР₀₅: по фактору «год» – 0,13; по фактору «сорт» – 0,16; по фактору «срок посева» – 0,13

Note. Average yield by sowing time for 3 years: 20.08 - 4.15 t/ha, 01.09 - 4.68 t/ha, 10.09-4.02 t/ha.
 LSD₀₅: by the factor “year” - 0.13; by the “grade” factor – 0.16; by the characteristic “sowing time” - 0.13

Количество продуктивных побегов в среднем по годам оказалось выше на посевах второго срока и варьировало по годам от 355 шт/м² в 2022 г. до 589 шт/м² в 2021 г. (табл. 5). В

среднем же за 3 года превышение этого показателя при втором сроке посева составило 35 шт/м² по сравнению с первым и 61 шт/м² в сравнении с третьим.

Таблица 5

Количество продуктивных побегов озимой пшеницы в зависимости от срока посева (2018–2022), шт/м²
The number of productive shoots of winter wheat depending on the sowing period (2018–2022), pcs/m²

Год	Срок посева	Новосибирская 2	Новосибирская 3	Новосибирская 40	Краснообская озимая	Памяти Чекурова	Среднее
2018/19	20.08	361	558	386	578	551	487
	01.09	396	533	480	488	575	494
	10.09	372	441	365	514	501	439
2020/21	20.08	551	603	544	571	565	567
	01.09	571	630	511	653	581	589
	10.09	451	516	389	467	477	460
2021/22	20.08	235	287	263	375	227	277
	01.09	340	376	329	373	356	355
	10.09	367	405	297	406	299	355

Примечание. Среднее количество продуктивных побегов по срокам посева за 3 года: 20.08. – 444 шт/м², 01.09. – 479, 10.09. – 418 шт/м².

НСР₀₅: по фактору «год» – 35; по фактору «сорт» – 45; по фактору «срок посева» – 35

Note. The average number of productive shoots by sowing time for 3 years: 20.08. – 444 pcs/m², 01.09. - 479, 10.09. – 418 pcs/m²

LSD₀₅: by the factor “year” - 35; by the “grade” factor – 45; by the factor “sowing time” - 35.

ВЫВОДЫ

1. По результатам трехфакторного дисперсионного анализа выявлено достоверное влияние срока посева озимой мягкой пшеницы на изменение урожайности, вклад данного фактора составил 14,5%.

2. На основании исследования, проведенного в лесостепной зоне Западной Сибири, можно заключить, что оптимальным для роста и развития озимой мягкой пшеницы является второй срок посева (1 сентября) со сдвигом на 1–3 суток в обе стороны, при этом за годы

исследований продолжительность вегетационного периода в среднем составила 325 суток.

3. Растения, высеваемые во второй срок, формируют хорошо развитый узел кущения, и это отражается на их быстром отрастании в весенний период вегетации и дальнейшем развитии в летний период. При посеве в данный срок все исследуемые сорта показали максимальную урожайность.

Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWN-2022-0018.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пешков С.А., Стецов Г.Я.* Влияние разных сроков посева на урожайность озимой пшеницы // Научное обеспечение зернового производства Алтайского края: сб. ст. / ФГБНУ Алт. НИИСХ. – Барнаул, 2016, С. 102–105.
2. *Влияние сроков сева и норм высева на урожайность сортов озимой пшеницы в условиях Республики Татарстан* / И.Д. Фадеева, М.Ш. Тагиров, И.Н. Газизов, Ф.Ф. Курмакаев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15, № 2 (58). – С. 53–58. – DOI: 10.12737/2073-0462-2020-53-58.
3. *Мельник А.Ф., Лапина Л.А.* Сроки сева – фактор, влияющий на продуктивность озимой пшеницы // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2016. – № 1 (6). – С. 57–61.
4. *Planting time effect on wheat phenology and yield traits through genotype by environment interaction* / Н.А. Naq, N.U. Khan, H. Rahman [et al.] // Journal of Animal and Plant Sciences – 2017. – Vol. 27 (3). – P. 882–893.
5. *Вершинина Т.С.* Влияние срока посева на качество зерна озимой пшеницы // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 4 (20). – С. 52–58.
6. *Шакалій С.М., Баган А.В., Барат Ю.М.* Вплив строків сівби на урожайність і якість зерна пшениці озимої // Наукові доповіді НУБіП України. – 2020. – N 1 (83). – P. 7. – DOI: 10.31548/dopovidi2020.01.007.
7. *Лазарев В.И., Котельникова М.Н.* Влияние сроков посева на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в условиях Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 5. – С. 52–55.
8. *Estimating inter-annual variability in winter wheat sowing dates from satellite time series in Camargue* / G. Manfron, S. Delmotte, L. Busetto [et al.] // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2017. – Vol. 57. – P. 190–201. – doi.org/10.1016/j.jag.2017.01.001.
9. *Влияние сроков посева на урожайность и качество зерна озимой пшеницы* / Х.А. Малкандуев, А.Х. Малкандуева, Р.И. Шамурзаев, М.А. Базгиев // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 3. – С. 93–97. – doi.org/10.31677/2311-0651-2018-0-3-93-97.
10. *Попов А.С.* Сроки посева твердой озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 6. – С. 28–32. – doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-28-32.
11. *Understanding effects of genotype × environment × sowing window interactions for durum wheat in the Mediterranean basin* / G. Padovan, P. Martre, M.A. Semenov [et al.] // Field Crops Research. – 2020. – Vol. 259. – P. 1–15. – DOI:10.1016/j.fcr.2020.107969.
12. *Урожайность озимой пшеницы в зависимости от срока сева* / В.В. Кот, И.В. Сацюк, С.И. Гордей [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2021. – № 57. – С. 77–87.
13. *Ярошенко С.С.* Морозостійкість та зернова продуктивність пшениці озимої залежно від агротехнічних прийомів вирощування // Зернові культури. – 2020. – Vol. 4, N 1. – P. 64–70.
14. *Жирных С.С.* Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от сроков посева в условиях Удмуртской Республики // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 6 (61). – С. 15–19.

15. Корхова М.М. Зимостойкость новых сортов пшеницы озимой в зависимости от сроков сева в южной степи Украины // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2015. – № 51. – С. 105–109.
16. Малкандуева А.М. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от сроков посева и условий возделывания // Инновации и продовольственная безопасность. – 2019. – № 3 (25). – С. 100–104. – DOI: 10.31677/2311-0651-2019-25-3-100-104.
17. *Evaluation of wheat (Triticum aestivum) genotypes under different dates of sowing in Telangana* / M. Goverdhan, Md. Latheef Pasha, D. Madhusudan Reddy // International Journal of Chemical Studies. – 2019. – Vol. 7 (3). – P. 1508–1512.
18. Yang J., Lai X., Shen Y. Response of dual-purpose winter wheat yield and its components to sowing date and cutting timing in a semiarid region of China. // Crop Science. – 2021. – Vol. 62 (1). – P. 1–16. – DOI: 10.1002/csc2.20634.
19. Глыва В.В. Влияние сроков сева на адаптивность выращивания сортов пшеницы озимой в условиях Западной лесостепи Украины // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4. – С. 50–54.
20. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates / A. Ozturk, O. Caglar, S. Bulut // Journal of Agronomy and Crop Science. – 2006. – Vol. 192. – P. 10–16.
21. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China / Ren Ai-xia, Sun Min, Wang Pei-ru [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. – 2019. – Vol. 18 (1). – P. 33–42. – DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61980-X.
22. Кадиоров Ш.Ю., Машиарипов И.Г., Абдурахимов У.К. Влияние сроков посева на урожайность зерна местных сортов озимой пшеницы в условиях Хорезмской области // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст.: в 3 кн. / Алт. гос. аграр. ун-т. – Барнаул, 2017. – С. 129–130.
23. Сроки сева и их влияние на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы / Л.А. Радченко, Т.Л. Ганоцкая, А.Ф. Радченко, С.С. Бабанина // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 6 (78). – С. 95–103. – DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103.
24. Технология возделывания озимых зерновых культур в Западной Сибири: руководство / Г.В. Артёмов, В.И. Пономаренко, П.И. Стёпочкин; Рос. акад. с.-х. наук; СибНИИ растениеводства и селекции; СибНИИ земледелия и химизации. – Новосибирск, 2013. – 29 с.
25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Альянс, 2014. – 386 с.
26. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1989. – 194 с.

REFERENCES

1. Peshkov S.A., Stetsov G.Ya., *Nauchnoe obespechenie zernovogo proizvodstva Altaiskogo kraya* (The influence of different sowing dates on the yield of winter wheat), Abstracts of papers, FG-BNU Altaiskii NIISKh, Barnaul, 2016, pp. 102–105. (In Russ.)
2. Fadeeva I.D., Tagirov M.Sh., Gazizov I.N., Kurmakaev F.F., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, Vol. 15, No. 2 (58), pp. 53–58, DOI 10.12737/2073-0462-2020-53-58 (In Russ.)
3. Mel'nik A.F., Lapina L.A., *Setevoi nauchnyi zhurnal OrelGAU*, 2016, No. 1 (6), pp. 57–61. (In Russ.)
4. Haq H.A., Khan N.U., Rahman H. [et al.], Planting time effect on wheat phenology and yield traits through genotype by environment interaction, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2017, Vol. 27 (3), pp. 882–893.
5. Vershinina T.S., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2017, No. 4 (20), pp. 52–58. (In Russ.)
6. Shakalii S.M., Bagan A.V., Barat Yu.M., Vpliv strokiv sivbi na urozhainist' i yakist' zerna pshenitsi ozimoï, *Naukovi dopovidi NUBiP Ukraïni*, 2020, No. 1 (83), pp. 7, DOI: 10.31548/dopovidi2020.01.007.
7. Lazarev V.I., Kotel'nikova M.N., *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2015, No. 5, pp. 52–55. (In Russ.)

8. Manfron G., Delmotte S., Busetto L. [et al.], Estimating inter-annual variability in winter wheat sowing dates from satellite time series in Camargue, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, Vol. 57, pp. 190–201, doi.org/10.1016/j.jag.2017.01.001.
9. Malkanduev Kh.A., Malkandueva A.Kh., Shamurzaev R.I., Bazgiev M.A., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2018, No. 3, pp. 93–97, doi.org/10.31677/2311-0651-2018-03-93-97. (In Russ.)
10. Popov A.S., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2019, No. 6, pp. 28–32, doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-28-32 (In Russ.)
11. Padovan G., Martre P., Semenov M.A. [et al.], Understanding effects of genotype × environment × sowing window interactions for durum wheat in the Mediterranean basin, *Field Crops Research*, 2020, Vol. 259, pp. 1–15, DOI:10.1016/j.fcr.2020.107969.
12. Kot V.V., Satsyuk I.V., Gordei S.I. [i dr.], *Zemledelie i selektsiya v Belarusi*, 2021, No. 57, pp. 77–87. (In Russ.)
13. Yaroshenko S.S., Morozostiikist' ta zernova produktivnist' pshenitsi ozimoï zalezno vid agrotekhnichnikh priiomiv viroshchuvannya, *Zernovi kul'turi*, 2020, Vol. 4, No. 1, pp. 64–70.
14. Zhirnykh S.S., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2017, No. 6 (61), pp. 15–19.
15. Korkhova M.M., *Zemledelie i selektsiya v Belarusi*, 2015, No. 51, pp. 105–109.
16. Malkandueva A.M., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2019, No. 3 (25), pp. 100–104, DOI: 10.31677/2311-0651-2019-25-3-100-104. (In Russ.)
17. Goverdhan M., Latheef Pasha Md., Madhusudan Reddy D., Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes under different dates of sowing in Telangana, *International Journal of Chemical Studies*, 2019, Vol. 7 (3), pp. 1508–1512.
18. Yang J., Lai X., Shen Y., Response of dual-purpose winter wheat yield and its components to sowing date and cutting timing in a semiarid region of China, *Crop Science*, 2021, Vol. 62 (1), pp. 1–16, DOI: 10.1002 /csc2.20634.
19. Glyva V.V., Vliyanie srokov seva na adaptivnost' vyrashchivaniya sortov pshenitsy ozimoï v usloviyakh Zapadnoi lesostepi Ukrainy, *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2016, No. 4, pp. 50–54.
20. Ozturk A., Caglar O., Bulut S., Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2006, Vol. 192, pp. 10–16.
21. Ren Ai-xia, Sun Min, Wang Pei-ru [et al.], Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China, *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, Vol. 18 (1), pp. 33–42, DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61980-X.
22. Kadirov Sh.Yu., Masharipov I.G., Abdurakhimov U.K., *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaistvu (Agricultural science to agriculture)*, Abstracts of papers, *Altaiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, Barnaul*, 2017, pp. 129–130. (In Russ.)
23. Radchenko L.A., Ganotskaya T.L., Radchenko A.F., Babanina S.S., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2021, No. 6 (78), pp. 95–103, DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103. (In Russ.)
24. Artemova G.V., Ponomarenko V.I., Stepanov P.I., *Tekhnologiya vozdeystviya ozimnykh zernovykh kul'tur v Zapadnoi Sibiri (Technology of cultivation of winter crops in Western Siberia)*, Novosibirsk, 2013, 29 p.
25. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (Field experiment methodology)*, Moscow: Al'yans, 2014, 351 p.
26. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Methodology of state variety testing of agricultural crops)*, Moscow: Kolos, 1989, 194 p.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЗАКАЛКИ КОНТРАСТНЫМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ НА ВСХОДЫ НОВЫХ ДЛЯ РОССИИ ТЕПЛОЛЮБИВЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

^{1,2}Ю.В. Фотев, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Т.А. Кукушкина, старший научный сотрудник

^{2,3}О.А. Казакова, кандидат сельскохозяйственных наук

⁴Сунь Цзяпин, аспирант

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, р.п. Большие Вяземы Московской обл., Россия

⁴Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: fotev_2009@mail.ru

Ключевые слова: теплолюбивые овощные культуры, низкая температура, закалка, болезни всходов, аскорбиновая кислота, хлорофилл, каротиноиды.

Реферат. В условиях низкой температуры всходы теплолюбивых овощных культур сильнее поражаются различными патогенными микромицетами, а в листьях растений снижается содержание фотосинтетических пигментов. Использование фунгицидов не всегда способно прервать распространение патогенов и гибель растений. Для оценки термоадаптивного потенциала в опытах, проведенных в 2018–2022 гг., определяли влияние режима закалки, включающего четырехдневное выдерживание прорастающих семян момордики (*Momordica charantia* L.), спаржевой вигны (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), кивано (*Cucumis metuliferus* E. Mey. ex Naudin), бенинказы (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.) и ангурии (*Cucumis anguria* L.) при переменной в течение суток температуре – закалывающей (10°C) ночью и оптимальной (30°C) днем, на содержание пигментов в листьях и поражение сеянцев патогенными микромицетами в условиях пониженных температур (6–15 °C). Микробиологический анализ почвы на среде КДА показал наличие *Fusarium* spp. в количестве 290 КОЕ/г почвы. Методом ловушек выявлено присутствие в почвогрунте *Pythium* Pringsh. Наибольшее снижение гибели всходов достигнуто у сеянцев ангурии – в 29 раз, кивано, бенинказы и вигны – в 2,5; 2,0 и 1,3 раза соответственно. Периодическая гипотермия у 3 культур из 5 – кивано, вигны, бенинказы – снизила содержание аскорбиновой кислоты в листьях соответственно на 17; 36 и 3%. Содержание фотосинтетических пигментов – хлорофиллов (a + b) в варианте с закалкой увеличилось соответственно у 4 (за исключением вигны) культур из 5 на 8–40%, а каротиноидов у 3 – момордики, ангурии и бенинказы – на 46; 3 и 8% соответственно. Соотношение хлорофиллов a/b у большинства культур как в контроле (при оптимальной температуре), так и после низкотемпературного воздействия было близким к 2,0. Лишь у ангурии это соотношение уменьшилось с 2,8 до 2,1. Спаржевая вигна показала уменьшение содержания в варианте закалки как аскорбиновой кислоты (на 36%), так и фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) – на 6–8%.

INFLUENCE OF HARDENING BY CONTRAST TEMPERATURES ON THE GROWTH OF NEW FOR RUSSIA HEAT-LOVING VEGETABLE CROPS

^{1,2}Yu.V. Fotev, PhD in Agricultural Sciences

¹T.A. Kukushkina, Senior Researcher

^{2,3}O.A. Kazakova, PhD in Agricultural Sciences

⁴Sun Jiaping, PhD student

¹Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³All-Russian Research Institute of Phytopathology, R.P. Bolshie Vyazemy, Moscow region, Russia

⁴Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

E-mail: fotev_2009@mail.ru

Keywords: heat-loving vegetable crops, low temperature, hardening, seedling diseases, ascorbic acid, chlorophyll, carotenoids.

Abstract. Under conditions of low temperature, seedlings of heat-loving vegetable crops are more strongly affected by various pathogenic micromycetes, and the content of photosynthetic pigments in the leaves of plants decreases. Using fungicides cannot constantly interrupt the spread of pathogens and the death of plants. The authors determined the effect of the hardening regime, including the four-day keeping of germinating seeds of *Momordica* (*Momordica charantia* L.), asparagus cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), kiwano (*Cucumis metuliferus* E. Mey. ex Naudin), Benincasa (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.) and anguria (*Cucumis anguria* L.) at a variable temperature during the day - hardening (10°C) at night and optimal (30°C) during the day for keeping pigments in leaves and damage to seedlings by pathogenic micromycetes at low temperatures (6–15 °C). This effect allowed authors to assess the therm adaptive potential in experiments conducted in 2018–2022. Microbiological analysis of the soil on PDA medium (potato dextrose agar) showed the presence of *Fusarium* spp. in the amount of 290 CFU/g of earth. The trap method revealed the presence of *Pythium* Pringsh in the soil. The most significant reduction in the death of seedlings was achieved in seedlings of anguria - 29 times, Kivano, Benincasa and cowpea - 2.5, 2.0 and 1.3 times, respectively. Periodic hypothermia in 3 cultures out of 5 - Kiwano, Cowpea, and Benincasa - reduced the ascorbic acid content in the leaves by 17%, 36% and 3%. The range of photosynthetic pigments - chlorophylls (a + b) in the variant with hardening increased, respectively, in 4 (except cowpea) crops out of 5 by 8–40%, and carotenoids in 3 crops - *Momordica*, *Anguria* and *Benincasa* - by 46, 3 and 8% respectively. The ratio of chlorophylls a/b in most cultures, both in control (at the optimum temperature) and after low-temperature exposure, was close to 2.0. Only in *Anguria* did this ratio decrease from 2.8 to 2.1. Asparagus cowpea showed a decrease in the content of both ascorbic acid (by 36%) and photosynthetic pigments (chlorophylls and carotenoids) - by 6–8% in the hardening option.

Как известно, центры происхождения большинства плодовых овощных культур, выращиваемых в России, связаны с тропическими и субтропическими регионами мира. Отсюда их высокая требовательность к температурному фактору на всех этапах онтогенеза – от прорастания семян до плодоношения. Так, семена момордики (*Momordica charantia* L.) при прорастании требуют температуры 25–30°C [1], вигны (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – от 30 до 35°C [2]. Активно интродуцируемые в России кивано (*Cucumis metuliferus* E. Mey. ex Naudin), бенинказа (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.) и ангурия (*Cucumis anguria* L.) имеют тропическое происхождение, поэтому также теплолюбивы на всех этапах онтогенеза. Температура около 10°C, вероятно, является биологическим нулем для роста и развития многих теплолюбивых овощных растений. Снижение ее ниже критического уровня (10 °C для видов тропического и субтропического происхождения), при котором у теплолюбивых растений происходит фазовый переход мембран из жидкокристаллического в гель-состояние, приводит к увеличению их проницаемости, нарушению обменных процессов, накоплению токсических веществ и прочим нарушениям обмена веществ [3]. Низкотемпературный стресс вызывает снижение концентрации пигментов хлоропластов, особенно содержания хлорофилла b [4].

Существенно, что пониженные температуры способствуют увеличению поражения

растений возбудителями болезней [5, 6]. Так, низкотемпературный стресс через 2–4 дня после посева значительно повышает восприимчивость сои к поражению *Pythium sylvaticum* [7]. Поражение «черной ножкой», полегание сеянцев (damping-off) может достигать 80% [8]. По данным Ю.И. Власова и Э.А. Власовой [9], корневая гниль сеянцев вызывается комплексом грибов из родов *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium* и гнилостными бактериями, при этом поражаются главный, основные толстые и боковые тонкие корни, а также корневая шейка. Среди основных возбудителей полегания сеянцев на овощных культурах отмечены *Pythium* sp., *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *S. minor*, *Alternaria* sp., *Phytophthora* sp., *Fusarium* sp., *Thielaviopsis basicola* [10]. Распространенность почвенных патогенов показывают, например, данные мониторинга почвенных патогенов, проведенного в Татарстане, где отмечено, что во всех отобранных образцах почвы обнаружены фитопатогенные грибы рода *Fusarium* (от 26 до 250 КОЕ·г⁻¹) [11]. В защищенном грунте в результате поражения этим грибом иногда погибает до 75–80% сеянцев [9]. Важно, что «при наличии почвенной фузариозной инфекции химические средства не всегда решают проблему сокращения данного патогена» [12].

Успех интродукции теплолюбивых культур в условиях резко-континентального климата в значительной степени связан с расширением диапазона условий среды при кото-

рых возможно экономически оправданное их выращивание. Для повышения холодостойкости достаточно давно получили распространение разные по интенсивности и продолжительности способы воздействия на растения пониженной температурой. Наиболее перспективным оказалось закаливание растений путём кратковременного воздействия такой предельно низкой температурой, которая ещё не вызывает повреждения [13]. Температуру подбирают соответственно степени холодостойкости культуры (в пределах от 0 до -5°C), воздействуя в течение относительно коротких промежутков времени (по 12 ч), чтобы не повредить прорастающие семена [14]. На остальное время суток семена помещают в благоприятные условия.

Семена томата, например, рекомендовалось подвергать «яровизации», выдерживая их перед посевом в течение 7 дней при переменных температурах ($+25...30^{\circ}\text{C}$ в течение 5 ч и 19°C при $0...-2^{\circ}\text{C}$) [15]. Другим способом закалики было промораживание набухших семян этой культуры при температуре $-1...-3^{\circ}\text{C}$ в течение 3–5 дней или выдерживание при переменных в течение суток температурах (6–12 ч в тепле и 18–12 ч в холоде. Используя закалику прорастающих семян, уже тогда считалось возможным в условиях Новосибирска в середине мая проводить прямой посев томатов в открытый грунт.

Важным методическим подходом в этом направлении является оценка термоадаптивного потенциала культур и сортов, а также его использование [16]. Экспериментально установлено, что температурная характеристика, например, огурца (сорт Алма-Атинский 1) включает фоновую зону с температурой $19-27^{\circ}\text{C}$ и две зоны в сторону более низких температур: зону холодового закаливания ($8-18^{\circ}\text{C}$) и зону повреждения (7°C). После нескольких дней выдерживания растений при закалывающих температурах зона холодового повреждения этого сорта огурца снизилась с 7 до 4°C .

Закалывающий эффект формируется за достаточно короткий срок. Так, у пшеницы холодостойкость клеток листа достигает максимума на 3–4-е сут [17]. По мнению исследователей, этот этап (1–4-е сут закаливания), очевидно, следует считать периодом стабилизации работы фотосинтетического аппарата (ФСА) в условиях низких закалывающих температур. Установлен эффект кратковременного ежесуточного снижения температуры (ДРОП-воздействие), вызывающий так называемую кросс-адаптацию, что определяет устойчивость как к низкой температуре, так и к биологическому стрессору (нематоде) [18].

Результатами ряда исследований выявлен также положительный эффект режимов низкотемпературного воздействия на снижение восприимчивости растений к патогенам [19]. По данным А.М. Tronsmo [20], холодовое закаливание влияет на устойчивость к таким заболеваниям как ржавчина и мучнистая роса. Закаливание озимой пшеницы при 2°C в течение 1–6 недель значительно повышало устойчивость к возбудителям снежной плесени LTB, *Typhula incarnata* и *Microdochium nivale*, а также к мучнистой росе (*Blumaria graminis* f. sp. *graminis*) и полосатой ржавчине (*Puccinia striiformis*) [21]. При исследовании влияния кратковременного (2 ч в сутки) и длительного (6 суток) снижения температуры (5°C) на холодостойкость растений двух сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.): устойчивого (Сударыня) и восприимчивого (Невский) к заражению нематодой (*Globodera rostochiensis* Woll.), а также изменение уровня экспрессии генов устойчивости к нематоде (H1 и Gro1-4) обнаружили, что у обоих сортов низкотемпературная обработка повышала холодостойкость растений, а степень заражения у восприимчивого сорта Невский снижалась почти в 3 раза [18]. Уровень экспрессии гена H1 в листьях восприимчивого сорта повышался практически в 2 раза как после кратковременного, так и длительного действия закалывающей температуры. Очевидно, что кратковременные снижения температуры являются для растения праймингом, обеспечивающим их подготовку к последующему воздействию такого стрессора, как нематода [22].

В ряде исследований установлена связь между циркадными ритмами и результатом низкотемпературного воздействия на растения. Было высказано предположение [23], что, воздействуя на прорастающие семена контрастными температурами – от «биологического нуля» до температурного оптимума, мы «раскачиваем» обусловленные генотипом биологические ритмы, инициируя индуцируемую холодом экспрессию генов, специфический транскрипционный ответ на стресс. Так, в работе Y. Murayama et al. [24] низкая температура обнуляла циркадные биоритмы у цианобактерий через бифуркацию Хопфа. Растения способны развивать индуцируемую защиту в ответ на биотические и абиотические напряжения, регулируемые температурой, световым и циркадным ритмом [25]. Активация иммунных сигналов растений в отношении конкретной патогенной инфекции является надёжно контролируемым механизмом, при котором защитные реакции специально вклю-

чаются при распознавании патогена. Активация защитных генов модулируется циркадными ритмами. Например, ген R у арабидопсиса, RPP4, демонстрирует устойчивую циркадную экспрессию с пиком, приходящимся на ночное время [26]. Есть предположение, что циркадные часы формируют исход взаимодействия растений и патогенов [27].

Таким образом, наибольшего эффекта закалики теплолюбивых культур, проявляющегося в способности противостоять низким температурам и биологическим стрессорам, вероятно, можно ожидать от периодического воздействия закалывающей температурой, совпадающего с циркадными ритмами роста и развития растений. Применение многих фунгицидов для контроля патогенов не всегда эффективно и может быть опасно для здоровья человека, а также вызывает экологические проблемы в окружающей человека биоте.

Цель исследования – выяснить влияние режима закалики, включающего выдерживание прорастающих семян момордики, спаржевой вигны, кивано, бенинказы и ангурии при переменной в течение суток температуре – закалывающей ночью и оптимальной днем – на

содержание пигментов в листьях и поражение сеянцев патогенной микробиотой в условиях низкой температуры.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования, проведенного в 2018 – 2022 гг., использовали образцы из «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534 Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН): момордику (сорт Гоша), спаржевую вигну (сорт Сибирский размер), кивано (сорт Зеленый дракон), бенинказу (сорт Акулина) и ангурию (форма 278), растения которых выращивали в условиях пленочной необогреваемой теплицы ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск, 54°49'33'' с. ш., 83°06'34'' в. д.) из семян, репродуцированных ранее при контролируемом опылении в этих же условиях. Исходную всхожесть семян проверяли в соответствии с рекомендациями по поддержанию генресурсов растений в генных банках [28]. Энергия прорастания и всхожесть семян оказались достаточно высокими (табл. 1).

Таблица 1

Энергия прорастания и всхожесть семян образцов овощных культур, %
Germination energy and seed germination of vegetable crop samples, %

Вид	Сорт, форма	Происхождение	Энергия прорастания	Всхожесть
<i>Momordica charantia</i>	Гоша	ЦСБС СО РАН	100	100
<i>Vigna unguiculata</i>	Сибирский размер	ЦСБС СО РАН	80	80
<i>Cucumis metuliferus</i>	Зеленый дракон	ЦСБС СО РАН	100	100
<i>Benincasa hispida</i>	Акулина	ЦСБС СО РАН	88	92
<i>Cucumis anguria</i>	Форма 278	ЦСБС СО РАН	100	100

Семена всех культур подвергали температурному воздействию в течение четырех дней в двух режимах: 25°C в течение 24 ч (контроль, фоновая зона) и 10°C – 18 ч («ночь») + 30°C – 6 ч («день») в течение четырех суток (зона закалывания). Повторностей в опыте три, в каждой пробе по 15 шт. семян. В качестве ложа при закладке использовали фильтровальную бумагу, увлажненную дистиллированной водой. Порядок и условия подготовки к закладке семян соответствовали ГОСТ 12038-84.

После выдерживания семян в условиях оптимальной (контроль) и переменной температуры семена сеяли в кассеты с размером ячеек 40 х 40 мм, заполненные субстратом на основе торфа на глубину 1 см с размещением их в зимней остекленной теплице при частично

регулируемом температурном режиме 6–15 °C в период с февраля по март.

Микробиологический анализ торфяного субстрата и семян проводили в лаборатории фитосанитарной диагностики и прогноза Новосибирского государственного аграрного университета (НГАУ) в соответствии с разработанными методами [29] и ГОСТ 12044-93. Учет численности микроорганизмов проводили традиционным методом, посевом серийных почвенных разведений на агаризованные питательные среды. Численность грибов рода *Fusarium* определяли на среде КДА. Присутствие *Pythium* Pringsh определяли методом ловушек [29].

Через три недели после двух режимов обработки семян подсчитывали количество выпа-

дов всходов. Еще через три недели проводили анализ на содержание пигментов в листьях. Аскорбиновую кислоту определяли титриметрическим методом, основанным на ее редуцирующих свойствах (реакция Тильманса) [30, 31]. Суммарное количество каротиноидов определяли в ацетоново-этанольном экстракте спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность раствора измеряли при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* (662 нм) и *b* (644 нм), каротиноидов (440,5 нм). Расчет концентрации пигментов проводили по формулам: $Ca + Cb = 5,134D_{662} + 20,436D_{644}$; $Скар = 4,695D_{440,5} - 0,268(Ca + Cb)$ [30]. Все биохимические показатели, кроме аскорбиновой кислоты, рассчитаны на массу абсолютно сухого сырья. За результат принимали среднее из трех параллельных определений по каждому показателю.

Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel 2019 и Minitab 14. Средние значения признаков (*M*) представлены со стандартной ошибкой выборочной средней ($M \pm SEM$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность почвенной микрофлоры в использованном почвогрунте составила:

грибы – 1×10^3 , бактерии – 30×10^3 , актиномицеты – 1×10^3 КОЕ/г. Проведенный при использовании среды КДА микробиологический анализ почвы показал наличие *Fusarium* spp. в количестве 290 КОЕ/г почвы, что более чем в 5 раз превышает экономический порог вредоносности. Этот патогенный микромицет является одним из наиболее значимых возбудителей корневых гнилей в различных агроценозах. Методом ловушек также выявлено присутствие в почвогрунте *Pythium Pringsh*, который является сопутствующим возбудителем загнивания всходов и развивается преимущественно при температуре от $+6^\circ\text{C}$.

Установлено значительное снижение гибели всходов у всех теплолюбивых овощных растений (момордики, кивано, ангурии, вигны и бенинказы) от почвенных патогенов в условиях низкой температуры при воздействии на семена режима контрастных температур (рис. 1). Наибольшее снижение достигнуто у сеянцев ангурии – в 29 раз, а также кивано и бенинказы – в 2,5 и 2 раза соответственно. Такие различия можно объяснить закалкой прорастающих семян и приобретением ими определенного уровня устойчивости к биологическому стрессору. На рис. 2 показаны растения в разных вариантах опыта.

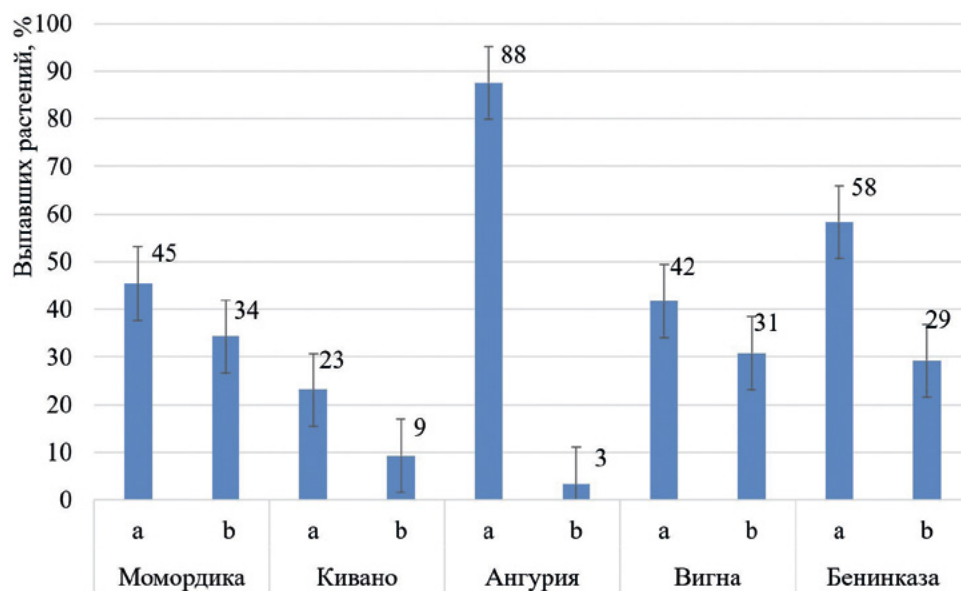


Рис. 1. Количество выпавших растений: а – режим обработки семян 25°C в течение 24 ч; б – режим 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч.

Fig. 1. The number of fallen plants: a - seed treatment mode 25°C for 24 hours; b - mode 10°C - 18h + 30°C - 6h.



Рис. 2. Растения кивано через три недели после всходов после двух режимов обработки семян: 25°C в течение 24 ч; б – 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч

Fig. 2. Kiwano plants three weeks after germination after two seed treatment regimens: 25°C for 24 hours; б - 10°C - 18h + 30°C - 6h

Воздействие на прорастающие семена переменными температурами снизило содержание аскорбиновой кислоты в листьях у 3 культур из 5 – кивано, вигны, бенинказы – соответственно на 17; 36 и 3% (рис. 3). У 2 культур (момордики и ангурии) содержание этого соединения увеличилось в 1,2 раза. Такая разница в реакции образцов разных видов, вероятно, объясняется возрастанием содержания активных форм кислорода при снижении температуры, что приводит к быстрому уменьшению концентрации аскорбиновой кислоты в фотосинтезирующих листьях у первых трех видов. Подобный тип ответной реакции наблюдали ранее при низкотемпературном воздействии на растения овощной хризантемы (*Glebionis coronaria* (L.) Tzvelev) [32], а также

табака (*Nicotiana tabacum* L.) [33]. Возможно, диапазон закаливающих температур либо режим гипотермического воздействия на прорастающие семена этих культур должны быть исследованы дополнительно. Максимальное содержание аскорбиновой кислоты отмечено в листьях момордики, кивано и ангурии (117–121 мг%), причем у момордики и ангурии – в варианте закалки, а у кивано – в контроле. Можно предположить, что использование экзогенной аскорбиновой кислоты в перспективе могло бы рассматриваться как фактор повышения устойчивости растений к пониженным температурам на фоне инвазии патогенных микромицетов, здесь необходимы дополнительные исследования.

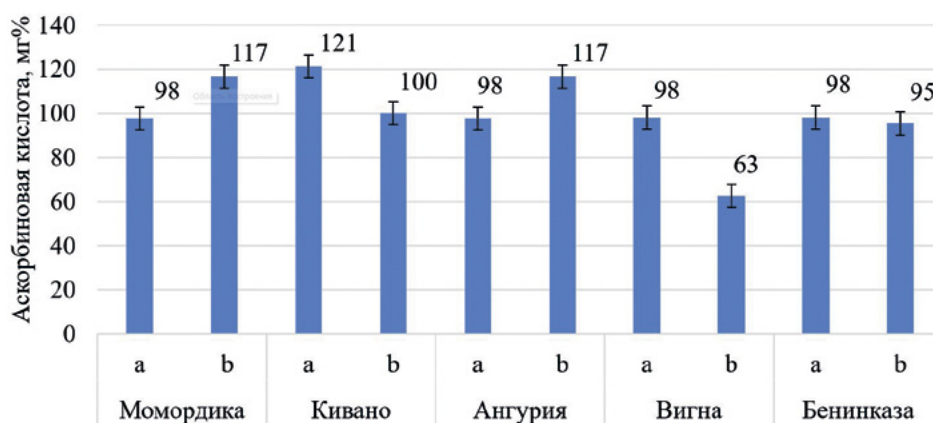


Рис. 3. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях овощных культур (на сырую массу) в зависимости от режима обработки семян (продолжительность 4 дня): а – режим обработки семян 25°C в течение 24 ч; б – режим 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч

Fig. 3. The content of ascorbic acid in the leaves of vegetable crops (per wet weight) depending on the mode of seed treatment (duration 4 days): а – mode of seed treatment 25°C for 24 hours; б – mode 10°C - 18h + 30°C - 6h

В результате низкотемпературной обработки прорастающих семян у 4 культур из 5 отмечено повышение содержания хлорофиллов (а + б) в листьях на 8–40% (рис. 4). Такое увеличение было достигнуто преимущественно за счет возрастания содержания хлорофилла б. Подобный эффект дозированного воздей-

ствия холодом, по всей видимости, объясняется именно процессом закалки прорастающих семян, отмеченным ранее на овощном перце [34], так как низкая температура вне диапазона закалки обычно приводит к снижению их содержания [35]. Эффект повышения содержания хлорофилла в варианте периодического сни-

жения температуры несет явный потенциал увеличения продуктивности растений новых для России культур. У вигны отмечено снижение содержания хлорофилла *b* в процессе закаливания, что, вероятнее всего, предполагает более высокие температуры в качестве оптимума для его прохождения. Соотношение хлорофиллов *a/b* у большинства культур как в контроле (при оптимальной температуре), так и после охлаждения было близким к 2,0. Лишь у ангурии это соотношение уменьшилось с 2,8 до 2,1. Содержание каротиноидов в режиме периодической гипотермии возросло у 3 куль-

тур из 5 – у момордики, ангурии и бенинказы – на 46; 3 и 8% соответственно. У кивано и спаржевой вигны содержание этого пигмента снизилось на 6%. Спаржевая вигна показала уменьшение содержания как аскорбиновой кислоты (на 36%), так и фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) – на 6–8% в варианте низкотемпературного воздействия на прорастающие семена. Возможно, учитывая ее повышенную теплопотребляемость, закаливающий диапазон температур и режим закаливания для нее нуждаются в уточнении дополнительным исследованием.

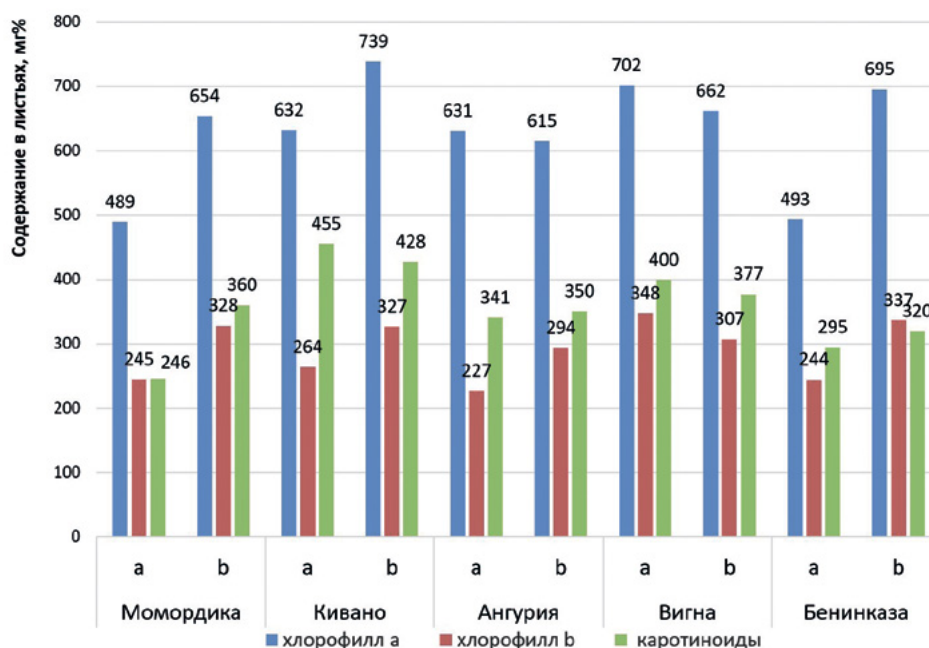


Рис. 4. Содержание хлорофиллов *a* и *b*, суммы каротиноидов (на сухую массу) в листьях растений момордики, кивано, ангурии, вигны и бенинказы после двух режимов 4-дневного воздействия на семена: а – 25°C в течение 24 ч; б – 10°C – 18 ч + 30°C – 6 ч

Fig. 4. The content of chlorophylls *a* and *b*, the number of carotenoids (per dry weight) in the leaves of Momordica, Kivano, Anguria, Cowpea and Benincasa plants after two modes of a 4-day exposure to seeds: a - 25°C for 24 hours; b - 10°C - 18h + 30°C - 6h

Таким образом, в результате периодического воздействия на семена режимом контрастных температур, совпадающим с циркадным изменением их хода в течение суток, т.е. закаливающих ночью и оптимальных днем, установлено значительное уменьшение поражения растений патогенными микромицетами. Одновременно с этим отмечен эффект закаливания в виде увеличения содержания хлорофиллов (*a* + *b*) в листьях всех 4 культур из семейства Cucurbitaceae, что может служить в дальней-

шем предпосылкой исследований с целью увеличения продуктивности растений. Снижение содержания аскорбиновой кислоты у 3 культур из 5 (за исключением момордики и ангурии), вероятно, обусловлено ее участием в реакциях с активными формами кислорода, образующимися при низкотемпературном воздействии на растения. Необходимы дальнейшие исследования термоадаптивного потенциала овощной вигны, нуждающейся в уточнении температуры и режима ее закаливания к низким температурам.

ВЫВОДЫ

1. Установлено снижение гибели всходов от комплекса патогенных микромицетов (*Fusarium* spp., *Pythium* Pringsh.) в условиях пониженной температуры после периодического четырехдневного воздействия на семена закаливающим режимом контрастных температур: низкой (10°C) и оптимальной (30°C) – у сеянцев ангурии – в 29 раз, кивано, бенинказы и вигны – в 2,5; 2 и 1,3 раза соответственно.

2. Периодическая гипотермия снизила содержание аскорбиновой кислоты в листьях у 3 культур из 5 – кивано, вигны, бенинказы –

соответственно на 17; 36 и 3% и повысила на 19% у момордики и ангурии.

3. В результате низкотемпературной обработки прорастающих семян у 4 культур из 5 (момордика, кивано, ангурия и бенинказа) отмечено увеличение содержания хлорофиллов (*a* + *b*) в листьях на 8–40%. Содержание каротиноидов в режиме периодической гипотермии возросло у 3 культур из 5 – у момордики, ангурии и бенинказы – на 46; 3 и 8% соответственно.

4. Овощная вигна – единственная культура в опыте, показавшая снижение содержания как аскорбиновой кислоты (на 36%), так и фотосинтетических пигментов (на 6–9%) в варианте закалки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Santana S.H., Torres S.B., Benedito C.P.* Biometria de frutos e sementes e germinação de melão-de-são-caetano // *Revol. bras. plantas med.* – 2013. – Vol. 15, N 2. – <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000200001>.
2. *Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds* / J. Barros, F. Angelotti, J. Santos, R. Silva, B. Dantas // *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.* – 2020. – Vol. 14. – P. 1–19. – DOI: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339.
3. *Особенности реакции растений на ежесуточные понижения температуры в зависимости от их интенсивности и продолжительности* / Т.Г. Шибаева, Е.Н. Икконен, Е.Г. Шерудило, А.Ф. Титов // *Труды Карельского научного центра РАН.* – 2018. – № 12. – С. 20–37. – DOI: 10.17076/eb884.
4. *Wu Y., Cai X., Tang Y.* Outcomes of low-temperature stress on biological alterations within potthos (*Epipremnum aureum*) leaves // *Life.* – 2022. – Vol. 12. – P. 1432. – <https://doi.org/10.3390/life12091432>.
5. *Wolk W.D., Herner R.C.* Chilling injury of germinating seeds and seedlings // *HortScience.* – 1982. – Vol. 17, N 2. – P. 169–173.
6. *Juurakko C.L., di Cenzo G.C., Walker V.K.* Cold acclimation and prospects for cold-resilient crops // *Plant Stress.* – 2021. – Vol. 2. – P. 100028. – <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100028>.
7. *Serrano M., Robertson A.E.* The Effect of cold stress on damping-off of soybean caused by *Pythium sylvaticum* // *Plant Dis.* – 2018. – Vol. 102, N 11. – P. 2194–2200. – DOI: 10.1094/PDIS-12-17-1963-RE.
8. *Integrated management of damping-off diseases. A review* / J.R. Lamichhane, D. Carolyne, A. Schwanck [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development.* – 2017. – Vol. 37. – P. 1–25. – DOI: 10.1007/s13593-017-0417-y.
9. *Власов Ю.И., Власова Э.А.* Защита овощных культур от болезней. – Л.: Лениздат, 1976. – 104 с.
10. *Comparative Efficacy of biological, botanical and chemical treatments against damping off disease of tomato in Chitwan* / L.K. Sharma, N. Sharma, B. Dhungana [et al.] // *Int. J. Soc. Sc. Manage.* – 2022. – Vol. 9 (2). – P. 67–74. – DOI: 10.3126/ijssm.v9i2.44168.
11. *Monitoring of soil-borne pathogens in the agricultural soils of the Pestrechinsky District (Tatarstan, Russia)* / K.O. Dzhabarova, P.A. Kuryntseva, P.Y. Galitskaya, S.Y. Selivanovskaya // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* – 2018. – Vol. 107. – P. 012056. – DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012056.
12. *Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Тамбовской области в 2017 году и прогноз развития вредных объектов в 2018 году.* – Тамбов: Россельхозцентр по Тамбовской области, 2018. – 111 с.
13. *Воронова А.Е.* Закалка семян и рассады теплолюбивых культур. – М.: Изд-во М-ва сел. хоз-ва СССР, 1953. – 20 с.

14. Генкель П.А., Кушниренко С.В. Холодостойкость растений и термические способы её повышения. – М.: Наука, 1966. – 223 с.
15. Еременко Л.Л. Особенности выращивания помидоров в Новосибирске // Выращивание помидоров на приусадебных участках. – Новосибирск: Кн. изд-во, 1959. – С. 3–83.
16. Дроздов С.Н., Титов А.Ф., Балагурова Н.И. Оценка термоадаптивного потенциала вегетирующих растений с помощью анализа их холодо- и теплоустойчивости // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: метод. руководство. – Л.: Изд-во ВИР, 1988. – С. 216–222.
17. Влияние пониженной температуры на устойчивость и функциональную активность фотосинтетического аппарата растений пшеницы / Ю.В. Венжик, А.Ф. Титов, В.В. Таланова [и др.] // Известия РАН. Серия биологическая. – 2011. – № 2. – С. 171–177.
18. Кросс-адаптация растений картофеля к действию низких температур и заражению картофельной цистообразующей нематодой / М.И. Сысоева, В.В. Лаврова, Е.М. Матвеева [и др.] // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 853–858.
19. Rejeb I.B., Pastor V.O.L., Mauch-Mani B. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms // Plants. – 2014. – Vol. 3 (4). – P. 458–475. – DOI: 10.3390/plants3040458.
20. Tronsmo A.M. Cold hardening – a physiological mechanism for resisting biotic as well as abiotic stress factors // Breeding Fodder Crops for Marginal Conditions. Developments in Plant Breeding. – Dordrecht: Springer. – 1994. – Vol. 2. – P. 215–221. – https://doi.org/10.1007/978-94-011-0966-6_32.
21. Low temperature induced defence gene expression in winter wheat in relation to resistance to snow moulds and other wheat diseases / D.A. Gaudet, Y. Wang, M. Frick [et al.] // Plant Sci. – 2011. – Vol. 180 (1). – P. 99–110. – DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.07.023.
22. Сысоева М.И., Лаврова В.В., Матвеева Е.М. Влияние кратковременных ежесуточных снижений температуры на содержание фотосинтетических пигментов в листьях зараженного нематодой картофеля // Труды Карельского научного центра РАН. Серия: Экспериментальная биология. – 2013. – № 3. – С. 194–199.
23. Фомев Ю.В. К методике интродукции теплолюбивых овощных растений в Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 4. – С. 104–118. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118>.
24. Interactions between plant immunity, temperature, light, and circadian rhythm / M.G. Kim, D.M. Macoy, J.Y. Lee, J.Y. Cha, W.Y. Kim // J. Plant Biochem. Physiol. – 2021. – Vol. 9, Is. 7, N 1000260. – P. 1–14.
25. Xu X., Yuan L., Xie Q. The circadian clock ticks in plant stress responses // Stress Biology. – 2022. – Vol. 2. – P. 15. – <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00040-7>.
26. Sharma M., Bhatt D. Clock–defence cross-talk // Molecular Plant Pathology. – 2015. – Vol. 16. – P. 210–218. – <https://doi.org/10.1111/mp.12178>.
27. Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H. Handbook of seed technology for genebanks. Vol. II: compendium of specific germination information and test recommendation. – Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1985. – 667 p.
28. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, А.А. Кириченко, Е.Ю. Мармулева, В.М. Гришин, О.А. Казакова, М.П. Селюк. – Барнаул: Графикс, 2017. – 210 с.
29. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений. – 3-е изд. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 420 с.
30. Кукушкина Т.А., Фомина Т.И. Содержание биологически активных веществ в листьях некоторых видов рода *Campanula* L. (Campanulaceae) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 38. – С. 122–133. – DOI: 10.17223/19988591/38/7.
31. Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в органах растения хризантемы овощной в условиях низкой положительной температуры / М.С. Гинс, В.К. Гинс, П.Ф. Кононков [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 4. – С. 22–26. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019422-26>.

32. *Enhanced tolerance to low temperature in tobacco (Nicotiana tabacum L.) sprayed with a low-temperature-resistant agent* / J. Yi, Y. Li, Z. Dai [et al.] // *Experimental Agriculture*. – 2015. – Vol. 51 (2). – P. 179–190. – DOI:10.1017/S0014479714000210.
33. *Effects of cold-hardening on chilling-induced photoinhibition of photosynthesis and on xanthophyll cycle pigments in sweet pepper* / P. Liu, Qw. Meng, Q. Zou [et al.] // *Photosynthetica*. – 2001. – Vol. 39. – P. 467–472. – <https://doi.org/10.1023/A:1015155032135>.
34. *Effect of Low Temperature on Chlorophyll Biosynthesis and Chloroplast Biogenesis of Rice Seedlings during Greening* / Y. Zhao, Q. Han, C. Ding, [et al.] // *Int J Mol Sci*. – 2020. – Vol. 1921 (4). – P. 1390. – DOI: 10.3390/ijms21041390; PMID: 32092859; PMCID: PMC7073065.

REFERENCES

1. Santana S.H., Torres S.B., Benedito C.P., Biometria de frutos e sementes e germinação de melão-de-são-caetano, *Revol. bras. plantas med.*, 2013, Vol. 15, No. 2, <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000200001>.
2. Barros J., Angelotti F., Santos J., Silva R., Dantas B., Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2020, Vol. 14, pp. 1–19, DOI: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339.
3. Shibaeva T.G., Ikkonen E.N., Sherudilo E.G., Titov A.F., *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, 2018, No. 12, pp. 20–37, DOI: 10.17076/eb884. (In Russ.).
4. Wu Y., Cai X., Tang Y. Outcomes of low-temperature stress on biological alterations within pothos (*Epipremnum aureum*) leaves, *Life*, 2022, Vol. 12, pp. 1432, <https://doi.org/10.3390/life12091432>.
5. Wolk W.D., Herner R.C., Chilling injury of germinating seeds and seedlings, *HortScience*, 1982, Vol. 17, No. 2, pp. 169–173.
6. Juurakko C.L., di Cenzo G.C., Walker V.K., Cold acclimation and prospects for cold-resilient crops, *Plant Stress*, 2021, Vol. 2, pp. 100028, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100028>.
7. Serrano M., Robertson A.E., The Effect of cold stress on damping-off of soybean caused by *Pythium sylvaticum*, *Plant Dis*, 2018, Vol. 102, No. 11, pp. 2194–2200, DOI: 10.1094/PDIS-12-17-1963-RE.
8. Lamichhane J.R., Carolyne D., Schwanck A., Robin M.-H., Sarthou J.-P., Cellier VOL., Messean A., Aubertot J.-N., Integrated management of damping-off diseases. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, Vol. 37, pp. 1–25, DOI: 10.1007/s13593-017-0417-y.
9. Vlasov Ju.I., Vlasova Je.A., *Zashhita ovoshhnyh kul'tur ot boleznej* (Protection of vegetable crops from diseases), Leningrad: Lenizdat, 1976, 104 p.
10. Sharma L.K., Sharma N., Dhungana B., Adhikari A., Shrestha S.M., Yadav D., Comparative Efficacy of biological, botanical and chemical treatments against damping off disease of tomato in Chitwan, *Int. J. Soc. Sci. Manage*, 2022, Vol. 9 (2). pp. 67–74, DOI: 10.3126/ijssm.v9i2.44168.
11. Dzhabarova K.O., Kuryntseva P.A., Galitskaya P.Y., Selivanovskaya S.Y., Monitoring of soil-borne pathogens in the agricultural soils of the Pestrechinsky District (Tatarstan, Russia), *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 107, pp. 012056, DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012056.
12. *Obzor fitosanitarnogo sostojanija posevov sel'skhozajstvennyh kul'tur v Tambovskoj oblasti v 2017 godu i prognoz razvitija vrednyh ob'ektov v 2018 godu*, (Review of the phytosanitary state of crops in the Tambov region in 2017 and the forecast for the development of harmful objects in 2018), Tambov: Rossel'hozcentr po Tambovskoj oblasti, 2018, 111 pp.
13. Voronova A.E., *Zakalka semjan i rassady teploljubivyh kul'tur* (Hardening of seeds and seedlings of heat-loving crops), Moscow: Izd-vo Min-va sel'skogo hozjajstva SSSR, 1953, 20 p.
14. Genkel' P.A., Kushnirenko S.V., *Holodostojkost' rastenij i termicheskie sposoby ego povyshenija* (Cold hardiness of plants and thermal methods for its improvement), Moscow: Nauka, 1966, 223 pp.
15. Eremenko L.L., *Vyrashhivanie pomidorov na priusadebnyh uchastkah* (Growing tomatoes in home gardens), Novosibirsk: Novosibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1959, pp. 3–83. (In Russ.)
16. Drozdov S.N., Titov A.F., Balagurova N.I., *Diagnosis of plant resistance to stress* (Diagnostics of plant resistance to stress), Methodological guide, Leningrad, Izdatel'stvo VIR, 1988, pp. 216–222. (In Russ.).

17. Venzhik Ju.V., Titov A.F., Talanova V.V., Frolova S.A., Talanov A.V., Nazarkina E.A., *Izvestija RAN. Serija biologicheskaja*, 2011, No. 2, P. 171–177. (In Russ.).
18. Sysoeva M. ., Lavrova V.V., Matveeva E. M., Sherudilo E.G., Topchieva L.V., *Fiziologija rastenij*, 2011, Vol. 58, No. 6, pp. 853–858. (In Russ.).
19. Rejeb I.B., Pastor V.O.L., Mauch-Mani B., Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms, *Plants*, 2014, Vol. 3 (4), pp. 458–475 DOI: 10.3390/plants3040458.
20. Tronsmo A.M., Cold hardening — a physiological mechanism for resisting biotic as well as abiotic stress factors, *Breeding Fodder Crops for Marginal Conditions. Developments in Plant Breeding*, Dordrecht: Springer, 1994, Vol. 2, pp. 215–221. — https://doi.org/10.1007/978-94-011-0966-6_32.
21. Gaudet D.A., Wang Y., Frick M., Puchalski B., Penniket C., Ouellet T., Robert L., Singh J., Laroché A., Low temperature induced defence gene expression in winter wheat in relation to resistance to snow moulds and other wheat diseases, *Plant Sci.*, 2011, Vol. 180, No. 1, pp. 99–110 DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.07.023.
22. Sysoeva M.I., Lavrova V.V., Matveeva E.M., *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN, Serija Jeksperimental'naja biologija*, 2013, № 3, pp. 194–199. (In Russ.).
23. Fotev Y.V., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2018, No. 4, pp. 104–118, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118>. (In Russ.).
24. Kim M.G., Macoy D.M., Lee J.Y., Cha J.Y., Kim W.Y., Interactions between plant immunity, temperature, light, and circadian rhythm, *J. Plant Biochem. Physiol.*, 2021, Vol. 9, Is. 7, No. 1000260, pp. 1–4.
25. Xu X., Yuan L., Xie Q. The circadian clock ticks in plant stress responses, *Stress Biology*, 2022, Vol. 2, pp. 15, <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00040-7>.
26. Sharma M., Bhatt D., Clock–defence cross-talk, *Molecular Plant Pathology*, 2015, Vol. 16, pp. 210–218, <https://doi.org/10.1111/mpp.12178>.
27. Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H. Handbook of seed technology for genebanks., Vol. II: compendium of specific germination information and test recommendation, Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1985, 667 p.
28. Chulkina V.A., Toropova E.Ju., Stecov G.Ja., Kirichenko A.A., Marmuleva E.Ju., Grishin V.M., Kazakova O.A., Seljuk M.P., *Fitosanitarnaja diagnostika agrojekosistem (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems)*, Barnaul: Grafiks, 2017, 210 p.
29. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Jarosh N.P., *Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij (Methods of biochemical research of plants)*, Leningrad: Agropromizdat, 1987, 420 p.
30. Kukushkina T.A., Fomina T.I., *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologija*, 2017, No. 38, pp. 122–133, DOI: 10.17223/19988591/38/7. (In Russ.).
31. Gins M.S., Gins V.K., Kononkov P.F., Bajkov A.A., Pivovarov V.F., Fotev Y.V., Gins E.M., *Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka*, 2019, No. 4, pp. 22–26, DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019422-26>. (In Russ.).
32. Yi J., Li Y., Dai Z., Jia Z., Pu, W., Sun Z., Wang Y., Shen H., Enhanced tolerance to low temperature in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) sprayed with a low-temperature-resistant agent, *Experimental Agriculture*, 2015, Vol. 51, No. 2, pp. 179–190, DOI: 10.1017/S0014479714000210.
33. Liu P., Meng Qw., Zou Q., Zhao S., Liu Q., Effects of cold-hardening on chilling-induced photoinhibition of photosynthesis and on xanthophyll cycle pigments in sweet pepper, *Photosynthetica*, 2001, Vol. 39, pp. 467–472, <https://doi.org/10.1023/A:1015155032135>.
34. Zhao Y., Han Q., Ding C., Huang Y., Liao J., Chen T., Feng S., Zhou L., Zhang Z., Chen Y., Yuan S., Yuan M., Effect of Low Temperature on Chlorophyll Biosynthesis and Chloroplast Biogenesis of Rice Seedlings during Greening, *Int J Mol Sci.*, 2020, Vol. 1921 (4), pp. 1390, DOI: 10.3390/ijms21041390.

**НОВЫЕ БИОУДОБРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВЫХ
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР****Т.К. Шешегова**, доктор биологических наук**Л.М. Щеклеина**, кандидат сельскохозяйственных наук**Г.А. Серкова**, аспирант*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия***E-mail:** immunitet@fanc-sv.ru

Ключевые слова: пшеница, ячмень, овес, биоудобрения, грибные болезни, биологическая эффективность, урожайность.

Реферат. Исследования выполнены в 2021–2022 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. В статье приведены данные по урожайности и фитосанитарному состоянию посевов яровой пшеницы Награда, ячменя Боярин и овса Кировский 2, в технологии возделывания которых применены новые биоудобрения (Азолен, Азотовит, Фосфатовит, Калийвит, Нитрозлак) и биопрепараты (Псевдобактерин, Флавобактерин, Алирин), в сравнении с контролем (без обработки) и химическим фунгицидом Ламадор. Средства химизации в виде жидкости использовали для обработки семян и посевов в фазы кушения и колошения. Площадь делянок 2,7 м², повторность четырехкратная. Выявлено, что в защите от корневых гнилей эффективным для всех культур является протравливание семян фунгицидом Ламадор, обработка посевов Азотовитом в фазу кушения и Фосфатовитом – в фазу колошения. Однако в зависимости от культуры отмечали избирательный характер действия препаратов на распространение и развитие болезни. На овсе лучшую защиту обеспечила обработка посевов в фазу колошения препаратом Калийвит (биологическая эффективность 70,4 и 73,0%), на ячмене – обработка семян Нитрозлаком (40,4 и 60,5%), на пшенице – обработка в фазу кушения Фосфатовитом (61,9 и 58,8%). Препараты Калийвит (обработка посевов) и Нитрозлак (обработка семян) в наибольшей для опыта степени снижали развитие септориоза, темно-бурой, сетчатой и красно-бурой пятнистости (биологическая эффективность от 12,8 до 37,5%). Наиболее высокая урожайность получена в вариантах с обработкой посевов препаратами Азолен, Азотовит, Фосфатовит и обработкой семян Калийвитом, которая у пшеницы составила 3,26–3,58 т/га, ячменя – 2,85–3,33, овса – 3,88–4,31 т/га. Прибавка урожайности обусловлена более высокой сохранностью растений к уборке и крупностью зерна, о чем свидетельствует положительная связь между урожайностью и сохранностью ($r = 0,30–0,50$), урожайностью и массой 1000 семян ($r = 0,18–0,43$).

**NEW BIOFERTILIZERS IN THE TECHNOLOGY OF CULTURING SPRING GRAIN
CROPS****T.K. Sheshhegova**, Doctor of Biological Sciences**L.M. Shchekleina**, PhD in Agricultural Sciences**G.A. Serkova**, PhD student*Federal Agrarian Research Center of the North East named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***E-mail:** immunitet@fanc-sv.ru

Keywords: wheat, barley, oats, bio fertilisers, fungal diseases, biological efficiency, productivity.

Abstract. The studies were conducted in 2021–2022 at FGBNU FARC of the North East. The article presents data on the yield and phytosanitary condition of crops of spring wheat Nagrada, barley Boyarin and oats Kirovsky 2, in the cultivation technology of which new bio fertilisers (Azolen, Azotovit, Phosphatovit, Kaliyvit, Nitrozlak) and biological products (Pseudobacterin, Flavobacterin, Alirin) are used, in compared with the control (no treatment) and the chemical fungicide Lamador. Chemicalization agents in liquid were used to treat seeds and crops in the tillering and heading phases. The area of the plots is 2.7 m², and the repetition is fourfold. It was revealed that in protection against root rot, seed dressing with Lamador fungicide, treatment of crops with Azotovit in the tillering phase, and Phosphatovit in the heading phase are effective for all crops. However, depending on the culture, the selective nature of the effect of drugs on the spread and development of the disease was noted. On oats, the best protection was provided by the treatment of crops in the heading phase with Kaliyvit (biological

efficiency 70.4% and 73.0%), on barley - treatment of seeds with Nitrozlak (40.4 and 60.5%), on wheat - treatment in the tillering phase Phosphatovit (61.9 and 58.8%). Preparations Kaliyvit (crop treatment) and Nitrozlak (seed treatment) reduced the development of septoria, dark brown, net and red-brown spotting to the greatest extent for the experiment (biological efficiency from 12.8 to 37.5%). The highest yield was obtained in the variants with the treatment of crops with Azolen, Azotovit, and Phosphatovit and the treatment of seeds with Kaliyvit, which amounted to 3.26–3.58 t/ha for wheat, 2.85–3.33 for barley, and 3.88 for oats. -4.31 t/ha. The yield increase is due to the higher survival of plants for harvesting and grain size, as evidenced by the positive relationship between yield and safety ($r = 0.30-0.50$), yield and weight of 1000 seeds ($r = 0.18-0.43$).

Специфичность агроклиматических условий Кировской области заключается в повышенной кислотности почв (рН преимущественно 5,0) и их низком естественном плодородии и биологической активности [1]. Эти факторы снижают адаптивность и резистентность сельскохозяйственных растений к комплексу стрессоров биотической и абиотической природы. Поскольку устойчивость к неспецифическим инфекциям определяется не столько генотипом, сколько его физиологическим состоянием и средовыми факторами, то особое внимание нужно уделять растению-хозяину с точки зрения улучшения условий выращивания культуры [2].

Сельскохозяйственное производство Кировской области крайне заинтересовано в оптимизации технологических процессов, поиске экологически безопасных и наукоемких элементов технологий возделывания яровых зерновых культур: пшеницы, ячменя, овса. В последнее время активизируются исследования по обеспечению коммерческих перспектив их урожайности и болезнеустойчивости [3]. Современная концепция ресурсосбережения, реализации продукционного потенциала сорта и получения биологически полноценных продуктов питания отдаст предпочтение стратегии использования биоудобрений и биопрепаратов с фиторегуляторными, фунгицидными и иммуномодулирующими свойствами [4]. В качестве биоагентов таких пестицидов и агрохимикатов выступают биологические фиксаторы азота, калия и фосфора, эндо- и эктомикоризные грибы, цианобактерии, ризобактерии и другие полезные микроскопические организмы [5]. Биоудобрения сами по себе не исключают минеральные удобрения, а повышают эффективность их использования, снижают количество химикатов на полях и в продукции. В этой связи они особенно актуальны во многих регионах РФ из-за недостаточного применения дорогостоящих минеральных удобрений и восполнения почвенных запасов элементами питания [6]. Их применение приводит к улучшению питания, роста и развития растений, позволяет в полной мере раскрыть генетический потенциал в реализации адаптивности и про-

дуктивности. В агротехнологиях биоудобрения и биопрепараты используются, как правило, для обработки семенного материала и посевов в разные фазы развития [7–9]. Далее изучаются особенности онтогенеза растений в этих условиях, характер межорганизменных взаимодействий с аборигенной семенной и почвенной микрофлорой, урожайность и показатели качества продукции. В случае положительного результата биоудобрения и биопрепараты могут стать достойной альтернативой химическим пестицидам и агрохимикатам в технологиях возделывания яровых зерновых культур и позволяют осуществить переход от современного «химического» земледелия к конструированию агробиоценозов на биологической основе.

Цель исследований – изучить влияние новых биоудобрений на фитосанитарное состояние посевов, урожайность и качество семян пшеницы, ячменя и овса; выявить наиболее эффективные биоудобрения для сортовых агротехнологий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в ФГБГНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2021–2022 гг. Материалом являлись химический фунгицид Ламадор, КС (действующее вещество протиконазол + тебуконазол), биофунгициды: Псевдобактерин, Ж (*Pseudomonas aureofaciens*, BS 1393), Флавобактерин, Ж (*Flavobacterium* sp. L-30), Алирин, Ж (*Bacillus subtilis* штамм В-10 ВИЗР), микробиологические препараты: Азолен, Ж (*Azotobacter vinelandii*, ИБ-4), Азотовит, Ж (*Azotobacter croococcum*), Фосфатовит, Ж (*Bacillus mucilaginosus*, Bac 10), Калийвит, Ж (*Paebacillus mucilaginosus*), Нитрозлак, Ж (*Agrobacterium radiobacter* + *Bacillus megaterium*). Нормы расхода препаратов взяты в соответствии со списком разрешенных к применению пестицидов и агрохимикатов [10]. Объектом изучения были новые сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока: овес Кировский 2, ячмень Боярин и яровая пшеница Награда.

Протравитель семян Ламадор эффективен против грибной микрофлоры и обеспечивает защиту от видов головни, корневых инфекций, гельминтоспориозов, септориоза и других болезней.

Биопрепараты: Алирин, Псевдобактерин, Флавобактерин характеризуются не только фунгицидными и иммуномодулирующими свойствами, но и фиторегуляторными, обеспечивая хорошее развитие вегетативной массы и корневой системы растений, устойчивость к полеганию и улучшение продукционного процесса; способствуют экологичности производства зерна.

Биоудобрения: Азолен, Азотовит, Фосфатовит, Калийвит, Нитрозлак – за счет лучшего использования растениями минеральных и органических удобрений обеспечивают их дополнительными элементами питания и участвуют в формировании плодородного слоя почвы, что положительно влияет на онтогенез растений и формирование продуктивности; иммуномодулирующие и фунгицидные свойства способствуют подавлению некоторых грибных и бактериальных болезней.

Изучение агрохимикатов проводили в полевом опыте на делянках площадью 2,7 м² в четырехкратной повторности. Норма высева семян – 6 млн всхожих зерен на 1 га. Почва в опыте типичная для Кировской области – дерново-подзолистая среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 2,43%, подвижного фосфора – 360 мг/кг, обменного калия – 210 мг/кг почвы, pH солевой вытяжки – 5,7. Технология возделывания яровых зерновых культур – общепринятая для Волго-Вятского региона: посев по чистому пару, отвальная вспашка (ПЛН-3-35), культивация (КПС-4), боронование (СГ-8), прикатывание (КЗК-6). В течение вегетации растений проводили рыхление междурядий и дорожек с целью аэрации почвы и удаления сорняков.

Закладку полевых опытов проводили согласно «Методике полевого опыта» [11]. Учет пятнистостей грибной этиологии (септориоз, сетчатая, темно-бурая, красно-бурая, фузариоз) проводили однократно – в период наибольшего их развития; корневых гнилей – 3 раза за вегетацию, приурочивая к фазам «выход в трубку», «колошение (выметывание)», «восковая спелость». Далее рассчитывали относительный показатель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни) и по скорости нарастания инфекции анализировали характер растительно-микробных взаимодействий в вариантах опыта [12]. При оценке поражённости болезнями пользова-

лись шкалами Е.Е. Saari, J.M. Prescott [13], М.Ф. Григорьева [14], Н.А. Родиной, З.Г. Ефремовой [15], О.С. Афанасенко, О.С. Петрова [16], О.С. Афанасенко [17]. Определение сортовых и посевных качеств семян сельскохозяйственных культур в соответствии с ГОСТ: 52325-2005 [18].

Погодные условия в 2021 г. характеризовались недостатком влаги в период вегетации (ГТК 1,23, сумма эффективных температур 1207,2°C); в 2022 г. условия для роста и развития растений были в целом благоприятными (ГТК 2,20, сумма эффективных температур 938,9°C).

Статистическая обработка проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07) и программы Microsoft Office Excel 2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе полевых и лабораторных исследований получены свидетельства о перспективности использования некоторых биоудобрений и биопрепаратов в технологии возделывания яровых зерновых культур. При этом прослеживается явный избирательный характер их действия на фитосанитарное состояние посевов и продукционный процесс тест-сортов. Несмотря на относительно невысокое развитие листовых пятнистостей в годы исследований (не более 18,0%), отдельные средства химизации обеспечивали существенную защиту от грибной инфекции. Наиболее отзывчивым на применение изучаемых препаратов был ячмень: в 15 вариантах опыта отмечали достоверное (при $P \geq 0,05$) снижение сетчатой пятнистости, а в 6 – темно-бурой. Существенное снижение септориоза на яровой пшенице отмечено в 5 вариантах; красно-бурой пятнистости на овсе – в 2 вариантах, а фузариоза метелки – в 6. На всех культурах наиболее эффективными в контроле всех листовых болезней были биоудобрения Калийвит и Нитрозлак. Обнаружено также, что фунгитоксичность Калийвита сильнее проявляется при обработке посевов, как в фазу кущения, так и колошения (выметывания), а Нитрозолака – при обработке семян. Биологическая эффективность Калийвита в защите от септориоза в этих вариантах была наибольшей для опыта и составила 12,8–29,5%, от сетчатой пятнистости – 25,0–37,5, темно-бурой – 22,2, красно-бурой – 21,3, фузариоза

метелки – 40,0%; Нитрозлака – 23,1; 37,5; 22,2; 21,3 и 36,0% соответственно.

Сезонный мониторинг корневых гнилей показал, что достоверное снижение распро-

странения и развития болезни у зерновых культур отмечено в шести (ячмень), семи (пшеница) и восьми (овес) опытных вариантах, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Препараты, эффективные в защите зерновых культур от корневых гнилей
Preparations effective in protecting crops from root rot

Препарат / способ обработки	Поражение*			Развитие болезни*		
	%	ПКРБ	Биологическая эффективность, %	%	ПКРБ	Биологическая эффективность, %
<i>Овес Кировский 2</i>						
Контроль	29,1	1091		7,6	276	
Ламадор – ОС	17,0	444	41,6	4,2	111	44,7
Азолен – ОПкол	13,8	266	52,6	4,7	87	38,1
Азотовит – ОПкущ	17,1	356	41,0	4,3	90	44,0
Фосфатовит–ОПкущ	15,6	389	46,4	5,8	123	23,7
Фосфатовит – ОПкол	17,0	308	41,6	4,2	83	44,7
Калийвит – ОС	14,4	603	50,5	3,5	152	53,9
Калийвит – ОПкущ	14,5	291	50,3	3,6	73	53,5
Калийвит – ОПкол	8,6	218	70,4	2,1	53	73,0
НСР ₀₅	12,7			3,8		
<i>Ячмень Боярин</i>						
Контроль	37,1	2069		15,7	1647	
Ламадор – ОС	33,5	660	11,0	10,0	318	31,6
Азолен – ОПкущ	27,0	785	27,2	8,7	242	44,6
Азотовит – ОПкущ	27,1	664	27,0	8,1	195	48,4
Фосфатовит– ОПкол	31,3	709	15,6	8,5	197	45,8
Калийвит – ОПкол	25,0	606	32,6	8,3	180	47,1
Нитрозлак – ОС	22,0	613	40,4	6,2	471	60,5
НСР ₀₅	13,5			5,5		
<i>Пшеница Награда</i>						
Контроль	30,7	1545		8,5	485	
Ламадор – ОС	14,0	515	52,1	4,7	147	44,7
Азотовит – ОПкущ	22,7	592	26,0	5,7	147	32,9
Фосфатовит – ПС	17,0	956	44,6	5,0	275	41,2
Фосфатовит–ОПкущ	11,7	269	61,9	3,5	75	58,8
Фосфатовит – ОПкол	22,2	494	27,8	5,3	119	37,6
Калийвит – ОС	17,0	871	44,6	4,1	290	51,8
Нитрозлак - ОС	17,8	512	42,0	4,5	130	47,0
НСР ₀₅	11,5			3,8		

Примечание. Здесь и в табл. 2: ОС – обработка семян; ОПкущ – обработка посевов в фазу кущения; ОПкол – обработка посевов в фазу колошения.

* Данные последнего учета болезни.

Note. Here and in Table. 2: OS - seed treatment; OPkushch - processing crops in tillering; OPkol - processing crops in the heading phase.

* Data of the last registration of the disease.

Среди них следует отметить варианты, эффективные для всех культур: протравливание семян химическим фунгицидом Ламадор, обработка посевов Азотовитом в фазу кущения и Фосфатовитом – в фазу колошения. Судя по показателю ПКРБ, у овса и ячменя медленное нарастание инфекции было при обработке посевов Калийвитом в фазу колошения (ПКРБ = 218 и 606), пшеницы – при обработке Фосфатовитом в фазу кущения (ПКРБ = 269). В этих же вариантах распространение и развитие болезни было минимальным для опыта.

Обращает на себя внимание наиболее высокая биологическая эффективность биоудобрений: Калийвита на овсе (50,3–70,4 и 53,5–73,0%) и Фосфатовита (27,8–61,9 и 37,6–58,8%) – на пшенице в контроле корневых гнилей при всех способах применения. Можно полагать, что интродуцированные в фитоценоз вместе с биоудобрением штаммы *Bacillus* spp. обладают пролонгированным фунгицидным действием по отношению к аборигенным почвенным фитопатогенам. В исследованиях Т.В. Ivanchenko и G.I. Rezanova [19] Фосфатовит повышал не только выносливость к снежной плесени, но и в целом улучшал перезимовку растений озимой пшеницы. На ячмене, как более восприимчивой к корневым инфекциям культуре, значимый защитный эффект проявился при обработке посевов этими биоудобрениями в фазу колошения. Использование агрохимиката Нитрозлак, содержащего бинарную смесь микроорганиз-

мов, в защите от корневых и листовых микозов наиболее эффективно при обработке семян.

Безусловно, одним из основных критериев эффективности микробиологических препаратов является урожайность зерна. В наших исследованиях достоверное превышение признака над контролем получено в 6 опытных вариантах пшеницы, 9 – ячменя и 10 – овса (табл. 2). На всех культурах наиболее высокая урожайность получена в вариантах при обработке посевов препаратами Азолен, Азотовит, Фосфатовит и обработке семян Калийвитом, которая у пшеницы составила 3,26–3,58 т/га, ячменя – 2,85–3,33, овса – 3,88–4,31 т/га. При этом максимальный для каждой культуры уровень урожайности получен при обработке посевов биоудобрением Азотовит в фазу кущения и/или колошения растений. Аналогичные результаты получены при использовании Азотовита и Фосфатовита на озимой пшенице [18]. Прибавка урожайности в наших исследованиях обусловлена преимущественно более высокой сохранностью растений к уборке и крупностью зерна. Выявлена также слабая положительная связь между урожайностью культур и этими признаками, которая составила $r = 0,30–0,50$ (сохранность) и $r = 0,18–0,43$ (масса 1000 семян). Можно полагать, что снижение химического прессинга за счет использования биоагентов и иммуномодуляторов положительно влияет на онтогенез и гомеостаз растений и продукционный процесс тест-культур.

Таблица 2

Лучшие варианты применения новых биоудобрений и биопрепаратов на посевах зерновых культур
The best options for the use of new biofertilisers and biological products on crops of grain crops

Препарат / способ обработки	Урожайность, т/га	Сохранность к уборке, %	Натурная масса, г/л	Масса 1000 семян, г
1	2	3	4	5
<i>Овес Кировский 2</i>				
Контроль	2,81	83,4	537	35,8
Псевдобактерин – ОС	3,98	82,5	528	37,6
Азолен – ОС	4,11	83,2	540	36,3
Азолен – ОПкущ	4,29	85,9	531	37,4
Азолен – ОПкол	3,88	90,1	538	35,9
Азотовит – ОПкущ	4,31	96,0	540	35,9
Азотовит – ОПкол	4,23	91,2	532	36,4
Фосфатовит – ОС	3,71	86,5	549	36,4
Фосфатовит – ОПкол	4,31	86,6	541	35,6
Калийвит – ОС	4,21	86,0	537	36,9
Нитрозлак – ОПкущ	4,21	77,6	538	35,9
НСР ₀₅	1,20	6,8	9,8	1,3

1	2	3	4	5
<i>Ячмень Боярин</i>				
Контроль	1,88	71,0	709	46,3
Ламадор – ОС	3,19	92,1	718	48,4
Азолен – ОС	3,00	73,4	715	45,7
Азолен – ОПкущ	2,85	74,5	716	45,4
Азолен – ОПкол	2,97	84,2	697	48,7
Азотовит – ОПкущ	3,20	86,5	712	46,4
Азотовит – ОПкол	3,33	82,7	714	48,3
Фосфатовит – ОПкол	3,17	79,3	695	43,3
Калийвит – ОС	3,11	74,6	699	48,0
Нитрозлак – ОПкущ	3,08	84,0	705	47,9
НСР ₀₅	1,00	10,5	8,0	1,9
<i>Пшеница Награда</i>				
Контроль	2,67	73,1	834	37,7
Азолен – ОПкущ	3,45	78,8	843	38,6
Азолен – ОПкол	3,26	77,4	842	39,2
Азотовит – ОПкущ	3,58	89,4	836	38,0
Азотовит – ОПкол	3,58	80,9	846	40,0
Фосфатовит – ОПкол	3,36	81,8	832	37,4
Калийвит – ОС	3,26	87,6	842	39,0
НСР ₀₅	0,70	6,9	6,0	1,8

Слабая отрицательная связь выявлена между урожайностью и поражением корневыми гнилями: $r = -0,21$ (пшеница), $r = -0,36$ (ячмень) и $r = -0,18$ (овес). При этом следует отметить вариант обработки посевов Азотовитом, при котором у всех культур отмечали наилучшее иммунологическое состояние корневой системы растений и высокую для опыта урожайность. Влияние листовых болезней на признак в целом незначимо вследствие невысокого их развития в годы исследований.

ВЫВОДЫ

1. В защите посевов овса от корневых гнилей наиболее эффективна обработка посевов в фазу выметывания биоудобрением

Калийвит, пшеницы – обработка в фазу кущения Фосфатовитом, ячменя – обработка семян Нитрозлаком.

2. Снижение развития листовых пятнистостей грибной этиологии обеспечивает обработка семян Нитрозлаком и посевов Калийвитом. Наиболее высокий для каждой культуры уровень урожайности получен при обработке посевов биоудобрением Азотовит в фазы кущения и/или колошения.

3. Улучшение фитосанитарного состояния посевов и прибавка урожайности в некоторых вариантах обосновывает целесообразность включения новых биоудобрений в технологии возделывания яровой пшеницы, ячменя и овса в регионах со сходными агроклиматическими условиями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодкин В.Н., Бусыгин А.С. Плодородие пахотных Кировской области почв // Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 16–18.
2. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 3. – С. 6–13. – DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013.

3. Шешегова Т.К., Щенникова И.Н. Источники устойчивости ячменя к гельминтоспориозным болезням и их использование в ФАНЦ Северо-Востока // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2. – С. 76–83. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-76-83; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43833019>.
4. Зыков С.А. Биопрепараты в современном земледелии // АгроФорум. – 2019. – № 3. – С. 21–27.
5. Шабает В.П. Бактерии могут заменить минеральные удобрения [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.argo-shop.com.ua/article-7780.html?ysclid=ldyb6k7is172067961> (дата обращения: 20.01.2023).
6. Федоренко В.Ф., Мишуков Н.П., Коноваленко Л.Ю. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения // Аналитический обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 124 с.
7. Черемисин А.И., Кумпан В.Н. Применение биопрепаратов комплексного действия и биоудобрений в оригинальном семеноводстве картофеля // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (25). – С. 28–34.
8. Сулейменов Б.У., Колесникова Л.И. Эффективность применения биоудобрения в повышении продуктивности зерновых и зернобобовых культур на светло-каштановых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 73–82.
9. Амиров М.Ф., Толокнов Д.И. Влияние минеральных удобрений, обработки семян и посевов на продуктивность яровой пшеницы в условиях Предкамья Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 2 (66). – С. 8–13. – DOI: 10.12737/2073-0462-2022-6-11.
10. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. 1: Пестициды. – М.: М-во сел. хоз-ва РФ, 2021. – 803 с.
11. Доспехов В.А. Методика полевого опыта. – М., 1985. – 415 с.
12. Johnson D.F., Wilcoxson R.D. A table of areas under disease progress curves // Technical Bulletin, Texas Agriculture Experiment Station. Texas. – 1981. – Vol. 137. – P. 2–10.
13. Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat disease // Plant Disease Reporter. – 1975. – Vol. 59 (5). – P. 377–380.
14. Григорьев М.Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. – Л., 1976. – 60 с.
15. Родина Н.А., Ефремова З.Г. Методические рекомендации по селекции ячменя на устойчивость к болезням и их применение в НИИСХ Северо-Востока. – М., 1986. – 79 с.
16. Петрова О.С., Афанасенко О.С. Методические рекомендации по диагностике и методам оценки устойчивости овса к возбудителям пятнистостей листьев. – СПб.: ВИЗР, 2003. – 27 с.
17. Афанасенко О.С. Устойчивость ячменя к симбиотическим патогенам // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб.: ВИР, 2005. – С. 592–609.
18. ГОСТ 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – URL: [gost_r_52325-2005.pdf](https://gost.r_52325-2005.pdf) - Яндекс. Документы (yandex.ru) (дата обращения: 04.10.2022).
19. Ivanchenko T.V., Rezanova G.I. Prospects of silicon auxin biostimulation of grain crops. *nauchno-agronomicheskii zhurnal scientific* // Agronomy Journal. – 2016. – T. 1, N 98. – P. 29.

REFERENCES

1. Molodkin V.N., Busygin A.S., *Zemledelie*, 2016, No. 8, pp. 16–18. (In Russ.)
2. Sheshhegova T.K., Shchekleina L.M., *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2022, No. 3, pp. 6–13, DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013. (In Russ.)
3. Sheshhegova T.K., Shchennikova I.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2, pp. 76–83, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-76-83, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43833019>. (In Russ.)
4. Zykov S.A., *AgroForum*, 2019, No. 3, pp. 21–27. (In Russ.)

5. Shabaev V.P., <https://www.argo-shop.com.ua/article-7780.html?ysclid=ldy6p6k7is172067961> (data obrashcheniya 20.01.2023).
6. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Konovalenko L.YU., *Sovremennye tekhnologii proizvodstva pesticidov i agrohimiKatov biologicheskogo proiskhozhdeniya* (Modern technologies for the production of pesticides and agrochemicals of biological origin), Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018, 124 p.
7. Cheremisin A.I., Kumpan V.N., *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, No. 1 (25), pp. 28–34. (In Russ.)
8. Sulejmenov B.U., Kolesnikova L.I., *Pochvovedenie i agrohimiya*, 2020, No. 3, pp. 73–82. (In Russ.)
9. Amirov M.F., Toloknov D.I., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, Vol. 17, No. 2 (66), pp. 8–13, DOI: 10.12737/2073-0462-2022-6-11. (In Russ.)
10. *Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimiKatov, razreshennyh k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federacii* (State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation), CHast' 1: Pesticidy, Moscow: Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, 2021, 803 p.
11. Dospekhov V.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow, 1985, 415 p.
12. Johnson D.F., Wilcoxson R.D., A table of areas under disease progress curves, *Technical Bulletin, Texas Agriculture Experiment Station*, Texas, 1981, Vol. 137, pp. 2–10.
13. Saari E.E., Prescott J.M., A scale for appraising the foliar intensity of wheat disease, *Plant Disease Reporter*, 1975, Vol. 59 (5), P. 377–380.
14. Grigor'ev M.F., *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu ustojchivosti zernovyh kul'tur k kornevym gnilyam* (Guidelines for the study of the resistance of cereal crops to root rot), Leningrad, 1976, 60 p.
15. Rodina N.A., Efremova Z.G., *Metodicheskie rekomendacii po selekcii yachmenya na ustojchivost' k bolezniam i ih primenenie v NIISKH Severo-Vostoka* (Guidelines for barley breeding for disease resistance and their application in the Research Institute of Agriculture of the North-East), Moscow, 1986, 79 p.
16. Petrova O.S., Afanasenko O.S., *Metodicheskie rekomendacii po diagnostike i metodam ocenki ustojchivosti ovsa k vozbuditelyam pyatnistostej list'ev* (Guidelines for the diagnosis and methods for assessing the resistance of oats to leaf spot pathogens), Sankt-Peterburg: VIZR, 2003, 27 p.
17. Afanasenko O.S., *Identifitsirovannyj genofond rastenij i selekciya*, Sankt-Peterburg: VIR, 2005, pp. 592–609. (In Russ.)
18. GOST 52325-2005. *Semena sel'skohozyajstvennyh rastenij. Sortovye i posevnye kachestva. Obshchie tekhnicheskie usloviya*: URL: [gost_r_52325-2005.pdf](https://yandex.ru/gost_r_52325-2005.pdf) - YAndeks.Dokumenty (yandex.ru) (data obrashcheniya 04.10.2022).
19. Ivanchenko T.V., Rezanova G.I., *Agronomy Journal*, 2016, T. 1, No. 98, pp. 29. (In Russ.)

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

DOI 10.31677/2072-6724-2023-67-2-133-141
УДК 636.082.2

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.И. Абрамова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Н.В. Зенкова, научный сотрудник

М.О. Селимян, научный сотрудник

Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

E-mail: sznii@list.ru

Ключевые слова: тенденция, популяция, племенная работа, породы: черно-пестрая, айрширская, холмогорская, ярославская, надой, МДЖ, МДБ.

Реферат. Тенденции развития молочных пород крупного рогатого скота в Вологодской области определены на основе динамики количественных и качественных признаков за период с 2015 по 2021 г. По результатам исследований, с 2016 г. по 2020 г. наблюдалась стабилизация численности пробонитированного поголовья животных в области, которое составило 166 тыс. голов, в том числе коров 76–77 тыс. голов. В 2021 г. отмечается сокращение общей численности поголовья на 3,0 тыс. голов (до 163 тыс. голов), в том числе коров – на 1,0 тыс. голов (до 75 тыс. голов). В племенных заводах за анализируемый период численность животных увеличилась на 8,27 тыс. голов и составила 43,01 тыс. голов, в том числе коров – на 3,56 тыс. голов (до 20,49 тыс. гол). В Вологодской области основное поголовье молочных пород крупного рогатого скота составляют животные черно-пестрой породы – 68,46 тыс. голов, остальные породы – от 4,47 (голштинская) до 10,62 тыс. голов (холмогорская). За анализируемый период установлено увеличение надоя коров по голштинской породе на 1515 кг молока (до 9804 кг), холмогорской – на 2147 кг (до 7548 кг). По остальным породам выявлено увеличение надоя до 2020 г., а к 2021 г. снижение на 91 кг молока по черно-пестрой породе (до 8788 кг), на 126 кг – по ярославской породе (до 6609 кг) и на 222 кг – по айрширской породе. В Вологодской области две породы обладают высокими показателями жирномолочности: ярославская – от 4,06 до 4,31% и айрширская – от 4,19 до 4,27%. По черно-пестрой породе показатели массовой доли жира в молоке коров также находятся на высоком уровне – от 3,83 до 3,90%. Наиболее высоким показателем массовой доли белка в молоке коров обладает черно-пестрая порода – от 3,21 до 3,30%, ярославская – от 3,19 до 3,36 и айрширская – от 3,14 до 3,28%. Следовательно, каждая породная популяция характеризуется своим уникальным развитием селекционируемых признаков в регионе.

DAIRY CATTLE DEVELOPMENT PROSPECTS IN THE VOLOGDA REGION

N.I. Abramova, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher

N.V. Zenkova, Researcher

M.O. Selimyan, Researcher

Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

E-mail: sznii@list.ru

Keywords: trend, population, breeding work, breeds: black-and-white, Ayrshire, Kholmogory, Yaroslavl, milk yield, MFF (mass fraction of fat) and MFP (mass fraction of protein).

Abstract. The article's author determined the development trends of dairy breeds of cattle in the Vologda region based on the quantitative and qualitative traits dynamics from 2015 to 2021. According to the research results, from 2016 to 2020, the number of assessed livestock in the region stabilised, totalling 166 thousand animal units, including 76-77 thousand cows. In 2021, there is a decrease in the total number of livestock by 3.0 thousand animal units (up to 163 thousand heads), including cows - by 1.0 thousand animal units (up to 75 thousand heads).

At breeding livestock farms for the analysed period, the number of animals increased by 8.27 thousand animal units. It amounted to 43.01 thousand animal units, including cows - by 3.56 thousand animal units (up to 20.49 thousand heads). In the Vologda region, the primary livestock of dairy breeds of cattle is made up of animals of the black-and-white breed - 68.46 thousand animal units, the rest of the species - from 4.47 (Holstein) to 10.62 thousand animal units (Kholmogory). The authors established for the analysed period an increase in the milk yield of cows for the Holstein breed by 1515 kg of milk (up to 9804 kg), for the Kholmogory breed - by 2147 kg (up to 7548 kg). An increase in milk yield until 2020 was revealed for the rest of the species. But in 2021, there was a decrease of 91 kg of milk for the Black-and-White breed (up to 8788 kg), 126 kg for the Yaroslavl breed (up to 6609 kg) and 222 kilograms for the Ayrshire breed. In the Vologda region, two species have high levels of milk fat: Yaroslavl - from 4.06 to 4.31% and Ayrshire - from 4.19 to 4.27%. For the Black-and-White breed, the indicators of the mass fraction of fat in the milk of cows are also at a high level - from 3.83 to 3.90%. The Black-and-White breed has the highest indicator of the mass fraction of protein in the milk of cows - from 3.21 to 3.30%, Yaroslavl - from 3.19 to 3.36 and Ayrshire - from 3.14 to 3.28%. Consequently, each breed population is characterised by its unique development of selectable traits in the region.

Молочное скотоводство является одной из ведущих отраслей сельского хозяйства Российской Федерации, обеспечивающей продовольственную безопасность страны. В увеличении производства молока важную роль играет селекционно-племенная работа, которая базируется на целенаправленном использовании лучших генотипов с целью качественного совершенствования существующих пород для повышения продуктивных и племенных признаков животных [1].

Существенные различия в условиях ведения молочного скотоводства, а также некоторые генетические особенности в популяциях крупного рогатого скота в разных странах определяют выбор целей и направления их селекции [2].

Важным фактором при совершенствовании молочных пород крупного рогатого скота является определение тенденций развития племенных и продуктивных признаков в породных популяциях, о чем свидетельствуют исследования многих ученых [3–7].

В настоящее время поголовье локальных пород в стране сокращается из-за системы крупномасштабной селекции, для которой местные породы стали менее пригодными в силу достаточно узкого ареала разведения, направления продуктивности и размера популяции [8–10].

Проблема сохранения местных пород остро стоит и во многих других странах, поскольку при улучшении генетики локальных пород за счет крови более продуктивных импортных теряются ценные показатели, изначально характерные для местных животных (технологические качества молока, долголетие, сохранность молодняка). В связи с этим появилось большое количество факторов исследований, рассматривающих влияние продуктивности и качества производимой продукции на показатели жизни и здоровья животных [11].

По данным ВНИИплем за 2021 г., самой многочисленной популяцией является чернопестрая порода крупного рогатого скота, которая составляет 42,35% от общего поголовья скота молочных и молочно-мясных пород в России, по Вологодской области – 72,02% [12]. Следовательно, генетический потенциал животных данной породы оказывает значительное влияние на уровень молочного скотоводства.

В настоящее время отечественные и зарубежные ученые разрабатывают новые методы прогнозирования генетической ценности в скотоводстве, они используются и совершенствуются в непрерывной эволюции как генетиками-селекционерами, так и статистиками [13–18].

Немаловажный сдерживающий фактор развития отечественной генетики, как и сельского хозяйства в целом, по мнению специалистов, также заключается в отсутствии научных кадров соответствующего уровня, способных представить рынку скот отечественных генотипов таким образом, чтобы на него сформировался устойчивый спрос. В настоящее время при реализации инвестиционных проектов ставка делается на скот зарубежной селекции в силу скорее субъективных, чем объективных причин [19].

Главным направлением развития молочного скотоводства в России на современном этапе является его дальнейшая интенсификация путем повышения продуктивных и племенных качеств разводимого скота, увеличения эффективности производственного использования наиболее ценных животных. Центральное место при внедрении интенсивных технологий занимает селекционно-племенная работа, цель которой сводится к поиску наиболее ценных генотипов и к максимальному использованию их в популяции [20].

Цель исследования заключалась в изучении тенденций развития молочных пород крупного

рогатого скота по селекционируемым признакам в Вологодской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в области молочного скотоводства на основе фундаментальных трудов отечественных и зарубежных ученых. Обоснование результатов исследований проведено с использованием общенаучных методов. При формировании исследовательской базы данных использовались системный подход, метод обобщения, а также статистические группировки, выборки, сравнения, графические и табличные приемы. Объектом исследования являлись популяции молочных пород крупного рогатого скота (айрширской, голштинской, холмогорской, черно-пестрой и ярославской) по данным Ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации [21] и результатам собственных расчетов. В обработку включены селекционируемые признаки молочных пород крупного рогатого скота Вологодской области за 2015–2021 гг. Для расчетов и графических

приемов в процессе исследований использовалось стандартное программное обеспечение для персональных компьютеров Microsoft Word, Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По Вологодской области численность поголовья молочных пород крупного рогатого скота в течение 5 лет с 2016 по 2020 г. сохранялась на уровне 166 тыс. голов (табл. 1). В 2021 г. поголовье молочных пород крупного рогатого скота сократилось на 3 тыс. голов и составило 163 тыс. голов.

Аналогичная тенденция установлена по численности коров: она уменьшилась на 2 тыс. голов, т. е. до 75 тыс. голов к 2021 г., что составляет 45,8–46,4% от всего поголовья. Следует отметить, что при сокращении общей численности поголовья молочных пород крупного рогатого скота и коров относительная численность коров изменяется незначительно, в пределах 0,6%.

Таблица 1

Поголовье крупного рогатого скота в Вологодской области за 2015–2021 гг., тыс. гол.
Number of cattle in the Vologda region for 2015–2021, thousand animal units

Показатели	Год						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<i>Вологодская область</i>							
Поголовье крупного рогатого скота, всего	164	166	166	166	166	166	163
В том числе коровы	76	76	76	77	76	77	75
%	46,3	45,8	45,8	46,4	45,8	46,4	46,0
<i>Племзавод</i>							
Поголовье крупного рогатого скота, всего	34,74	34,62	36,73	33,5	38,96	38,89	43,01
%	21,2	20,9	22,1	20,2	23,5	23,4	26,4
В том числе коровы	16,93	16,72	18,41	16,51	19,12	19,05	20,49
%	22,3	22,0	24,2	21,4	25,2	24,7	27,3
<i>Племрепродуктор</i>							
Поголовье крупного рогатого скота, всего	29,48	31,84	30,08	28,92	31,67	31,87	29,21
%	18,0	19,2	18,1	17,4	19,1	19,2	17,9
В том числе коровы	14,67	15,85	14,87	14,11	15,73	15,69	14,58
%	19,3	20,9	19,6	18,3	20,7	20,4	19,4

За анализируемый период установлено увеличение относительной численности всего поголовья в племенных заводах Вологодской области от 21,2 (2015 г.) до 26,4% (2021 г.), т.е. на 5,2 % за 5 лет. Доля коров в племенных заводах возросла на 5,0% и составила 27,3% в 2021 г.

В племенных репродукторах относительная численность всего поголовья молочных пород крупного рогатого скота изменялась по годам незначительно – от 17,4 (2018 г.) до 19,2% (2020 г.), коров – от 18,3 (2018 г.) до 20,4% (2020 г.), разница составила 1,8 и 2,1% соответственно. Следовательно, в Вологодской области 44,3% составляют племенные животные и 46,7% – племенные коровы. Это свидетельствует о высоком уровне племенной работы с молочными породами крупного рогатого скота.

В Вологодской области основную долю занимает черно-пестрая порода, поголовье которой изменялось от 64,6 тыс. голов в 2020 г. до 68,77 тыс. голов в 2018 г. и 68,46 тыс. голов в 2021 г. Остальные породы составляют от 4,47% (ярославская) до 10,62% (айрширская) (рис. 1). Следует отметить сокращение к 2021 г. относительной численности животных айрширской породы на 1,56 тыс. голов (до 10,62 тыс. голов), холмогорской – на 2,71 тыс. голов (до 6,4 тыс. голов), ярославской – на 0,25 тыс. голов (до 5,11 тыс. голов) и увеличение – голштинской породы на 1,46 тыс. голов. Это свидетельствует

о том, что отечественные молочные породы крупного рогатого скота отходят на второй план вследствие более низкой продуктивности по сравнению с голштинской и голштинизированной черно-пестрой породами.

По численности коров сохраняется аналогичное распределение за анализируемый период с 2015 по 2021 г. Минимальное количество коров черно-пестрой породы – 31,91 тыс. голов установлено в 2020 г., максимальное – 34,09 тыс. голов в 2018 г., разница составляет 2,18 тыс. голов (рис. 2). В 2021 г. количество коров черно-пестрой породы составило 33,81 тыс. голов. Численность поголовья коров остальных пород значительно уступает черно-пестрой породе – до 30 тыс. голов и более. По айрширской породе с 2015 по 2021 г. выявлено сокращение поголовья коров на 1,5 тыс. голов (до 3,26 тыс. голов) в 2021 г., по холмогорской породе – на 0,82 тыс. голов (до 5,12 тыс. голов), ярославской – на 0,38 тыс. голов (до 2,62 тыс. голов). По голштинской породе установлено увеличение численности коров на 0,59 тыс. голов (до 1,98 тыс. голов) в 2021 г.

Следовательно, наблюдается тенденция к сокращению общей численности скота, в том числе коров, по отечественным породам (холмогорская, ярославская) и увеличению доли голштинской породы.



Рис. 1. Динамика численности поголовья крупного рогатого скота по породам в Вологодской области [21]

Fig. 1. Dynamics of the number of cattle by breed in the Vologda region [21]



Рис.2. Динамика численности коров по породам в Вологодской области [21]

Fig.2. Dynamics of the number of cows by breed in the Vologda region [21]

Динамика показателей надоя коров по породам в Вологодской области имеет тенденцию к увеличению по голштинской и холмогорской породам с 2015 по 2021 г. Наибольшие темпы увеличения надоя – на 2147 кг молока (до 7548 кг) установлены по холмогорской породе (рис. 3). По голштинской породе выявлена самая низкая интенсивность увеличения надоя,

которая составляет 1515 кг молока, при этом надой самый высокий среди анализируемых пород – 9804 кг молока. По трем породам: черно-пестрой, айрширской, ярославской – установлено увеличение надоя 1737–1941 кг молока коров до 2020 г. при дальнейшем снижении продуктивности на 91; 222 и 126 кг молока (до 8788; 7196 и 6609 кг соответственно) к 2021 г.



Рис.3. Динамика надоя коров по породам в Вологодской области [21]

Fig.3. Dynamics of milk yield of cows by breed in the Vologda region [21]

По качественным показателям массовой доли жира (МДЖ) и белка (МДБ) в молоке коров исследуемых пород с 2015 по 2021 г. происходили значительные изменения данных по определенным породным популяциям (рис. 4). Наибольшее повышение МДЖ установлено в молоке коров ярославской породы – на 0,25% (от 4,06% в 2018 г. до 4,31% в 2021 г.). По айрширской породе отмечается снижение МДЖ на 0,08% с 2019 по 2021 г. (до 4,19%). Наиболее стабильные показатели МДЖ установлены в молоке коров черно-пестрой породы – от 3,83%

в 2018 г. до 3,90% в 2021 г., разница составила 0,07%.

По МДБ в молоке коров черно-пестрой породы выявлены минимальные изменения, в пределах 0,09% – от 3,21 (2017, 2018 гг.) до 3,30% (2019–2021 гг.). Наибольшие изменения МДБ произошли в молоке коров ярославской породы – на 0,21% (3,19–3,40%), в 2021 г. она составила 3,26%. По айрширской породе МДБ в молоке коров изменялась в пределах 0,14% – от 3,14 (2017 г.) до 3,28% (2020 г.), в 2021 г. она равнялась 3,27%.

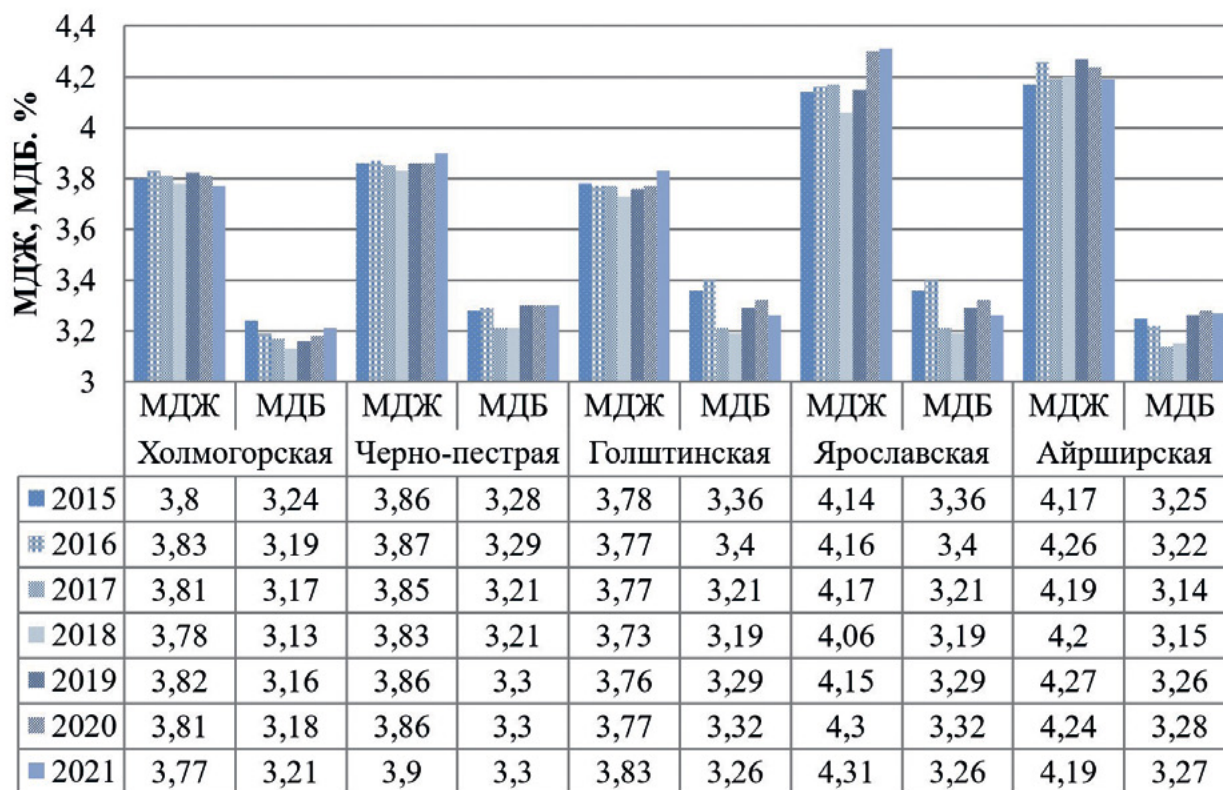


Рис. 4. Динамика МДЖ и МДБ в молоке коров по породам в Вологодской области [21]

Fig. 4. Dynamics MFF (mass fraction of fat) and MFP (mass fraction of protein) in the milk of cows by breeds in the Vologda region [21]

По холмогорской породе выявлен наиболее низкий показатель МДБ в молоке коров – от 3,13 (2018 г.) до 3,24% (2015 г.), в 2021 г. он составил 3,21%. Следует отметить по всем породам снижение уровня массовой доли белка в молоке коров в 2017, 2018 гг., что может являться воздействием внешних факторов.

ВЫВОДЫ

1. Определены тенденции развития молочных пород по селекционируемым признакам в Вологодской области. Выявлено снижение численности пробонитированного поголовья молочных пород крупного рогатого скота на

3,0 тыс. голов (до 163,0 тыс. голов) в 2021 г. Поголовье коров сократилось на 2,0 тыс. гол. (до 75,0 тыс. голов). При этом поголовье животных в племязаводах за анализируемый период с 2015 по 2021 г. увеличилось на 8,27 тыс. голов и составило 43,01 тыс. голов, коров – 20,49 тыс. голов. Это свидетельствует о высоком уровне племенной работы с молочными породами крупного рогатого скота в Вологодской области.

2. Черно-пестрая порода занимает доминирующее положение среди разводимых пород, ее поголовье составляет 68,46 тыс. голов, что более чем в 6 раз превышает численность других пород.

3. За исследуемый период по всем породным популяциям выявлено увеличение продуктивности, в том числе наиболее существенное (на 2147 кг молока) – у коров холмогорской породы.

4. При рейтинговом распределении по величине надоя за 2021 г. первое место занимает голштинская порода (9804 кг молока), второе – черно-пестрая (8788 кг), третье – холмогорская (7548 кг), четвертое – айрширская (7196 кг), пятое – ярославская (6609 кг).

5. По массовой доле жира в молоке коров наиболее высокие показатели имеют айрширская (4,19%) и ярославская (4,31%) породы. Массовая доля белка в молоке коров отличается более стабильными показателями по черно-пестрой породе – 3,21–3,30%.

6. Каждая породная популяция молочных пород крупного рогатого скота Вологодской области имеет тенденцию к увеличению продуктивных показателей и отличается своими уникальными качественными признаками молока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Оценка быков-производителей зарубежной и отечественной селекции, используемых в племенных хозяйствах Свердловской области* / О.Г. Лоретц [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 4. – С. 14–17.
2. *Лукьянов К.И., Федяев П.М.* Современные тенденции в индексной оценке племенной ценности молочного скота // Генетика и разведение животных. – 2016. – № 4. – С. 11–19.
3. *Анализ состояния и перспективы улучшения генетического потенциала крупного рогатого скота молочных пород: науч.-аналит. обзор* / В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишуков, Т.Е. Маринченко, А.И. Тихомиров. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 108 с.
4. *Тенденции развития молочного скотоводства Вологодской области и Северо-Западного региона* / Г.С. Власова [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2016. – № 21. – С. 14–19.
5. *Популяционные параметры продуктивных признаков крупного рогатого скота черно-пестрой породы Вологодской области* / Н.И. Абрамова [и др.] // АгроЗooТехника. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 4.
6. *Динамика численности, продуктивности и показателей хозяйственного использования породных популяций молочного скота* / Н.И. Абрамова [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2018. – № 4 (32). – С. 8–17.
7. *Хромова О.Л., Абрамова Н.И., Зенкова Н.В.* Характеристика современного состояния отрасли молочного скотоводства Северо-Западного федерального округа и Вологодской области // Молочнохозяйственный вестник. – 2021. – № 3 (43). – С. 99–113.
8. *Чинаров В.И.* Потенциал племенного молочного скотоводства // Молочная промышленность. – 2018. – № 11. – С. 69–71.
9. *Технология ускоренного совершенствования молочных стад с использованием отечественного и зарубежного генофонда: метод. рекомендации* / В.М. Шириев, И.Ф. Юмагузин, С.С. Ардаширов [и др.]. – Уфа, 2011. – 44 с.
10. *Исчезающая генетика: зарубежные молочные породы КРС продолжают вытеснять российские* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroxxi.ru/zhivotnovodstvo/stati/ischezayuschaja-genetikazarubezhnyemolochnye-porody-krs-prodolzhayut-vytesnjat-rossiiskie.html> (дата обращения: 03.02.2019).
11. *Сохранение генофонда редких и исчезающих пород КРС* [Электронный ресурс]. – URL: <https://helpiks.org/1-117630.html> (дата обращения: 20.02.2019).
12. *Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2021 год)*. – М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем, 2022. – 262 с.
13. *Проблемы и вопросы при прогнозировании генетической племенной ценности сельскохозяйственных животных* / А.Е. Калашников, А.И. Голубков, Н.Ф. Щегольков, Е.Р. Гостева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4. – С. 77–96. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96>.
14. *Молочная продуктивность коров красно-пестрой породы с разным продуктивным использованием* / А.И. Голубков, Л.В. Ефимова, А.А. Голубков, С.В. Ермолаев, Н.М.

- Сазонова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4. – С. 97–104. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-97-104>.
15. Холодова Л.В. Генетический потенциал и племенная ценность быков-производителей // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2. – С. 106–113. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-106-113>.
16. Достоверность данных первичного зоотехнического учёта в молочном скотоводстве / Е.В. Камалдинов, А.Ф. Петров, К.С. Шатохин, К.Н. Нарожных, В.Г. Маренков, Т.А. Жигулин, О.В. Богданова, П.Н. Пальчиков, А.А. Плахова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2. – С. 76–83. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-76-83>.
17. Genomic-polygenic and polygenic predictions for milk yield, fat yield, and age at first calving in Thai multibreed dairy population using genic and functional sets of genotypes / T. Laodim, M.A. Elzo, S. Koonawootrittriron [et al.] // Livestock Science. – 2019. – Vol. 219. – P. 17–24. – <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.008>.
18. Misztal I., Stein Y., Lourenco D.A.L. Genomic evaluation with multibreed and crossbred data // JDS Communications. – 2022. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0177>.
19. В Минобрнауки России обсудили формирование и реализацию комплексных планов научных исследований, которые позволят снизить уровень импортозависимости в АПК [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/ob-institute/news/v-minobrnauki-rossiiobsudiliformirovanie-i-realizatsiyu-kompleksnykh-planovnauchnykhissledovaniykotoryepozvolyat-snizit-uroven-importozavisimosti-v-apk> (дата обращения: 26.01.2023).
20. Шаркаева Г.А., Шаркаев В.И. Потенциал племенной базы импортного молочного скота в Российской Федерации // Зоотехния. – 2016. – № 1. – С. 2–4.
21. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации. – М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИПлем, 2016–2022.

REFERENCES

1. Loretc O.G., Lihodeevskaya O.E., Barashkin M.I., Mymrin V.S., Sevast'yanov Y.U., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2012, No. 4, pp. 14–17. (In Russ.)
2. Luk'yanov K.I., Fedyaev P.M., *Genetika i razvedenie zhivotnyh*, 2016, No. 4, pp. 11–19. (In Russ.)
3. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Marinchenko T.E., Tihomirov A.I., *Analiz sostoyaniya i perspektivy uluchsheniya geneticheskogo potentsiala krupnogo rogatogo skota molochnykh porod* (Analysis of the state and prospects for improving the genetic potential of dairy cattle), Moscow: FG-BNU «Rosinformagrotekh», 2019, 108 p.
4. Vlasova G.S., Abramova N.I., Bogoradova L.N., Hromova O.L., Fedorova E.A., *Molochnohozyajstvennyj vestnik*, 2016, No. 21, pp. 14–19. (In Russ.)
5. Abramova N.I., Vlasova G.S., Hromova O.L., Bogoradova L.N., *AgroZooTekhnika*, 2018, Vol. 1, No. 1, pp. 4. (In Russ.)
6. Abramova N.I., Vlasova G.S., Bogoradova L.N., Hromova O.L., *Molochnohozyajstvennyj vestnik*, 2018, No. 4 (32), pp. 8–17. (In Russ.)
7. Hromova O.L., Abramova N.I., Zenkova N.V., *Molochnohozyajstvennyj vestnik*, 2021, No. 3 (43), p. 99–113. (In Russ.)
8. CHinarov V.I., *Molochnaya promyshlennost'*, 2018, No. 11, pp. 69–71. (In Russ.)
9. SHiriev I.F., YUmaguzin S.S., Ardashirov V.M., *Tekhnologiya uskorenno go sovershenstvovaniya molochnyh stad s ispol'zovaniem otechestvennogo i zarubezhnogo genofonda* (Technology of accelerated improvement of dairy herds using domestic and foreign gene pool), Ufa, 2011, 44 p.
10. *Ischezayushchaya genetika: zarubezhnye molochnye породы KRS prodolzhayut vytesnyat' rossijskie* (Disappearing genetics: foreign dairy breeds of cattle continue to crowd out Russian): <https://www.agroxxi.ru/zhivotnovodstvo/stati/ischezayushchaya-genetikazarubezhnyemolochnye-porody-krs-prodolzhayut-vytesnjat-rossiiskie.html> (data obrashcheniya: 03.02.2019).

11. *Sohranenie genofonda redkih i ischezayushchih porod KRS* (Preservation of the gene pool of rare and endangered breeds of cattle): <https://helpiks.org/1-117630.html> (data obrashcheniya: 20.02.2019).
12. *Ezhegodnik po plemennoj rabote v molochnom skotovodstve v hozyajstvakh Rossijskoj Federacii* (2021 god) (Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation), (2022), Moscow: Izdatel'stvo FGBNU VNIImplem, 2022, 262 p.
13. Kalashnikov A.E., Golubkov A.I., SHCHegol'kov N.F., Gosteva E.R., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 4, pp. 77–96, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96>. (In Russ.)
14. Golubkov A.I., Efimova L.V., Golubkov A.A., Ermolaev S.V., Sazonova N.M., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 4, pp. 97–104, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-97-104>. (In Russ.)
15. Holodova L.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2, pp. 106–113, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-106-113>. (In Russ.)
16. Kamaldinov E.V., Petrov A.F., Shatokhin K.S., Narozhnykh K.N., Marenkov V.G., Zhigulin T.A., Bogdanova O.V., Palchikov P.N., Plakhova A.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 2, pp. 76–83, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-76-83>. (In Russ.)
17. Laodim T., Elzo M.A., Koonawootrittriron S. [et al.], Genomic-polygenic and polygenic predictions for milk yield, fat yield, and age at first calving in Thai multibreed dairy population using genic and functional sets of genotypes, *Livestock Science*, 2019, Vol. 219, pp. 17–24, <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.008>.
18. Misztal I., Stein Y., Lourenco D.A.L., Genomic evaluation with multibreed and crossbred data, *JDS Communications*, 2022, pp. 1–10, <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0177>.
19. *V Minobrnauki Rossii obsudili formirovanie i realizaciyu kompleksnykh planov nauchnykh issledovaniy, kotorye pozvolyat snizit' uroven' importozavisimosti v APK* (The Russian Ministry of Education and Science discussed the formation and implementation of comprehensive research plans that will reduce the level of import dependence in the agro-industrial complex): <https://rosinformmagrotech.ru/ob-institute/news/v-minobrnauki-rossiobsudiliformirovanie-i-realizatsiyu-kompleksnykh-planov-nauchnykhissledovaniy-kotorye-pozvolyat-snizit-uroven-importozavisimosti-v-apk> (data obrashcheniya: 28.12.2018).
20. SHarkaeva, G.A., SHarkaev V.I., *Zootekhnika*, 2016, No. 1, pp. 2–4. (In Russ.)
21. *Ezhegodnik po plemennoj rabote v molochnom skotovodstve v hozyajstvakh Rossijskoj Federacii* (Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation), Moscow: Izdatel'stvo FGBNU VNIImplem, 2016–2022.

ПРОДУКТИВНОЕ ДОЛГОЛЕТИЕ КОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА СОДЕРЖАНИЯ

С.Н. Белова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

В.А. Плешков, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

E-mail: 6110699@mail.ru

Ключевые слова: способ содержания, выбытие коров, продуктивное долголетие, лактация, коровы.

Реферат. Представлен анализ влияния способов содержания маточного поголовья крупного рогатого скота Кузбасса на срок его продуктивного использования и продолжительность жизни. Объектом исследования послужило маточное поголовье крупного рогатого скота племенных и товарных предприятий. При привязном способе содержания срок хозяйственного использования коров в племенных предприятиях региона составил $2,75 \pm 0,27$ лактации, или $1002,70 \pm 45,19$ дня, при средней продолжительности жизни $1835,60 \pm 95,42$ дня. В товарных хозяйствах срок хозяйственного использования коров в среднем составил $2,35 \pm 0,20$ лактации, или $860,70 \pm 41,80$ дня, при средней продолжительности жизни $1563,67 \pm 85,30$ дня. Анализ беспривязного содержания маточного поголовья крупного рогатого скота показал, что срок хозяйственного использования в племенных организациях – $2,45 \pm 0,19$ лактации ($896,50 \pm 39,43$ дня), средняя продолжительность жизни – $1693,0 \pm 83,34$ дня. Срок хозяйственного использования коров в товарных хозяйствах области с использованием беспривязного содержания в среднем составил $2,16 \pm 0,20$ лактации ($794,50 \pm 38,53$ дня), средняя продолжительность жизни – $1688,93 \pm 91,50$ дня. Маточное поголовье на привязном содержании в зимний период имеет преимущество в хозяйствах региона по сроку хозяйственного использования перед круглогодичным беспривязным содержанием на $0,24$ лактации ($86,20$ дня).

THE PRODUCTIVE LONGEVITY OF COWS DEPENDS ON THE LIVESTOCK-KEEPING METHOD

S.N. Belova, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

V.A. Pleshkov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia

E-mail: 6110699@mail.ru

Keywords: method of livestock keeping, disposal of cows, productive longevity, lactation, cows.

Abstract. In the article, the authors presented an analysis of the influence of the methods of keeping the breeding stock of Kuzbass cattle on the period of its productive use and life expectancy. The object of the study was the breeding stock of cattle breeding and commercial enterprises. With a tethered method of keeping, the economical use of cows in the breeding enterprises of the region amounted to 2.75 ± 0.27 lactation, or 1002.70 ± 45.19 days, with an average life expectancy of 1835.60 ± 95.42 days. In commodity farms, the economical use of cows is an average of 2.35 ± 0.20 lactations, or 860.70 ± 41.80 days, with an average life expectancy of 1563.67 ± 85.30 days. An analysis of the loose keeping of the cattle breeding stock showed that the period of economic use in breeding organizations is 2.45 ± 0.19 lactations (896.50 ± 39.43 days), and the average life expectancy is 1693.0 ± 83.34 days. The period of economic use of cows in the commercial farms of the region using loose housing averaged 2.16 ± 0.20 lactations (794.50 ± 38.53 days), and the average life expectancy was 1688.93 ± 91.50 days. In the winter, the broodstock on tie-down housing has an advantage over the region's farms in terms of economic use over year-round loose housing by 0.24 lactations (86.20 days).

Молочное скотоводство – важнейшая отрасль аграрного промышленного комплекса России, обеспечивающая население ценными продуктами питания – молоком и говядиной [1–3].

Актуальной проблемой Кемеровской области – Кузбасса является недостаток молока

и молочных продуктов на душу населения из-за сокращения поголовья крупного рогатого скота, раннего выбытия лактирующих коров, не успевших проявить наивысшую продуктивность.

Важной задачей молочного скотоводства является увеличение продолжительности

сроков хозяйственного использования коров и оптимизация их продуктивного долголетия [4–6]. Это существенное условие повышения конкурентоспособности и рентабельности скотоводческой отрасли. Чем интенсивнее и дольше используется животное, тем меньше затрат на единицу продукции, выше рентабельность отрасли [7–9].

В молочном скотоводстве производственное долголетие сочетает в себе следующие признаки: общая продолжительность жизни коровы, количество отелов и пожизненный удой. Оптимальная продолжительность хозяйственного использования коров в России – 5,6 лактации при удое 5,5–6,0 тыс. кг молока за лактацию. Продолжительное использование молочных коров позволяет увеличить удои стада, повысить реализацию молодняка, проводить более тщательную выбраковку низкопродуктивных животных [1, 10–12].

Основными причинами сокращения продуктивного долголетия коров являются болезни различной этиологии – репродуктивных органов, вымени, нарушения обмена веществ. Наиболее часто выбраковывают животных из-за заболеваний конечностей, что напрямую связано с несоблюдением технологии их содержания [7–9, 13].

Различают два способа содержания крупного рогатого скота – привязное или беспривязное. Однако в том и другом случае условия содержания скота изменяются в зависимости от времени года и состояния кормовой базы [14–16].

Заболевания конечностей, несчастные случаи и травмы стали причинами выбытия в 7,1–9,5 % случаев у животных черно-пестрой породы при беспривязном содержании и применении роботизированной системы доения, что больше, чем у коров привязного содержания, в среднем на 2,5–3,5 % [6].

При привязном содержании и доении в молокопровод коровы голштинской породы выбраковывались вследствие болезней конечностей в среднем на 10,5 % реже, чем сверстницы при доении роботом-дойром [17].

Продолжительность использования коров при беспривязном содержании обусловлена устройствами полов в зоне кормления, доения и проходов. Скользящие или жесткие полы в коровниках часто вызывают травмы конечностей. Однако использование беспривязной системы содержания ведет к снижению себестоимости производства молока [2, 9, 10, 14, 16].

Животные при привязном содержании находятся в основном на щелевых дощатых полах, в редких случаях используются различные

покрытия. При данном способе содержания у коров наблюдается сезонность производства молока [2, 7, 11, 14, 18].

Использование беспривязной системы содержания в молочном скотоводстве в условиях Сибири изучено недостаточно, как и влияние разных систем содержания на продуктивное долголетие коров.

Для решения данной проблемы необходимо оценить степень влияния систем содержания коров на продолжительность их производственного использования.

Причины выбытия коров отражают характерные для каждой технологии содержания проблемы и позволяют применять наиболее оптимальную для хозяйственно-экономических условий конкретного предприятия.

Цель исследования – оценка продуктивного долголетия коров в зависимости от способа их содержания в племенных и товарных животноводческих предприятиях Кемеровской области.

Задачи исследования:

1. Проанализировать срок хозяйственного использования маточного поголовья крупного рогатого скота при привязном способе содержания.

2. Изучить срок хозяйственного использования маточного поголовья крупного рогатого скота при беспривязном способе содержания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценку продуктивного долголетия коров в зависимости от способа содержания проводили на животных черно-пестрой и голштинской пород в племенных и товарных скотоводческих предприятиях Кемеровской области – Кузбасса.

Объектом исследования являлось маточное поголовье крупного рогатого скота племенных и товарных предприятий Кемеровской области.

Материалом для проведения исследования послужили:

- отчеты о наличии и движении поголовья крупного рогатого скота в племенных и товарных сельскохозяйственных предприятиях молочного направления продуктивности Кемеровской области за последние 3 года;

- данные о выбытии коров в сельскохозяйственных предприятиях молочного направления продуктивности Кемеровской области (ИАС «СЕЛЭКС-Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах») за последние 3 года;

- зоотехнические отчеты хозяйств о результатах племенной работы с крупным рогатым скотом, племенные индивидуальные карточки

коров и другие формы первичного зоотехнического учета за последние 3 года;

– данные экономических показателей производства молока в племенных и товарных сельскохозяйственных предприятиях молочного направления продуктивности Кемеровской области за последние 3 года.

Обоснованность и достоверность результатов проведенных исследований подтверждается применением современных зоотехнических методик. Полученные результаты исследований обработаны методом вариационной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка продуктивного долголетия коров в зависимости от принятой технологии содержания показывает, что в 8 племенных хозяйствах Кемеровской области продолжительность их

использования при привязном содержании оказалась выше на 0,3 лактации, чем при беспривязном (табл. 1).

Оценку коров при привязном способе содержания проводили за исследуемый период в 3 хозяйствах с общим исследуемым поголовьем $4086,00 \pm 157,32$ головы, при беспривязном способе содержания исследования проводились в 5 организациях с поголовьем $6945,00 \pm 184,19$ головы.

При привязной системе содержания доля коров, выбывших по причине заболевания конечностей, ниже, чем при беспривязном содержании, поскольку за животными осуществляется систематический индивидуальный уход. В связи с этим продолжительность жизни и хозяйственного использования коров при привязной системе содержания выше на 142,6 и 53,1 дня соответственно, чем при беспривязной.

Таблица 1

Продуктивное долголетие коров в зависимости от способа содержания по племенным предприятиям за 2019–2021 гг.

Productive longevity of cows depending on the method of livestock keeping by breeding enterprises for 2019–2021

Показатель	Способ содержания	
	привязный	беспривязный
Поголовье, гол.	$4086,00 \pm 157,32$	$6945,00 \pm 184,19$
Продолжительность жизни, дней	$1835,60 \pm 95,42$	$1693,00 \pm 83,34$
Продолжительность использования, дней	$1002,70 \pm 45,19$	$896,50 \pm 39,43$
Продолжительность использования, лактаций	$2,75 \pm 0,27$	$2,45 \pm 0,19$

Нами было исследовано выбытие коров в регионе в зависимости от сезона года – зимне-стойловый и летне-пастбищный периоды. Установлено, что количество выбывших коров в племенных предприятиях в зимне-стойловый период выше такового за летне-пастбищный период на 39,6 %. Если за зимне-стойловый период выбраковка от количества всех выбывших коров в среднем составила 69,8 %, то в летне-пастбищный период этот показатель равен 30,2 % (табл. 2).

Общее количество выбывших коров в племенных предприятиях в 2021 г. снизилось в сравнении с 2019 г. на 469 голов (7,4 %). За анализируемый период в процентном отношении всего выбыло коров с начала года на 0,2 % больше.

Снижение выбытия коров летом объясня-

ется тем, что пастбищное содержание коров позволяет повысить резистентность организма, способствует реализации генетического потенциала животных, улучшению воспроизводительных функций.

Проведенные исследования показали, что в товарных стадах при привязном содержании продолжительность использования в лактациях на 0,19 ед. выше, чем при беспривязном (табл. 3).

Продолжительность жизни при беспривязном способе содержания оказалась больше на 125,26 дня, при этом продолжительность использования оказалась короче на 66,2 дня в сравнении с привязным содержанием. Вероятно, это можно объяснить более поздним выявлением телок в охоте и их несвоевременным плодотворным осеменением.

Таблица 2

Выбытие коров по племенным предприятиям в зависимости от периода
Disposal of cows by breed enterprises depending on the period

Показатель	Год			2021 г. к 2019 г.
	2019	2020	2021	
Количество выбывших с начала года, всего, гол.	2288	1425	2119	-469
Выбыло с начала года, всего, % от живых на начало года	30,4	24,3	30,6	+0,2
Количество выбывших за зимне-стойловый период (245 дней), гол.	1629	983	1377	-252
Выбыло за зимне-стойловый период, всего, % от выбывших с начала года	71,2	68,9	69,3	-1,9
Количество выбывших за летне-пастбищный период (120 дней), гол.	659	442	610	-49
Выбыло за летне-пастбищный период, всего, % от выбывших с начала года	28,8	31,1	30,7	1,9

Таблица 3

Продуктивное долголетие коров в зависимости от способа содержания по товарным предприятиям
за 2019–2021 гг.
Productive longevity of cows depending on the method of livestock keeping by commodity enterprises
for 2019–2021

Показатель	Способ содержания	
	привязный	беспривязный
Продолжительность жизни, дней	1563,67±85,30	1688,93±91,50
Продолжительность использования, дней	860,70±41,80	794,50±38,53
Продолжительность использования, лактаций	2,35±0,20	2,16±0,20

Как и в племенных предприятиях, в товарных хозяйствах прослеживается зависимость количества выбывших коров от периода содержания: 68,4 % от общего количества выбывших в зимне-стойловый период, 31,6 % – в летне-пастбищный. Количество выбывших коров в товарных хозяйствах в зимне-стойловый

период выше такового за летне-пастбищный период на 36,8 % (табл. 4).

В 2021 г. численность выбывших коров в товарных хозяйствах Кемеровской области снизилась в сравнении с 2019 г. на 169 голов (6,1 %). За анализируемый период всего выбыло коров с начала года на 1,2 % больше.

Таблица 4

Выбытие коров по товарным предприятиям (2019–2021 гг)
Disposal of cows by commodity enterprises (2019–2021)

Показатель	Год			2021 г. к 2019 г.
	2019	2020	2021	
1	2	3	4	5
Количество выбывших с начала года, всего, гол.	2766	2244	2597	-169
Выбыло с начала года, всего, % от живых на начало года	10,2	8,6	11,4	+1,2
Количество выбывших за зимне-стойловый период, гол.	1922	1598	1776	-146
Выбыло за зимне-стойловый период, всего, % от выбывших с начала года	69,5	71,2	68,4	-1,1

1	2	3	4	5
Количество выбывших за летне-пастбищный период, гол.	844	646	821	-23
Выбыло за летне-пастбищный период, всего, % от выбывших с начала года	30,5	28,8	31,6	+1,1

ВЫВОДЫ

1. При привязном способе содержания срок хозяйственного использования маточного поголовья крупного рогатого скота в племенных предприятиях Кемеровской области составил $2,75 \pm 0,27$ лактации, или $1002,70 \pm 45,19$ дня, при средней продолжительности жизни $1835,60 \pm 95,42$ дня. В товарных хозяйствах региона срок хозяйственного использования коров в среднем составил $2,35 \pm 0,20$ лактации, или $860,70 \pm 41,80$ дня, при средней продолжительности жизни $1563,67 \pm 85,30$ дня.

2. При беспривязном способе содержания срок хозяйственного использования коров в племенных организациях Кемеровской обла-

сти равен $2,45 \pm 0,19$ лактации, или $896,5 \pm 39,43$ дня, средняя продолжительность жизни – $1693,00 \pm 83,34$ дня. В товарных хозяйствах срок хозяйственного использования в среднем составил $2,16 \pm 0,20$ лактации, или $794,50 \pm 38,53$ дня, средняя продолжительность жизни – $1688,93 \pm 91,5$ дня.

3. Продолжительность жизни коров и срок их хозяйственного использования зависят от способа содержания. Маточное поголовье, находящееся на привязном содержании в зимний период, имеет преимущество по сроку хозяйственного использования перед круглогодичным беспривязным содержанием на $0,24$ лактации ($86,2$ дня).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева О.К. Динамика показателей продуктивного долголетия коров в сельскохозяйственных предприятиях России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 60. – С. 80–87. – DOI: 10.24411/2078-1318-2020-13080; EDN: TWHBOX.
2. Иванова И.П., Григорьев М.Е., Пилипчук В.К. Продуктивное долголетие коров в зависимости от системы содержания // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6 (159). – С. 126–130. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-126-130; EDN: XPFSSE.
3. Семенченко С.В., Дегтярь А.С. Влияние интенсивной технологии содержания коров на продуктивное долголетие // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4 (42). – С. 107–112. – EDN: GFFFBW.
4. A review of once-a-day milking in dairy cow grazing systems / N. Lopez-Villalobos, J.M.D.R. Jayawardana, L.R. McNaughton, R.E. Hickson // JDS Communications. – 2023. – <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0293>.
5. Сафронов С.Л., Давыдова О.А. Оптимизация продуктивного долголетия коров как фактор увеличения производства молока // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 57. – С. 65–71. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-14065; EDN: EVKXHE.
6. Татуева О.В., Кольцов Д.Н. Продуктивное долголетие коров голштинской породы в зависимости от паратипических и генетических факторов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 96. – С. 301–306. – DOI: 10.21515/1999-1703-96-301-306; EDN: MPIZNH.
7. Кондручина С., Семенов В., Иванова Т. Способы и системы содержания коров, и их воспроизводительная функция // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2020. – № 9. – С. 56–61. – EDN: KRJEBE.
8. Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows / J.C. Schuster, H.W. Barkema, A.D. Vries [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2020. – Vol. 103, Is. 12. – P. 11008–11024. – doi.org/10.3168/jds.2020-1904.

9. *Создание комфортных условий содержания коров в различных технологических условиях ферм и комплексов* / В.Н. Тимошенко, А.А. Музыка, В.Н. Минаков [и др.] // Ветеринарный журнал Беларуси. – 2019. – № 2 (11). – С. 108–112. – EDN: SQEZIZ.
10. *Assessment of technical-productive aspects in Italian dairy farms equipped with automatic milking systems: A multivariate statistical analysis approach* / F.M. Tangorra, A. Calcante, G. Vigone [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2022. – Vol. 105, Is. 9. – P. 7539–7549. – doi.org/10.3168/jds.2021-20859.
11. *Hultgren J., Svensson C. Heifer rearing conditions affect length of productive life in Swedish dairy cows* // Preventive Veterinary Medicine. – 2009. – Vol. 89, Is. 3–4. – P. 255–264. – doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.02.012.
12. *Symposium review: Animal welfare in free-walk systems in Europe* / I. Blanco-Penedo, W. Ouweltjes, E. Ofner-Schröck [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2020. – Vol. 103, Is. 6. – P. 5773–5782. – doi.org/10.3168/jds.2019-17315.
13. *Факторы, влияющие на продуктивное долголетие коров* / Л.В. Шульга, К.Л. Медведева, А.В. Ланцов [и др.] // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2020. – № 4 (39). – С. 8–11. – EDN: XLCXMT.
14. *Зайцева О.В., Лефлер Т.Ф., Курзюкова Т.А. Эффективность производства молока при разных способах содержания коров* // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 4 (145). – С. 67–74. – EDN: RNORFC.
15. *Улимбаев М.Б. Критерии выбора способа содержания коров в молочном скотоводстве* // Эффективное животноводство. – 2019. – № 7 (155). – С. 16–18. – EDN: KCLFZD.
16. *Чеченихина О.С., Лоретц О.Г. Показатели продуктивного долголетия коров черно-пестрой породы при привязном и беспривязном способах содержания* // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 3 (31). – С. 55–59. – DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-31-55-59; EDN: YLQXLV.
17. *Walsh S.W., Williams E.J., Evans A.C.O. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows* // Animal Reproduction Science. – 2011. – Vol. 123, Is. 3–4. – P. 127–138. – doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.
18. *Скоркин В.К. Повышение эффективности производства молока при привязном содержании коров* // Техника и технологии в животноводстве. – 2021. – № 2 (42). – С. 5–10. – DOI: 10.51794/27132064-2021-2-5; EDN: NSRJNJ.

REFERENCES

1. *Vasil'eva O.K., Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 60, pp. 80–87, DOI: 10.24411/2078-1318-2020-13080; EDN: TWHBOX. (In Russ.)
2. *Ivanova I.P., Grigor'ev M.E., Pilipchuk V.K., Vestnik KrasGAU*, 2020, No. 6 (159), pp. 126–130, DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-126-130; EDN: XPFSSE. (In Russ.)
3. *Semenchenko S.V., Degtyar' A.S., Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 4 (42), pp. 107–112, EDN: GFFFBW. (In Russ.)
4. *Lopez-Villalobos N., Jayawardana J.M.D.R., McNaughton L.R., Hickson R.E., A review of once-a-day milking in dairy cow grazing systems, JDS Communications*, 2023, <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0293>.
5. *Safronov S.L., Davydova O.A., Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 57, pp. 65–71, DOI 10.24411/2078-1318-2019-14065; EDN: EVKXHE. (In Russ.)
6. *Tatueva O.V., Kol'cov D.N., Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 96, pp. 301–306, DOI: 10.21515/1999-1703-96-301-306; EDN: MPIZNH. (In Russ.)
7. *Kondruchina S., Semenov V., Ivanova T., Veterinariya sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh*, 2020, No. 9, pp. 56–61, EDN: KRJEBE. (In Russ.)
8. *Schuster J.C., Barkema H.W., Vries A.D., Kelton D.F., Orsel K., Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows, Journal of Dairy Science*, 2020, Vol. 103, Iss. 12, pp. 11008–11024, doi.org /10.3168/jds.2020-1904.

9. Timoshenko V.N., Muzyka A.A., Minakov V.N. i dr., *Veterinarnyj zhurnal Belarusi*, 2019, No. 2 (11), pp. 108–112, EDN: SQEZIZ. (In Russ.)
10. Tangorra F.M., Calcante A., Vigone G., Assirelli A., Bisaglia C., Assessment of technical-productive aspects in Italian dairy farms equipped with automatic milking systems: A multivariate statistical analysis approach, *Journal of Dairy Science*, 2022, Vol. 105, Iss. 9, pp. 7539–7549, doi.org/10.3168/jds.2021-20859.
11. Hultgren J., Svensson C., Heifer rearing conditions affect length of productive life in Swedish dairy cows, *Preventive Veterinary Medicine*, 2009, Vol. 89, Iss. 3–4, pp. 255–264, doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.02.012.
12. Blanco-Penedo I., Ouweltjes W., Ofner-Schröck E., Brügemann K., Emanuelson U., Symposium review: Animal welfare in free-walk systems in Europe, *Journal of Dairy Science*, 2020, Vol. 103, Iss. 6, pp. 5773–5782, doi.org /10.3168/jds.2019-17315.
13. SHul'ga L.V., Medvedeva K.L., Lancov A.V. i dr., *ZHivotnovodstvo i veterinarnaya medicina*, 2020, No. 4 (39), pp. 8–11, EDN: XLCXMT. (In Russ.)
14. Zajceva O.V., Lefler T.F., Kurzjukova T.A., *Vestnik KrasGAU*, 2019, No. 4 (145), pp. 67–74, EDN: RNORFC. (In Russ.)
15. Ulimbashev M.B., *Effektivnoe zhivotnovodstvo*, 2019, No. 7 (155), pp. 16–18, EDN: KCLFZD. (In Russ.)
16. Chechenihina O.S., Loretc O.G., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2018, No. 3 (31), pp. 55–59, DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-31-55-59; EDN: YLQXLV. (In Russ.)
17. Walsh S.W., Williams E.J., Evans A.C.O., A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows, *Animal Reproduction Science*, 2011, Vol. 123, Iss. 3–4, pp. 127–138, doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.
18. Skorkin V.K., *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*, 2021, No. 2 (42), pp. 5–10, DOI: 10.51794/27132064-2021-2-5; EDN: NSRJNJ. (In Russ.)

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СЕЛЕКЦИОННО-ПЛЕМЕННОЙ РАБОТЫ В МОЛОЧ- НОМ СКОТОВОДСТВЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Богданова, старший преподаватель

Е.В. Камалдинов, доктор биологических наук, доцент

С.Г. Куликова, доктор биологических наук, профессор

В.В. Гарт, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

А.Ф. Петров, и.о. заведующего лабораторией прикладной биоинформатики

К.Н. Нарожных, кандидат биологических наук

Т.А. Жигулин, аспирант

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: infoplem@yandex.ru

Ключевые слова: селекция, племенная работа, молочное скотоводство, прикладная биоинформатика, региональный совет, племенной союз.

Реферат. Освещены основные достижения и проблемы развития молочного скотоводства, связанные с развитием селекционно-племенной работы в Новосибирской области. С целью устойчивого, поступательного развития отрасли и совершенствования селекционно-племенной работы с молочным скотом в регионе следует поэтапно решить следующие задачи: создание областного/регионального совета по племенной работе; организация Новосибирского племенного союза предприятий молочной отрасли; образование ассистентской службы на базе Новосибирского ГАУ в сотрудничестве с СФНЦА РАН и АО «Новосибирскагроплем» (РИСЦ); формирование единой глобальной базы данных племенных ресурсов СФО, центральных регионов РФ, стран-членов ЕАЭС с использованием зарубежных источников данных; разработка и внедрение информационно-аналитической системы, позволяющей автоматизировать селекционно-племенную работу на уровне хозяйства, региона, страны/стран; автоматизация процесса фенотипирования молочного скота и повышение качества работы оценщиков (классификаторов) экстерьера. Выполнение обозначенных задач будет способствовать консолидации подходов на областном уровне и приведёт к повышению качества первичного зоотехнического учёта, что, в свою очередь, позволит осуществлять оценку генетического потенциала скота молочного направления продуктивности с учётом региональной специфики с высокой точностью. Ожидается, что результатом такой деятельности станет разработка соответствующих отечественных программных инструментов для обретения технологического суверенитета и обеспечения продовольственной безопасности региона и страны.

SCIENTIFIC AND THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE SYSTEM OF IMPROVING SELECTION AND BREEDING WORK IN DAIRY CATTLE BREEDING IN THE NOVOSIBIRSK REGION

O.V. Bogdanova, Senior Lecturer

E.V. Kamaldinov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

S.G. Kulikova, Doctor of Biological Sciences, Professor

V.V. Garth, PhD, Associate Professor

A.F. Petrov, Acting head of the Laboratory of Applied Bioinformatics

K.N. Narozhnykh, PhD in Biological Sciences

T.A. Zhigulin, PhD student

Novosibirsk state agrarian university, novosibirsk, russia

E-mail: infoplem@yandex.ru

Keywords: selection, breeding work, dairy cattle breeding, applied bioinformatics, regional council, tribal union.

Abstract. In the article, the authors presented the main achievements and problems of developing dairy cattle breeding associated with selection and breeding work in the Novosibirsk region. It is necessary to solve the following tasks step by step for the purpose of the sustainable, progressive development of the industry and improvement of selection and breeding work with dairy cattle in the region: the creation of a regional/regional council for breeding work; organization of the Novosibirsk tribal union of dairy industry enterprises; formation of an assistant service based on the Novosibirsk State Agrarian University (NSAU) in cooperation with the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian academy of sciences and JSC Novosibirskagrolep (RSIC – Regional Selection and Information Center); formation of a unified global database of breeding resources of the Siberian Federal District (SFD), the central regions of the Russian Federation, member countries of the EAEU (Eurasian Economic Union) using foreign data sources; development and implementation of an information and analytical system that allows you to automate selection and breeding work at the level of the economy, region, country/countries; automating the process of phenotyping of dairy cattle and improving the quality of the work of assessors (classifiers) of the exterior. The implementation of the tasks outlined will contribute to the consolidation of approaches at the regional level. It will lead to an increase in the quality of primary zootechnical accounting, which, in turn, will allow the assessment of the genetic potential of dairy cattle productivity, taking into account regional specifics, with high accuracy. It is expected that the result of such activities will be the development of appropriate domestic software tools for gaining technological sovereignty and ensuring the food security of the region and the country.

В сложившихся условиях обретение технологического суверенитета АПК и обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации относятся к первоочередным задачам, стоящим перед сельским хозяйством страны, региона и конкретной области.

За последние годы в обеспечении продовольственной независимости нашего государства Новосибирской областью достигнуты определённые успехи.

По данным Министерства сельского хозяйства Новосибирской области [1], наш регион занимает третье место в Российской Федерации по поголовью молочных коров, а по производству и реализации молока входит в десятку. В СФО и за Уралом по этим показателям Новосибирская область – на первом месте. Область обеспечивает себя с профицитом всеми базовыми видами продовольствия.

По данным Росстата [2], производство молока на душу населения в 2022 г. в Новосибирской области увеличилось на 5 % – до 327 кг. Уровень самообеспеченности области молоком достиг 102%. По данному показателю регионом достигнут и превышен целевой показатель обеспеченности населения страны молоком и молочными продуктами (в пересчете на молоко) в масштабах Новосибирской области, который в соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации должен составлять не менее 90% [3].

Средняя молочная продуктивность коров в Новосибирской области с января по сентябрь 2022 г. составила 4783 кг (+429 кг, или 10 % к уровню 2021 г.). Средний надой на фуражную корову в сутки по Новосибирской области на 20 октября 2022 г. достиг 16 кг, что на 2,2 кг (или 16 %) больше в сравнении с аналогичным периодом 2021 г. Ежедневно сельскохозяйствен-

ные предприятия разных форм собственности в области производят 1,8 тыс т молока, что на 180 т (или 11%) выше, чем годом ранее [1]. В современных условиях увеличение производства молока осуществляется, прежде всего, за счёт повышения молочной продуктивности скота, что связано с высоким генетическим потенциалом маточного поголовья.

Основой экономической эффективности ведения молочного скотоводства любого региона и в целом государства является формирование, развитие и совершенствование собственной племенной базы. На базе Федерального закона от 03.08.1995 № 123-ФЗ «О племенном животноводстве» был издан приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 17.11.2011 № 431 «Об утверждении правил в области племенного животноводства “виды организаций, осуществляющих деятельность в области племенного животноводства”, регламентирующий требования к разным видам племенных организаций [5, 6]. Не так давно данный документ был заменен на приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 02.06.2022 № 336 «Об утверждении требований к видам племенных хозяйств», вступивший в силу с 01.03.2023 [7]. Изменения коснулись видов племенных организаций, например, упразднены племенные предприятия (региональные) по хранению и реализации спермы животных-производителей, что в некоторой степени защищает отечественные племенные предприятия по воспроизводству, снижая поток иностранной спермы, реализуемой как племенной материал от проверенных быков-производителей. Другим изменением является появление нового вида племенной организации – ассистентской службы, предоставляющей услуги в области племенного животноводства, в том числе по линейной

оценке экстерьера племенных животных, их бонитировке и проведению контрольных доек. Наличие такой организации повысит качество первичной зоотехнической документации и селекционной работы, ведущейся в хозяйствах, что является серьёзной проблемой отечественного животноводства [8, 9].

Нормативная документация в области племенного животноводства подвергается пересмотру и редактированию для совершенствования работы отрасли с опорой на международные стандарты в области животноводства, предлагаемые организацией ICAR. Однако предстоит еще большая работа для выхода отечественного животноводства на уровень передовых стран в этой области.

На сегодняшний день в Новосибирской области зарегистрировано 32 организации по племенному животноводству, в том числе 4 племенных завода и 9 племенных репродукторов по разведению молочного скота [1].

В регионе пять крупных хозяйств: ЗАО Племязавод «Ирмень» Ордынского района, ООО «Толмачевское» и ООО «Учхоз Тулинское» Новосибирского района, ООО «КФХ Русское Поле» Каргатского района и ООО «Сибирская Нива» Маслянинского района – производят 43 % от общего объема молока, вырабатываемого областью. Во всех этих хозяйствах продуктивность стада превысила 10 000 кг на фуражную корову.

Необходимо заметить, что несмотря на принимаемые меры, уровень развития племенного животноводства области в целом не в полной мере отвечает сегодняшним вызовам.

В Новосибирской области, как и в целом по СФО, существует отложенная угроза стагнации селекционно-племенной работы по сравнению с другими регионами РФ. Данная проблема обусловлена отсутствием единой системы управления племенными ресурсами [10] и систем контроля качества первичного зоотехнического учета, допускающего факты преднамеренного и непреднамеренного искажения исходных данных. Вызывают озабоченность применяемые в настоящее время классические подходы (линейное разведение) к оценке генетического потенциала животных [11], не выдерживающих критики в условиях многолетнего поглотительного скрещивания [12, 13]. Нельзя обойти вниманием и практически полное отсутствие быков отечественной селекции, полученных в России во втором и последующих поколениях без применения племенного материала или животных иностранного происхождения с сопоставимым уровнем генетического потенциала. По некоторым оценкам, доля быков постоянно снижается. Так, по сравнению с 80-ми гг. про-

шлого столетия поголовье быков-производителей в нашей стране сократилось почти в 10 раз. В противовес этому, только в одной Канаде генотируется более 8–10 тыс. быков ежегодно, что позволяет получать лучших по экстерьеру, продуктивности и показателям здоровья животных в мире [14]. В Новосибирской области на племпредприятии АО «Новосибирскагроплем» среднегодовая численность быков-производителей составляет всего около 40 голов, отбираемых специалистами в «ручном режиме» без глубокого анализа генеалогической и генетической структур сибирского отродья черно-пестрого скота. При такой численности производителей сложно ожидать появления улучшателей по ряду хозяйственно полезных признаков. В случае эмбарго или ограничений на использование иностранной спермы вероятно снижение племенной ценности разводимого маточного поголовья и, как следствие, продуктивных качеств.

На региональном уровне нет понимания «модельного животного», к которому должны стремиться предприятия региона для обеспечения необходимого уровня производства молочного сырья, показателей здоровья и продуктивного долголетия скота. Это приводит к тому, что каждое предприятие в меру своего понимания обозначенных вопросов может принимать сомнительные решения, не совместимые с политикой регионального развития, что обусловило отсутствие единого консолидированного подхода к селекционно-племенной работе на племенных предприятиях аграрного сектора. В таких обстоятельствах интенсивное развитие отрасли не представляется возможным, а в случае возможного введения эмбарго на поставку генетического материала может привести к еще более печальным последствиям.

Согласно официальным данным, поголовье коров молочного направления продуктивности с 2017 по 2022 г. по сельскохозяйственным предприятиям, К(Ф)Х и ИП снизилось на 11,3 тыс голов (с 128,3 до 117,0 тыс голов), при этом продуктивность выросла на 1779 кг (с 4521 до 6300 кг). Так, по оперативным данным Министерства сельского хозяйства Новосибирской области, по состоянию на 07.02.2023 поголовье фуражных коров составило 113698 голов, что ниже показателя аналогичного периода прошлого года на 8514 голов [1]. Снижение поголовья коров в сельскохозяйственных организациях произошло несмотря на получение государственной поддержки на производство молока и рост закупочных цен на сырое молоко [15]. В связи с сокращением маточного поголовья в области даже при повышении молочной продуктивности возникает

угроза остановки роста и сокращения валового производства молока.

Таким образом, в Новосибирской области возможно снижение генетического потенциала крупного рогатого скота молочного направления продуктивности в условиях отсутствия как обновленной системы проверки племенной ценности животных, так и необходимого количества племенного поголовья. В конечном итоге это приведет к недополучению молочного сырья и продуктов питания на его основе, ухудшению качества производимой продукции и росту её фальсификации.

Цель работы – разработка основных направлений совершенствования селекционно-племенной работы с молочным скотом Новосибирской области в современных условиях.

Совершенствование селекционно-племенной работы с молочным скотом в Новосибирской области и решение накопившихся проблем в этом направлении представляется поэтапным процессом, в котором должны быть задействованы ведущие отраслевые научно-исследовательские и образовательные центры.

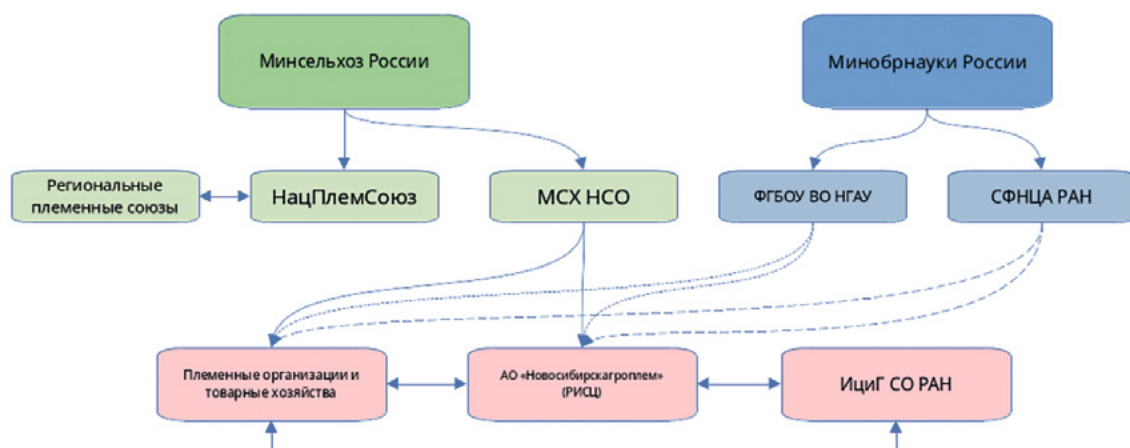
Обретение технологического суверенитета в области селекционно-племенной работы невозможно без возрождения крупномасштабной селекции молочного скота на новых принципах прикладной биоинформатики и математического моделирования. Такая работа должна включать:

- создание областного/регионального совета по племенной работе;
- организацию Новосибирского племенного союза предприятий молочной отрасли;
- образование ассистентской службы на базе Новосибирского ГАУ в сотрудничестве с СФНЦА РАН и АО «Новосибирскагроплем» (РИСЦ);

- формирование единой глобальной базы данных племенных ресурсов СФО, центральных регионов РФ, стран-членов ЕАЭС с использованием зарубежных источников данных;
- разработку и внедрение информационно-аналитической системы, позволяющей автоматизировать селекционно-племенную работу на уровне хозяйства, региона, страны/стран;
- автоматизацию процесса фенотипирования молочного скота и повышение качества работы оценщиков (классификаторов) экстерьерера.

Рассмотрим более детально первостепенные по значимости шаги, которые следует предпринять в ближайшем будущем с целью устойчивого, поступательного развития отрасли и совершенствования селекционно-племенной работы с молочным скотом в регионе.

Создание областного/регионального совета по племенной работе. Любая селекционная работа базируется на научной основе и предполагает использование современных методов разведения, которые должны постоянно обновляться и совершенствоваться. Без такой связи науки и производства невозможно интенсивное развитие отрасли. Участие бизнеса в подобной деятельности без привлечения ведущих ученых ведет либо к стагнации, либо к увеличению зависимости от иностранных технологических решений, что часто и наблюдается на современном этапе развития отрасли. Создание совета позволит обеспечить консолидацию усилий всех заинтересованных сторон с целью разработки и реализации стратегии селекционно-племенной работы в регионе на ближайшую и отдаленную перспективу. В состав совета по племенной работе Новосибирской области должны войти представители науки, образования, государственной власти и бизнеса (рисунок).



Структура совета по племенной работе Новосибирской области
Structure of the Council for Breeding Work of the Novosibirsk Region

Таким образом, очевидное решение обозначенной проблемы находится в плоскости дискуссионной формы принятия решений, играющих ключевую роль в стратегии развития скотоводства Западной Сибири. Создание областного совета по племенной работе представляется логичным шагом в этом направлении.

Организация Новосибирского племенного союза предприятий молочной отрасли. В настоящее время в сельскохозяйственной отрасли предприятия обладают достаточной автономностью и самостоятельностью в принятии ключевых решений в своем развитии. Эта особенность, с одной стороны, позволяет сделать более прозрачными рыночные отношения и обеспечить развитие за счет конкуренции. С другой стороны, такая форма деятельности предприятий нарушает цепочки взаимодействия с другими организациями, которые ранее обслуживали интересы отрасли в целом. В настоящее время эту нишу заняли иностранные компании, предлагающие продукты и решения иностранного происхождения. К сожалению, в связи с нарушением логистических цепочек, поэтапным введением санкций и возможным эмбарго теряется целостность всей отрасли, что требует корректировки со стороны административных структур. Выходом из сложившейся ситуации может стать создание Новосибирского племенного союза предприятий молочной отрасли. Эта структура позволит профильным организациям более тесно взаимодействовать с органами власти разных уровней, представляя интересы членов союза, а также станет инструментом консолидации селекционно-племенной работы в соответствии с вектором развития региона и всей страны. Положительный опыт таких регионов, как Московская область, Республика Татарстан, Республика Удмуртия и др., убедительно свидетельствует о необходимости и своевременности такого шага [16, 17].

Образование ассистентской службы на базе Новосибирского ГАУ в сотрудничестве с СФНЦА РАН и АО «Новосибирскагроплем» (РИСЦ). Согласно приказу Министерства сельского хозяйства РФ № 336 от 02.06.2022, вступающего в силу с 01.03.2023, в регионе должен появиться такой новый вид племенного предприятия, как ассистентская служба. Обязанностями её должны стать экстерьерная оценка животных и участие в проведении контрольных доек, направленных на получение данных первичного зоотехнического учета. Эта деятельность должна сопровождаться использованием инструментов контроля качества, серьезным отраслевым заданием и кадровым резервом, обеспечивающих деятельность в

данном направлении. В Новосибирской области имеются следующие профильные научно-образовательные и племенные организации, обладающие такими компетенциями: ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, СФНЦА РАН и АО «Новосибирскагроплем». Учитывая объем и структуру выполняемых работ в роли ассистентской службы, Новосибирский ГАУ видится в качестве организации, курирующей это направление [7].

Формирование единой глобальной базы данных и информационно-аналитической системы племенных ресурсов РФ, стран-членов ЕАЭС и использованием зарубежных источников данных. Разработка глобальной базы предполагает прямую заинтересованность потенциальных пользователей. В области селекционно-племенной работы требуется наличие максимально возможного объема информации из разнообразных источников. В противном случае точность оценки генетического потенциала животных, а также генеалогической структуры популяций будет значительно снижена, что приведет к негативным последствиям в животноводческой и перерабатывающей отраслях. Создание такой структуры требует привлечения междисциплинарных компетенций и соответствующих исследовательских проектов, тесно связанных с производством. Разработка информационно-аналитической системы даст дополнительный толчок в принятии объективных решений в отдельно взятых предприятиях и регионе. Это позволит значительно снизить роль человеческого фактора и положительно скажется на развитии всей молочной отрасли.

Применение данной системы по примеру других регионов РФ позволит Новосибирской области не только занять лидирующие позиции в нашей стране в такой стратегически важной сфере, как сельскохозяйственная селекция и генетика, но и создаст основу для устойчивого роста производства животноводческой продукции с сохранением здоровья животных, без зависимости от иностранных технологий и решений. Считаем необходимым поддержку данного направления для устойчивого развития региона.

Наряду с обеспечением технологического суверенитета в нашем регионе важным последствием возможного отраслевого лидерства Новосибирской области в селекционно-племенной работе является сотрудничество с регионами стран ЕАЭС. Масштабирование создаваемых решений значительно повышает устойчивость создаваемой системы и ускоряет ее разработку. Следствием такой деятельности может стать увеличение объема продаж пле-

менных животных и материала, а также создание новых родственных групп, обеспечивающих независимое от недружественных стран обретение продовольственной безопасности.

Таким образом, решение обозначенных задач по совершенствованию селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве будет способствовать консолидации подходов на областном уровне и приведёт к повышению качества первичного зоотехнического учёта.

Это, в свою очередь, позволит осуществлять оценку генетического потенциала скота молочного направления продуктивности с учётом региональной специфики с высокой точностью. Ожидается, что результатом такой деятельности станет разработка соответствующих отечественных программных инструментов, приведёт к обретению технологического суверенитета и обеспечит продовольственную безопасность региона и страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Министерство сельского хозяйства Новосибирской области*: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://mcx.nso.ru/page/3382> (дата обращения: 24.04.2023).
2. *Федеральная служба государственной статистики*: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 24.04.2023).
3. *Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации* [Электронный ресурс]. – URL: <http://kremlin.ru/acts/news/62627> (дата обращения: 24.04.2023).
4. *Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2021) / Г.И. Шичкин [и др.]*. – М.: ФГБНУ ВНИИплем. – 2022. – 262 с.
5. *О племенном животноводстве*: Федеральный закон от 03.08.1995 № 123-ФЗ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9012720> (дата обращения: 24.04.2023).
6. *Об утверждении правил в области племенного животноводства «виды организаций, осуществляющих деятельность в области племенного животноводства»*: приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 17.11.2011 №431. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902322241> (дата обращения: 24.04.2023).
7. *Об утверждении требований к видам племенных хозяйств*: приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 02.06.2022 №336. [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208300022> (дата обращения: 24.04.2023).
8. *Достоверность данных первичного зоотехнического учёта в молочном скотоводстве / Е.В. Камалдинов, А.Ф. Петров, К.С. Шатохин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 2 (63). – С. 76–83. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-76-83.
9. *Роль фиксированных факторов в изменчивости удоя скота ирменского типа в условиях промышленного комплекса / А.Ф. Петров, Е.В. Камалдинов, О.В. Богданова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 4 (61). – С. 137–149. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149.
10. *Мымрин С.В.* Развитие племенного животноводства Российской Федерации: роль регионального информационно- селекционного центра в системе племенной работы // *Аграрный вестник Урала*. – 2017. – № 2 (156). – С. 7.
11. *Проблемы и вопросы при прогнозировании генетической племенной ценности сельскохозяйственных животных / А.Е. Калашников, А.И. Голубков, Н.Ф. Щегольков [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 4 (65). – С. 77–96. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96.
12. *Чёрно-пёстрый скот Сибири / А.И. Жёлтиков, В.Л. Петухов, О.С. Короткевич [и др.] / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2010. – 500 с.*
13. *Куликова С.Г., Елкин Н.Н.* Продуктивное долголетие коров в зависимости от кровности по голштинской породе и линейной принадлежности // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2010. – № 3 (15). – С. 68–72.
14. *Академик РАН предупредила об опасной динамике сокращения быков-производителей* [Электронный ресурс]. – URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/akademik-ran-predupredila-ob-opasnoj-dinamike-sokrashheniya-pogolovya-bykov-proizvoditelej/> (дата обращения; 24.04.2023).

15. Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Новосибирской области: постановление Правительства Новосибирской области от 02.02.2015 № 37-п с изм., внесенными постановлением Правительства Новосибирской области от 16.03.2022 № 94-п (ред. 16.05.2022) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/465710313> (дата обращения 24.04.2023).
16. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://agro.tatarstan.ru/index.htm/news/2118914.htm> (дата обращения: 24.04.2023).
17. АО «Московское» по племенной работе: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mos-bulls.ru/np-mosplem/> (дата обращения: 24.04.2023).

REFERENCES

1. <https://mcx.nso.ru/page/3382>
2. <https://rosstat.gov.ru/>
3. *Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii*, 2020: <http://kremlin.ru/acts/news/62627> (In Russ.)
4. Shichkin G.I., *Ezhegodnik po plemennoj rabote v molochnom skotovodstve v hozyajstvax Rossijskoj Federacii (2021)* (Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2021)), Moscow: FGBNU VNIImplem, 2022, 262 p.
5. *FZ RF* (Code of laws of the Russian Federation), 1995, No. 123, art. 17: <https://docs.cntd.ru/document/9012720>.
6. *Prikaz Ministerstva sel'skogo hozyajstva RF*, 2011, No 431: <https://docs.cntd.ru/document/902322241>.
7. *Prikaz Ministerstva sel'skogo hozyajstva RF*, 2022, No 336: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208300022>.
8. Kamaldinov E.V., Petrov A.F., i dr., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2022, No. 2 (63), pp. 76–83. (In Russ.)
9. Kamaldinov E.V., Petrov A.F. i dr., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2021, No. 4 (61), pp. 137–149. (In Russ.)
10. Mymrin S.V., *Agrarnyj vestnik Ura*, 2017, No. 2 (156), pp. 7. (In Russ.)
11. Kalashnikov A.E., Golubkov A.I., Schegolkov N.F., Gosteva E.R., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2022, No. 4 (65), pp. 77–96. (In Russ.)
12. Zhyoltikov A.I. i dr., *Chyorno-pyostryj skot Sibiri* (Black-and-white cattle of Siberia), Novosibirsk: NGAU, 2010, 500 p.
13. Kulikova S.G., Elkin N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2010, No. 3 (15), pp. 68–72. (In Russ.)
14. <https://vetandlife.ru/sobytiya/akademik-ran-predupredila-ob-opasnoj-dinamike-sokrashheniya-pogolovya-bykov-proizvoditelej/>
15. *Postanovlenie Pravitel'stva Novosibirskoj oblasti*, 2015, No 37-п: <https://docs.cntd.ru/document/465710313>.
16. <https://agro.tatarstan.ru/index.htm/news/2118914.htm>
17. <https://www.mos-bulls.ru/np-mosplem/>

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕАЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАДА МАТОК АБЕРДИН-АНГУССКОЙ ПОРОДЫ ПО ГРУППАМ КРОВИ И ДНК-МАРКЕРУ CASTUOGC282G

В.М. Габидулин, доктор сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия.

E-mail: Gabidulin.V.M@yandex.ru

Ключевые слова: абердин-ангусская порода, коровы, группа крови, аллели, продуктивность, живая масса, молочность, генотипы.

Реферат. Анализ результатов исследований показал, что частота встречаемости антигена по локусам распределилась с высокой вариабельностью от 0 до 75 %. В локусе С концентрация антигена R₁ была максимальной в группах коров быков-производителей Бисмарка – 60% и Дизайна – 75%. В группе коров быка Бисмарка не выявлены антигены W' в локусе С и в локусе F-V антиген V, а в группе коров быка-производителя Дизайна – антигены B', O' в локусе В и H'' в локусе S'. Сравнительная характеристика основных селекционных признаков коров двух групп локуса В группы крови не выявила достоверной разницы в показателях их продуктивности. Вместе с тем коровы 2-й группы с живой массой 629,3±17,6 кг превосходили сверстниц 1-й группы на 7,4% (P≤0,05), по высоте в крестце (133,80±0,88 см) – на 3,2% (P≤0,01). Выявленная разница показателей селекционных признаков между группами коров связана с генетическим доминированием быка-производителя Дизайна и его препотентностью. По результатам генотипирования животных двух экогрупп по аллельному составу гена CASTUOGC282G установлено превосходство гомозиготных генотипов CC и GG относительно гетерозиготных CG по группе Бисмарка на 0,12 и 0,24 ед., по группе Дизайна – на 0,25 и 0,17 ед. Матки быка Бисмарка с аллельным набором GG были достоверно тяжелее соплеменниц генотипа CC – на 3,8% (P≤0,05), CC относительно CG – на 5,1 (P≤0,01) и GG относительно CG – на 2,3% (P≤0,001). Аналогично представительницы производителя Дизайна с генотипом GG по сравнению со сверстницами генотипа CC достоверно имели преимущество на 8,3% (P≤0,01) и CG – на 10,7% (P≤0,001). Коровы группы производителя Дизайна 1015 трех генотипов – GG, CC и CG были тяжелее коров группы Бисмарка 5682 на 11,6 (P≤0,001); 4,6 (P≤0,01) и 12,4% (P≤0,001). При этом самый низкий показатель коэффициента изменчивости был по высоте в крестце в обеих группах по всем генотипам (3,66–2,19%), что свидетельствует о генетической предрасположенности животных наследовать данный селекционный признак потомством.

CHARACTERISTICS OF THE GENEALOGICAL STRUCTURE OF THE HERD OF ABERDEEN-ANGUS BREED BY BLOOD TYPES AND DNA MARKER CASTUOGC282G

V.M. Gabidulin, Doctor of Agricultural Sciences

Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.

E-mail: Gabidulin.V.M@yandex.ru

Keywords: Aberdeen Angus breed, cows, blood type, alleles, productivity, live weight, milk production, genotypes.

Abstract. Analysis of the research results showed that the antigen's occurrence frequency by loci was distributed with high variability from 0 to 75%. At locus C, the concentration of R₁ antigen was the highest in the groups of cows of Bismarck sires - 60% and Design - 75%. In the group of cows of the Bismarck bull, antigens W' were not detected in the C locus and antigen V in the F-V locus, and antigens B', O' in the B locus and H'' in the S' locus were not detected in the group of cows of the Design bull. Comparative characteristics of the main breeding traits of cows of two groups of locus B of the blood group did not reveal a significant difference in their productivity. At the same time, cows of the 2nd group with a live weight of 629.3±17.6 kg were superior to their peers of the 1st group by 7.4% (P≤0.05), in terms of height in the sacrum (133.80±0.88 cm) - by 3.2% (P≤0.01). The revealed difference in the indicators of breeding traits between groups of cows is associated with the genetic

dominance of the sire Design bull and its prepotency. According to the results of genotyping of animals of two eco-groups according to the allelic composition of the CASTUOGC282G gene, the superiority of homozygous genotypes CC and GG relative to heterozygous CG in the Bismarck group by 0.12 and 0.24 units, in the Design group - by 0.25 and 0.17 units. The uterus of the Bismarck bull with the GG allelic set was significantly heavier than the females of the CC genotype - by 3.8% ($P \leq 0.05$), CC relative to CG - by 5.1 ($P \leq 0.01$) and GG close to CG - by 2.3% ($P \leq 0.001$). Similarly, female representatives of Design with genotypes GG had a significant advantage by 8.3% ($P \leq 0.01$) and CG by 10.7% ($P \leq 0.001$) compared with peers of the CC genotype. The cows of the sire group Design 1015 of three genotypes - GG, CC and CG were heavier than the cows of the Bismarck 5682 group by 11.6 ($P \leq 0.001$); 4.6 ($P \leq 0.01$) and 12.4% ($P \leq 0.001$). At the same time, the lowest indicator of the coefficient of variability was the height in the sacrum in both groups for all genotypes (3.66–2.19%), which indicates the genetic predisposition of animals to inherit this selection trait in offspring.

Абердин-ангусская порода мясного скота в России – самая динамично развивающаяся. По данным ежегодника по племенной работе, в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2021 г. общее поголовье племенного мясного скота составило 360520 голов. В структурном отношении среди мясных пород абердин-ангусы занимали 26,8% племенного поголовья – 86256 голов [1].

Основная масса ангусского скота, разводимого в нашей стране, – это животные американской, канадской, австралийской и незначительная часть европейской селекции.

В Курганской области в К(Ф)Х Шмаков В.Ю. стадо абердин-ангусской породы начало формироваться с импорта скота из Австралии в 2009 г. в количестве 400 тёлочек 13–15-месячного возраста и 12 бычков в возрасте 18–24 месяца. Впоследствии для воспроизводства стада применялось искусственное осеменение маточного поголовья глубоководным семенем от выдающихся производителей австралийской и отечественной селекции.

Прорывным событием селекции в животноводстве, в том числе мясном скотоводстве, стала расшифровка последовательности генома всех видов животных, что открывает современные возможности их совершенствования [2–13].

Для исследований было выбрано определение полиморфизма гена кальпастина CASTUOGC282G, влияющего на рост мышечной массы, а значит, на один из важных селекционных признаков – показатель живой массы животных, имеющий значение при оценке мясной продуктивности мясных пород скота. Кальпастин располагается в пятом интроне гена CasT7 и выполняет роль ингибитора гена кальпаина CAPN1 [14].

Результаты исследований по выявлению генетической разновидности двух экогрупп стада абердин-ангусского скота с применением эритроцитарных антигенных факторов станут дополняющим звеном в совершенствовании селекционного процесса.

Цель исследования заключалась в изучении аллелофонда групп крови по системе ЕАВ в сочетании с полиморфизмом гена-маркера CASTUOGC282G коров стада абердин-ангусского скота и выявлением их связи с селекционными признаками.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования были 80 чистопородных коров в возрасте 5 лет стада абердин-ангусской породы, 40 коров от быка-производителя Бисмарка 5682 австралийской селекции и 40 коров быка-производителя Дизайна 1015 отечественной селекции, рожденные в К(Ф)Х Шмаков В.Ю. Курганской области. При работе с животными и экспериментальных исследований руководствовались требованиями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996). В процессе проведения исследований были приняты меры по минимизации травматизма и забора количества биосубстратов у животных. Для изучения аллельного фонда по группам крови исследуемых животных проводили забор их крови и помещали ее в стеклянные ёмкости с 600 мкл этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) до получения объёма 10 мл. Гематологические анализы были проведены по стандартным реагентам (база реагентов – 51 ед.) в лаборатории книг племенных животных и иммуногенетической экспертизы ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН [15]. Показатели продуктивности животных брали из данных зоотехнического и племенного учёта.

На основе ДНК, выделенной из крови с использованием набора праймеров, было проведено генотипирование животных. Фрагменты ДНК амплифицировали на программируемом термоциклере MyCycler (Bio-Rad, США). Для ПЦР использовали Taq полимеразу (5 ед/мкл) с поставляемым буфером – 10xTag буфер, ко-

торый предназначен для выявления бинарной SNP-мутации в пробах ДНК методом ПЦР в

реальном времени с использованием аллель-специфичных зондов (ООО «Синтол») (табл.1).

Таблица 1

Праймеры для амплификации фрагментов генов ДНК и программа проведения ПЦР
Primers for amplification of DNA gene fragments and PCR program

Гены	Праймеры	Программа ПЦР
CAST UOG C282G	5' – ACATTCTCCCCACAGTGCC – 3' 5' – GACAGA GTCTGCGTTTTGCTC – 3'	1. 95 °C 120 с × 1 2. 64 °C 40 с × 40 3. 95 °C 20 с × 40

Частоту встречаемости генотипов определяли по формуле $p=n/N$, где p – частота генотипа; n – количество особей, имеющих определённый генотип; N – число особей.

Частоту отдельных аллелей определяли по формулам:

$$pA = (2nAA + nAB) \div 2N;$$

$$qB = (2nBB + nAB) \div 2N,$$

где pA – частота аллеля A ; qB – частота аллеля B ; N – общее число аллелей.

Лабораторные исследования были проведены в ЦКП в лаборатории Агроэкологии техногенных наноматериалов ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации RA. RU.21ПФ59 от 02.12.2015).

Статистическая обработка полученного материала осуществлена с использованием стандартного пакета Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США) и Microsoft Excel (Microsoft, США).

Достоверными считали значения при $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$.

Для проведения исследования были сформированы две опытные группы коров: 1-я группа ($n = 40$) – потомки Бисмарка 5682 и 2-я группа ($n = 40$) – потомки Дизайна 1015.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты антигенного анализа опытных групп коров стада абердин-ангусской породы К(Ф)Х Шмаков В.Ю. показали, что генеалогическая структура обеих групп основывается на взаимодействии 30 антигенов банка по системе EAB групп крови, локусов A, B, C, F-V, L, M, S1, Z, R (табл. 2).

Таблица 2

Наличие антигенов у опытных групп коров
The presence of antigens in experimental groups of cows

Локус	1-я группа			2-я группа		
	Антиген	Количество голов	$g \pm m_g, \%$	Антиген	Количество голов	$g \pm m_g, \%$
1	2	3	4	5	6	7
A	A ₁	3	7,5	A ₁	11	27,5
	A ₂	6	15,0	A ₂	4	10,0
	D'	12	30,0	D'	14	35,0
B	B'	5	12,5	B'	-	0
	B ₂	11	27,5	B ₂	10	25,0
	G''	9	22,5	G''	13	32,5
	K	9	22,5	K'	1	2,5
	O'	8	20,0	O'	-	0
	O ₄	10	25,0	O ₄	9	22,5
	E' ₃	11	27,5	E' ₃	22	55,0
	Y ₂	1	2,5	Y ₂	3	7,5

1	2	3	4	5	6	7
C	C ₂	9	22,5	C ₂	19	47,5
	R ₁	24	60,0	R ₁	30	75,0
	W'	-	0	W'	1	2,5
F-V	V	-	0	V	4	10,0
	F	9	22,5	F	17	42,5
S'	S ₁	13	32,5	S ₁	10	25,0
	Z	3	7,5	Z	4	10,0

Частота встречаемости антигенов по локусам распределилась в обеих группах с большой разницей – от 0 до 75%. При этом установлено, что в локусе С концентрация антигена R₁ была максимальной у коров 1-й группы – 60%, 2-й группы – 75%, а антигена W' минимальной – 0 и 2,5% соответственно. Выявлено также отсутствие отдельных антигенов в одной из групп и наличие их в другой. Так, в 1-й группе не выявлены антигены W' в локусе С и V в локусе F-V, во 2-й B', O' в локусе В и H'' в локусе S. Данное явление может быть связано с воздействием генетического детерминирования, так как быки-производители Бисмарк 5682 и Дизайн 1015 являются продолжателями генеалогических линий Тревелера 044 и Нью Дизайна 36 соответственно. При этом в локусе А насыщенность антигеном D' составила в 1-й группе 30% и во 2-й 35%, в локусе В частота антигена B₂ – 27,5 и 25,0, антигена O₄ – 25,0 и 22,5, в локусе С антигена R₁ – 60,0 и 75,0, в локусе S' антигена S₁

– 32,5 и 25,0, U – 30,0 и 47,5% соответственно. Это свидетельствует о том, что в родословных данных быков-производителей имеются общие предки. Различная частота встречаемости антигенов в опытных группах не способствовала выявлению достоверной разницы в показателях селекционных признаков. Вместе с тем коровы 2-й группы с живой массой 629,3 ± 17,6 кг превосходили сверстниц 1-й группы на 7,4% (P ≤ 0,05), по высоте в крестце (133,8 ± 0,88 см) – на 3,2% (P ≤ 0,01). Выявленная разница показателей селекционных признаков между группами коров связана с генетическим доминированием быка-производителя Дизайна и его препотентностью.

Дальнейшим алгоритмом наших исследований было изучение аллельного профиля гена-маркера CASTUOGC282G у коров Бисмарка (n = 27) и Дизайна (n = 36) (табл. 3). У 17 опытных животных в пробах крови по некоторым причинам ДНК не была выделена.

Таблица 3

Аллельные профили гена-маркера CASTUOGC282G у коров
Allelic profiles of the CASTUOGC282G marker gene in cows

Группа	Количество генотипов						Частота аллеля, ед.	
	CC		CG		GG			
	гол.	ед.	гол.	ед.	гол.	ед.	C	G
1-я	12	0,24	6	0,12	18	0,36	0,417	0,583
2-я	13	0,26	5	0,1	9	0,18	0,574	0,426

Характеристика опытной группы коров по наличию аллельных вариантов показывает преимущество гомозиготных вариантов CC и GG в обеих группах. В 1-й группе количество генотипов CC имело превосходство относительно гетерозиготных генотипов CG на 0,12 ед. и GG относительно CG на 0,24 ед., во 2-й группе – 0,25 и 0,17 ед. Разница в частоте аллелей между

G и C в 1-й группе составила 0,166 ед., во 2-й группе между C и G – 0,148 ед. По результатам анализа показателей хозяйственно полезных признаков генотипированных в обеих группах коров установлено достоверное преимущество гомозиготных GG-генотипов по показателям живой массы (табл. 4).

Таблица 4

Показатели продуктивности генотипированных коров
Productivity indicators of genotyped cows

Группа	Генотип	Живая масса, кг		Молочность, кг		Высота в крестце, см	
		X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %
1-я	CC	567,30±5,32	5,45	211,10±3,90	6,12	129,10±1,22	3,12
	CG	539,70±2,17	4,90	217,80±6,47	6,64	128,30±1,38	2,40
	GG	588,60±7,93	5,56	217,50±2,91	5,51	131,20±1,04	3,26
2-я	CC	606,60±8,50	5,09	214,40±5,15	8,20	130,40±0,92	2,38
	CG	593,40±7,75	4,53	221,60±3,90	4,93	130,80±2,48	3,66
	GG	656,70±9,35	4,03	221,40±8,12	7,34	132,70±1,08	2,19

Коровы генотипа GG 1-й группы австралийской селекции были тяжелее сверстниц с аллельным набором CC на 3,8 % ($P \leq 0,05$), CG – на 5,1 ($P \leq 0,01$), по остальным показателям не выявлено достоверного преимущества. Гомозиготные животные GG 2-й группы отечественной селекции относительно сверстниц генотипов CC имели достоверное превосходство на 8,3 % ($P \leq 0,01$) и CG – на 10,7 % ($P \leq 0,001$). Вместе с тем 2-я группа маток трех генотипов – GG, CC и CG достоверно прева-

лировала над коровами 1-й группы по живой массе: на 11,6 ($P \leq 0,001$); 4,6 ($P \leq 0,01$) и 12,4% ($P \leq 0,001$). При этом самый низкий показатель коэффициента изменчивости был по показателю высоты в крестце в обеих группах по всем генотипам – 3,66–2,19%, что свидетельствует о генетической предрасположенности животных наследовать данный селекционный признак потомством. Общая сумма показателей продуктивности коров двух экогрупп представлена в табл. 5.

Таблица 5

Показатели продуктивности двух экогрупп по генотипам
Productivity indicators of two eco groups by genotypes

Генотип	Количество голов	Живая масса, кг		Молочность, кг		Высота в крестце, см	
		X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %
CC	25	580,90±6,37	5,37	213,80±3,17	7,16	131,30±0,85	3,16
CG	11	570,10±17,41	9,87	219,50±4,62	6,67	131,70±1,73	4,14
GG	27	611,30±8,74	7,29	218,90±2,27	5,29	133,70±1,03	3,92

Показатели живой массы двух групп коров гомозиготных генотипов GG достоверно превосходили сверстниц с аллельным набором CC и CG – на 5,2 ($P \leq 0,01$) и 7,2% ($P \leq 0,05$), по остальным признакам достоверной разницы не выявлено. Коэффициент корреляции между живой массой коров и их молочностью составил $r = 0,36$, между живой массой коров и высотой в крестце $r = 0,72$.

Отбор коров в стаде абердин-ангусской породы гомозиготных генотипов GG по результатам полиморфизма гена-маркера кальпастина CASTUOGC282G будет способствовать достоверному увеличению показателя их живой массы на 5,2–7,2% и наследованию высотного

промера – высоты в крестце. Наследуемость живой массы и высоты в крестце составила 0,52.

У гомозиготных генотипов GG метаболизм происходит значительно интенсивнее, что, безусловно, приводит к наиболее частому образованию разрывов в микроволокнах мышц и способствует росту мышечной ткани.

В целях увеличения показателей продуктивности и совершенствования стада абердин-ангусского скота К(Ф)Х Шмаков В.Ю. дополнительным инструментом в селекционном процессе может стать анализ стада на полиморфизм каскада генов, влияющих на селекционные признаки.

ВЫВОДЫ

1. Результаты иммуногенетической экспертизы антигенного анализа группы крови по системе EAB у опытных коров стада абердин-ангусской породы, не выявили достоверной разницы в показателях селекционных признаков.

2. Анализ проведённых исследований на основании определения полиморфно-

го варианта гена-маркера кальпастатина CASTUOGC282G выявил достоверное преимущество гомозиготных GG генотипов по показателям живой массы у коров австралийской и отечественной селекции.

Исследования выполнены в рамках темы НИР FNWZ-2021-0001

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации* (2021 год). – М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем, 2022. – С. 162.
2. *Молекулярно-генетические маркеры в селекционной работе разными видами сельскохозяйственных животных* / М.И. Селионова, Е.А. Гладырь [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2012. – № 2. – С. 30–35.
3. *Методы маркер-зависимой селекции* / Н. Зиновьева, Е. Гладырь, Г. Державина, Е. Кунаева // Животноводство России. – 2006. – № 3. – С. 29–31.
4. *Роль ДНК-маркеров признаков продуктивности сельскохозяйственных животных* / Н.А. Зиновьева, О.В. Костюнина, Е.А. Гладырь [и др.] // Зоотехния. – 2010. – № 1. – С. 8–10.
5. *Габидулин В.М., Алимова С.А.* Селекционно-генетические параметры хозяйственно полезных признаков генотипированного молодняка абердин-ангусского скота по генам CAPN1 CAST и BGN // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 289–294.
6. *Габидулин В.М., Алимова С.А., Тюлебаев С.Д.* Современные методы эффективного использования генофонда абердин-ангусского скота австралийской селекции с использованием ДНК-маркеров // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 2 (22). – С. 28–30.
7. *Polymorphisms of CAPN1, CAST, GDF5, TG5 and GH genes in Russian Hereford cattle* / K. Dzhulamanov, N. Gerasimov, M. Dubovskova, A. Baktygalieva // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2019. – Vol. 25 (2). – P. 375–379.
8. *Сурундаева Л.Г.* Комплексная оценка биологических особенностей и продуктивных качеств пород и новых типов мясного скота: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Оренбург, 2020. – 47 с.
9. *Состояние аллельных форм генов CAPN1, CAST и сочетаемость разных линий в популяции брединского мясного типа симменталов* / С.Д. Тюлебаев, М.Д. Кадышева, С.М. Канатпаев, В.Г. Литовченко // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 2 (98). – С. 52–57.
10. *Calus M.P.L.* Genomic breeding value prediction: methods and procedures // Animal. – 2010. – Vol. 4, N 2. – P. 157–164.
11. *Integrating gene expression data into genomic prediction* / Z. Li, N. Gao, J.W.R. Martini, H. Simianer // Front. Genet. – 2019. – 10:126.10.3389/fgene.2019.00126.
12. *Ассоциация генотипов β-лактоглобулина у овец романовской породы с гематологическими показателями крови* / Е.А. Климанова, З.Т. Поповски, Т.В. Коновалова, Е.И. Тарасенко, О.С. Короткевич, О.И. Себежко // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4. – С. 126–136.
13. *Моисейкина Л.Г., Убушиева А.В., Убушиева В.С.* Сравнительный анализ фенотипических данных и генетической структуры популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4. – С. 167–174.
14. *Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle* / F.S. Schenkel, S.P. Miller, Z. Jiang [et al.] // J. Anim. Sci. – 2006. – Vol. 84, N 2. – P. 291–299.
15. *Сороковой П.Ф.* Методические рекомендации по использованию групп крови в селекции крупного рогатого скота. – Дубровицы: ВИЖ, 1972. – 40 с.

REFERENCES

1. *Yezhegodnik po plemennoy rabote v myasnom skotovodstve v khozyaystvakh ros-siyskoy federatsii* (Yearbook on breeding work in beef cattle breeding in the farms of the Russian Federation) (2021 god), Moscow: Izdatel'stvo FGBNU VNIIPlem, 2022, pp. 162. (In Russ.)
2. Selionova M.I., Gladyr' Ye.A. i dr., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2012, No. 2, pp. 30–35. (In Russ.)
3. Zinov'yeva N., Gladyr' Ye., Derzhavina G., Kunayeva Ye., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2006, No. 3, pp. 29–31. (In Russ.)
4. Zinov'yeva N.A., Kostyunina O.V., Gladyr' Ye.A., Bannikova A.D., Kharzinova V.R., Larionova P.V., Shavyrina K.M., Ernst L.K., *Zootekhnika*, 2010, No. 1, pp. 8–10. (In Russ.)
5. Gabidulin V.M., Alimova S.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 6 (92), pp. 289–294. (In Russ.)
6. Gabidulin V.M., Alimova S.A., Tyulebayev S.D., *Vestnik Kurganskoy GSKHA*, 2017, No. 2 (22), pp. 28–30. (In Russ.)
7. Dzhulamanov K., Gerasimov N., Dubovskova M., Baktygalieva A., Polymorphisms of CAPN1, CAST, GDF5, TG5 and GH genes in Russian Hereford cattle, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019, Vol. 25 (2), pp. 375–379.
8. Surundayeva L.G., *Kompleksnaya otsenka biologicheskikh osobennostey i pro-ektivnykh kachestv porod i novykh tipov myasnogo skota* (Comprehensive assessment of biological characteristics and productive qualities of breeds and new types of beef cattle), Doctors thesis, Orenburg, 2020, 47 p.
9. Tyulebayev S.D., Kadyshcheva M.D., Kanatpayev S.M., Litovchenko V.G., *Vestnik myasnogo skotovodstva*, 2017, No. 2 (98), pp. 52–57. (In Russ.)
10. Calus M.P.L., Genomic breeding value prediction: methods and procedures, *Animal*, 2010, Vol. 4, No. 2, pp. 157–164.
11. Li Z., Gao N., Martini J. W. R., Simianer H., Integrating gene expression data into genomic prediction, *Front. Genet.*, 2019, 10:126.10.3389/fgene.2019.00126.
12. Klimanova E.A., Popovsky Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezhenko O.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2021, No. 4, pp. 126–136 (In Russ.)
13. Moiseikina L.G., Ubushieva A.V., Ubushieva V.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2022, No. 4, pp. 167–174. (In Russ.)
14. Schenkel F.S., Miller S.P., Jiang Z., Mandell I.B., Ye X., Li H., Wilton J.W., Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle, *J. Anim. Sci.*, 2006, Vol. 84, No. 2, pp. 291–299.
15. Sorokovoy P.F., *Metodicheskiye rekomendatsii po ispol'zovaniyu grupp kro-vi v selektsii krupnogo rogatogo skota* (Guidelines for the use of blood groups in cattle breeding), Dubrovitsy: VIZH, 1972. 40 p.

РЕЗИСТЕНТНОСТЬ К АНТИМИКРОБНЫМ СРЕДСТВАМ МИКРОФЛОРЫ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ ПРИ ОСТРОМ ПОСЛЕРОДОВОМ ЭНДОМЕТРИТЕ У КОРОВ

¹Н.Н. Горб, кандидат ветеринарных наук

²Е.Ю. Смертина, доктор ветеринарных наук

¹А.В. Мерк, аспирант

¹В.М. Сороколетова, кандидат биологических наук

¹М.В. Лазарева, кандидат ветеринарных наук

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: natalya-gorb@mail.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, острый послеродовой эндометрит, микрофлора, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, чувствительность, дискодиффузионный метод, антибиотик.

Реферат. Представлены данные о видовой структуре микрофлоры, выделенной от коров, больных острым послеродовым гнойно-катаральным эндометритом. При остром послеродовом эндометрите в смывах из цервикального канала выделены представители 8 родов микроорганизмов. Идентификация изолятов до вида показала, что наиболее часто у больных коров выделяли *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Эти микроорганизмы чаще встречались в ассоциациях: *Escherichia coli* + *Streptococcus pyogenes*; *Staphylococcus aureus* + *Streptococcus pyogenes* и *Proteus vulgaris* + *Staphylococcus epidermidis*. На устойчивость к 9 фармакологическим группам антимикробных средств протестированы диско-диффузионным методом *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Всего в работе протестировано 48 изолятов к 15 антибактериальным препаратам. Изученные изоляты микроорганизмов показали множественную лекарственную устойчивость – были резистентны к препаратам трех и более фармакологических групп. Высокую резистентность (80% и более изолятов, не показавших задержки зоны роста) микроорганизмы показали к препаратам: неомицину (аминогликозиды) и бензилпенициллину (пенициллины) — *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*; ванкомицину (гликопептиды), полимиксину (полимиксины) — *Streptococcus pyogenes* и *Escherichia coli*; ампициллину (пенициллины), тетрациклину (тетрациклины), цефазолину (цефалоспорины), ципрофлоксацину (фторхинолоны) — только *Staphylococcus aureus*; линкомицину (линкозамиды), тилозину (макролиды) — только *Escherichia coli*; стрептомицину (аминогликозид) — только *Streptococcus pyogenes*.

RESISTANCE TO ANTIMICROBIALS OF THE MICROFLORA EXTRACTED IN ACUTE POSTPARTUM ENDOMETRITIS IN COWS

¹N.N. Gorb, PhD in Veterinary Sciences

²E.Yu. Smertina, Doctor of Veterinary Sciences

¹A.V. Merck, PhD student

¹V.M. Sorokoletova, PhD in Biological Sciences

¹M.V. Lazareva, PhD in Veterinary Sciences

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: natalya-gorb@mail.ru

Keywords: cattle, acute postpartum endometritis, microflora, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, sensitivity, disc diffusion method, antibiotic.

Abstract. In the article, the authors presented data on the species structure of the microflora isolated from cows with acute postpartum purulent-catarrhal endometritis. In acute postpartum endometritis, representatives of 8 genera of microorganisms were isolated in washings from the cervical canal. Identification of isolates to the species showed that *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were most often isolated from

sick cows. These microorganisms were more common in associations: *Escherichia coli* + *Streptococcus pyogenes*; *Staphylococcus aureus* + *Streptococcus pyogenes*. And *Proteus vulgaris* + *Staphylococcus epidermidis*. The disk diffusion method tested *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* for resistance to 9 pharmacological groups of antimicrobial agents. In total, 48 isolates of 15 antibacterial drugs were tested in the work. The studied isolates of microorganisms showed multiple drug resistance. The authors revealed resistance to drugs of three or more pharmacological groups. Microorganisms showed high resistance (80% or more of isolates that did not show growth zone retardation) to drugs: neomycin (aminoglycosides) and benzylpenicillin (penicillins) - *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*; vancomycin (glycopeptides), polymyxin (polymyxins) - *Streptococcus pyogenes* and *Escherichia coli*; ampicillin (penicillins), tetracycline (tetracyclines), cefazolin (cephalosporins), ciprofloxacin (fluoroquinolones) - only *Staphylococcus aureus*; lincomycin (lincosamides), tylosin (macrolides) - only *Escherichia coli*; streptomycin (aminoglycoside) - only *Streptococcus pyogenes*.

Интенсивные технологии ведения животноводства и высокая скорость селекции животных с второстепенным учетом факторов, определяющих здоровье скота, привели к увеличению доли гинекологических заболеваний в нозологическом профиле незаразных патологий. Наибольшую опасность в настоящее время представляют воспалительные заболевания репродуктивных органов – метриты, из них самым распространенным является острый послеродовой гнойно-катаральный эндометрит [1, 2]. При несвоевременном или неэффективном лечении острый послеродовой эндометрит может переходить в хронический, что обуславливает бесплодие коров в течение длительного времени [3, 4]. Кроме того, наличие воспалительного процесса в эндометрии сопровождается нарушением оксидантного статуса, что сопровождается снижением резистентности организма к факторам среды [5, 6].

Острый послеродовой эндометрит регистрируют повсеместно, при этом заболеваемость может быть значительной. Затраты на ветеринарное обслуживание, удлинение сервис-периода и недополучение продукции при этом заболевании наносят высокий экономический ущерб животноводческим организациям [7–9].

Острый послеродовой эндометрит определяют как факторное заболевание. Ведущим этиологическим фактором в заболевании коров острым послеродовым эндометритом является условно-патогенная микрофлора, которая проявляет свое патогенное действие при снижении резистентности организма коров под влиянием эндогенных и экзогенных факторов. С высокой частотой у коров, больных острым послеродовым эндометритом, высевают бактерии родов *Escherichia*, *Fusobacterium*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* и др. [10–12].

Успешное лечение острого послеродового эндометрита у коров возможно только при своевременном назначении этиотропной терапии, преимущественно антибактериальных препаратов разных фармакологических групп. Одновременно с этим в настоящее время остро

встает вопрос о снижении эффективности антибиоткотерапии ввиду адаптации микрофлоры и повышения её резистентности ко многим антибактериальным препаратам [13]. Отмечается возникновение множественной лекарственной устойчивости возбудителей эндометрита [10], что требует более тщательного подбора этиотропных препаратов для лечения больных животных. Кроме того, возрастающая резистентность микроорганизмов, вызывающих зоонозы, потенциально опасна для здравоохранения.

Недавние исследования указывают на устойчивость к лекарственным средствам *Staphylococcus aureus* [14, 15], *Escherichia coli* [16] и *Streptococcus pyogenes* [17, 18].

Целью настоящего исследования был анализ микробного состава цервикально-влагалищной слизи, полученной от больных острым послеродовым эндометритом коров, и определение чувствительности выделенной микрофлоры к антибактериальным препаратам разных фармакологических групп.

Исходя из поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Изучить микробиом смывов из цервикального канала коров, больных острым послеродовым эндометритом.
2. Изучить чувствительность наиболее распространенных изолятов к антимикробным средствам разных фармакологических групп.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – изоляты *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, выделенные из смывов из цервикального канала от 30 коров, больных острым послеродовым эндометритом. Предмет исследования – резистентность микроорганизмов к антибактериальным препаратам.

Отбор материала для исследования проведен в одном из базовых хозяйств Новосибирской области. Диагноз «острый послеродовой

эндометрит» ставили на основании результатов клинического исследования коров на 5–7-й дни после отела: при ректальном исследовании отмечали увеличение матки в размерах, болезненность при пальпации, снижение сократительной функции; из половых путей наблюдали истечение слизисто-гнойного экссудата. От больных острым послеродовым эндометритом коров, не подвергавшихся лечению, брали смывы из цервикального канала при помощи узкого зонд-тампона транспортной системы Medical Wire & Equipment с жидкой средой VCM™. Смывы из цервикального канала доставляли в РЦДБЛ МУЗ «Городская поликлиника № 24» в течение 3 ч после отбора проб.

Бактериологические исследования проводили общепринятыми бактериологическими методами, путем высева смывов на ряд сред: МПБ, МПА, МПА с 5% дефибрированной крови барана, МПА с 1% глюкозы, МПА с 7,5% хлорида натрия, среду Эндо, углеводные среды Гиса. Для идентификации изолятов микроорганизмов также использовали пластины биохимические, дифференцирующие энтеробактерии и стафилококки, НПО «Диагностические системы», г. Нижний Новгород. Чашки Петри с посевами помещали в термостат при +38°C для культивирования микроорганизмов.

Для определения чувствительности микроорганизмов к антибиотикам *in vitro* диско-диффузионным методом использовали агар Мюллера-Хинтон (Bio-Rad, США). Посев микроорганизмов производили на плотную питательную среду в чашки Петри, после чего раскладывали на её поверхности диски с антимикробными препаратами (по 4 диска на чашку). В работе использовали диски с антимикробными препаратами производства Научно-

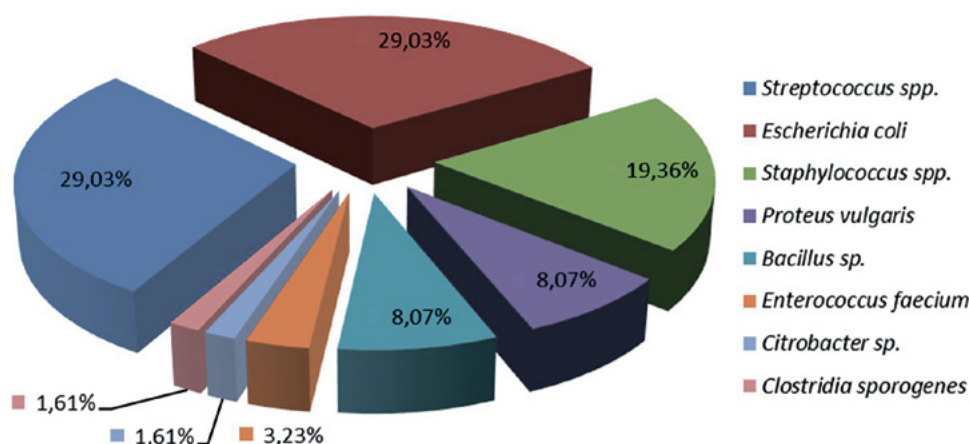
исследовательского центра фармакотерапии (НИЦФ): стрептомицин, канамицин, неомицин, гентамицин, ванкомицин, линкомицин, тилозин, карбенициллин, бензилпенициллин, ампициллин, тетрациклин, цефазолин, полимиксин, энрофлоксацин и ципрофлоксацин. При определении чувствительности также учитывали критерии европейского комитета по определению чувствительности антимикробных препаратов (EUCAST) [19].

Чувствительность микроорганизмов к каждому из противомикробных препаратов оценивали визуально, сопоставляя полученные результаты (подавление роста культуры микроорганизма) с пограничными значениями зон задержки роста, рекомендуемыми производителем. Диаметр зон задержки роста определяли с точностью до 1 мм. По чувствительности к препаратам результаты интерпретировали в трех вариантах: S – чувствителен, I – умеренно чувствителен, R – резистентен. Для интерпретации результатов определения чувствительности использовали рекомендации МАКМАХ [20].

Исходя из того, что «множественная лекарственная устойчивость определяется как отсутствие чувствительности по крайней мере к одному агенту из трех или более категорий противомикробных препаратов» [21], определяли, имеют ли изоляты множественную лекарственную устойчивость.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При бактериологическом исследовании влагалищно-цервикальной слизи от 30 коров выделены представители 8 родов микроорганизмов (рисунок).



Результаты бактериологического исследования смывов из цервикального канала

The results of the bacteriological examination of swabs from the cervical canal

Анализ видового состава микрофлоры показал, что основными возбудителями острого послеродового эндометрита у коров являются *Escherichia coli*, *Streptococcus* spp. и *Staphylococcus* spp. Из изолятов рода *Streptococcus* на долю *Streptococcus pyogenes* приходилось 72,22%, из рода *Staphylococcus* на долю *Staphylococcus aureus* — 41,67 %. В подавляющем большинстве случаев (90,32 %) выявляли ассоциации микроорганизмов, состоящие из 2–4 видов, причем *Proteus vulgaris*, *Bacillus* sp., *Citrobacter* sp., *Clostridia sporogenes*, *Enterococcus faecium* высевались исключительно

но в ассоциациях. При остром послеродовом эндометрите наиболее часто выделяли ассоциации *Escherichia coli* + *Streptococcus pyogenes*; *Staphylococcus aureus* + *Streptococcus pyogenes* и *Proteus vulgaris* + *Staphylococcus epidermidis*.

Дальнейшая работа была направлена на определение чувствительности наиболее часто выделяемой микрофлоры (*Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*) к широко используемым в хозяйствах антибактериальным препаратам. Чувствительность микрофлоры определяли диско-диффузионным методом (таблица).

Резистентность к антибактериальным препаратам (*in vitro*)
Resistance to antibacterial drugs (*in vitro*)

Препарат	Группа	<i>Streptococcus pyogenes</i> (n=18)		<i>Staphylococcus aureus</i> (n=12)		<i>Escherichia coli</i> (n=18)	
		кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Антибиотики							
Стрептомицин	Аминогликозиды	15	83,33	0	0,00	0	0,00
Канамицин		7	38,89	5	41,67	2	0,00
Неомицин		0	0,00	12	100,00	17	94,44
Гентамицин		0	0,00	4	33,33	7	38,89
Ванкомицин	Гликопептиды	17	94,44	2	16,67	17	94,44
Линкомицин	Линкозамиды	3	16,67	0	0,00	18	100,00
Тилозин	Макролиды	0	0,00	1	8,33	16	88,89
Карбенициллин	Пенициллины	10	55,56	1	8,33	0	0,00
Бензилпенициллин		3	16,67	11	91,67	17	94,44
Ампициллин		1	5,56	11	91,67	0	0,00
Тетрациклин	Тетрациклины	3	16,67	12	100,00	4	22,22
Цефазолин	Цефалоспорины	11	61,11	10	83,33	0	0,00
Полимиксин	Полимиксины	12	66,67	8	66,67	15	83,33
Синтетические антибактериальные средства							
Энрофлоксацин	Фторхинолоны	5	27,28	0	0,00	0	0,00
Ципрофлоксацин		1	5,56	12	100,00	0	0,00

Streptococcus pyogenes наибольшую резистентность проявил к ванкомицину – из 18 изученных изолятов 17 (94,44%) не дали задержки роста и только 1 изолят проявил умеренную чувствительность к препарату. Чуть менее выраженную резистентность *Streptococcus pyogenes* проявил к стрептомицину – 83,33 %. К тилозину, гентамицину, неомицину изоляты данного патогена проявили высокую или умеренную чувствительность.

Escherichia coli показала более высокую резистентность к противомикробным препаратам, чем *Streptococcus pyogenes*. Все изученные изоляты (100,00%) были резистентны к линкомицину, 94,44 – к неомицину, бензилпенициллину и ванкомицину, 88,89 – к тилозину, 83,33% – к полимиксину. К энрофлоксацину, ципрофлоксацину, карбенициллину, ампициллину, цефазолину, стрептомицину и канамицину изученные изоляты *Escherichia coli* были чувствительны.

Самую высокую резистентность к антимикробным средствам показал *Staphylococcus aureus*. Изоляты продемонстрировали устойчивость (100,00%) к неомицину, ципрофлоксацину и тетрациклину; 91,67% изолятов были резистентны к бензилпенициллину и ампициллину, 83,33% – к цефазолину. К энрофлоксацину, линкомицину и стрептомицину изоляты были высоко или умеренно чувствительны.

ВЫВОДЫ

1. Анализ видового состава микрофлоры показал, что основными возбудителями острого послеродового эндометрита у коров являются *Escherichia coli*, *Streptococcus* spp. и *Staphylococcus* spp. В подавляющем большинстве случаев (90,32 %) выявляли ассоциации микроорганизмов. При остром послеродовом эндометрите наиболее часто выделяли ассоциации *Escherichia coli* + *Streptococcus pyogenes*; *Staphylococcus aureus* + *Streptococcus pyogenes* и *Proteus vulgaris* + *Staphylococcus epidermidis*.

2. Высокую резистентность микроорганизмы показали к препаратам: неомицину (аминогликозиды) и бензилпенициллину (пенициллины) – *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*; ванкомицину (гликопептиды), полимиксину (полимиксины) – *Streptococcus pyogenes* и *Escherichia coli*; ампициллину (пенициллины), тетрациклину (тетрациклины), цефазолину (цефалоспорины), ципрофлоксацину (фторхинолоны) – только *Staphylococcus aureus*; линкомицину (линкозамиды), тилозину (макролиды) – только *Escherichia coli*; стрептомицину (аминогликозид) – только *Streptococcus pyogenes*.

3. Полученные результаты указывают на резистентность к антибиотикам условно-патогенной микрофлоры, выделяемой от больных коров при остром послеродовом эндометрите, что указывает на иррациональное использование антибиотиков в данном хозяйстве. В совокупности с исследованиями других авторов данное обстоятельство поднимает вопрос об изменении подхода к использованию антибиотиков в продуктивном животноводстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горб Н. Н. Фармако-токсикологические свойства препарата элексид и его эффективность при послеродовом эндометрите у коров: дис. ... канд. вет. наук. – Новосибирск, 2013. – 138 с.
2. Mechanisms of infertility associated with clinical and subclinical endometritis in high producing dairy cattle / I.M. Sheldon, S.B. Price, J. Cronin [et al.] // Reproduction in domestic animals. – 2009. – Vol. 44. – P. 1–9. – DOI:10.1111/j.1439-0531.2009.01465.x.
3. Ряпосова М. В., Шилова Е. Н., Соколова О. В. Распространение и этиология хронических эндометритов у коров в сельскохозяйственных организациях Свердловской области // Ветеринария Кубани. – 2010. – № 6. – С. 22–24.
4. Definitions and diagnosis of postpartum endometritis in dairy cows / J. Dubuc, T.F. Duffield, K.E. Leslie [et al.] // Journal of dairy science. – 2010. – Т. 93, N. 11. – С. 5225–5233. – <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3428>.
5. Горб Н. Н., Попов Ю. Г. Про- и антиоксидантный статус у коров с послеродовым гнойно-катаральным эндометритом // Ветеринарная патология. – 2012. – № 1(39). – С. 15–18.
6. The impact of endometritis on specific oxidative stress parameters in cows / S. Kaya, M. Ögün, H. Özen [et al.] // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. – 2017. – Vol. 68, N. 2. – P. 231–236. – <https://doi.org/10.12681/jhvms.15610>.
7. Новикова Е. Н., Коба И. С., Дубовикова М. С. Хронические эндометриты как основная причина бесплодия у коров и способ их диагностики // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам XI Всерос. конф. молодых ученых, посвящ. 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодар. края, Краснодар, 29–30 нояб. 2017 г. – Краснодар, 2017. – С. 138–139.
8. Risk factors for clinical endometritis in postpartum dairy cattle / T. J. Potter, J. Guitian, J. Fishwick [et al.] // Theriogenology. – 2010. – Т. 74, N. 1. – P. 127–134. – DOI:10.1016/j.theriogenology.2010.01.023.
9. Попов Ю. Г., Горб Н. Н. Послеродовой эндометрит у коров и оценка схем лечения // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2011. – № 1(17). – С. 116–121.

10. Балбуцкая А.А., Скворцов В.Н., Белимова С.С. Антибиотикограмма микроорганизмов, выделенных от больных острым эндометритом коров // Ветеринарный врач. – 2019. – № 5. – С. 4–10. – DOI:10.33632/1998-698X.2019-5-4-10.
11. Comparison of vaginal microbial community structure in healthy and endometritis dairy cows by PCR-DGGE and real-time PCR / J. Wang, C. Sun, C. Liu [et al.] // Anaerobe. – 2016. – Vol. 38. – P. 1–6. – <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2015.11.004>.
12. Микрофлора содержимого матки коров при остром послеродовом гнойно-катаральном эндометрите и ее чувствительность к антибактериальным препаратам / А. М. Семиволос, В. А. Агольцов, А. А. Брюханова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 7. – С. 71–73. – DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp71-73.
13. Чувствительность культур микроорганизмов к антибиотикам при послеродовом эндометрите у коров / Л.Г. Войтенко, О.Н. Сочинская, А.В. Нарожный [и др.] // Ветеринарная патология. – 2012. – № 4. – С. 5–7.
14. Prevalence and therapies of antibiotic-resistance in *Staphylococcus aureus* / Y. Guo, G. Song, M. Sun [et al.] // Frontiers in cellular and infection microbiology. – 2020. – Vol. 10. – P. 107. – doi.org/10.3389/fcimb.2020.00107.
15. Correlation between biofilm-formation and the antibiotic resistant phenotype in *Staphylococcus aureus* isolates: a laboratory-based study in Hungary and a review of the literature / S.A. Senobar Tahaei, A. Stájer, I. Barrak [et al.] // Infection and drug resistance. – 2021. – P. 1155–1168. – doi.org/10.2147/IDR.S303992.
16. Cytochrome bd promotes *Escherichia coli* biofilm antibiotic tolerance by regulating accumulation of noxious chemicals / C. J. Beebout, L. A. Sominsky, A. R. Eberly [et al.] // Biofilms and Microbiomes. – 2021. – T. 7, N. 1. – P. 35. – doi.org/10.1038/s41522-021-00210-x.
17. Medley M. C., Pierce M., Donkin R. Genetic Investigation of antibiotic resistance in *Streptococcus pyogenes*. – 2019. – doi: 10.5001/omj.2020.79.
18. Cattoir V. Mechanisms of *Streptococcus pyogenes* Antibiotic Resistance // *Streptococcus pyogenes: Basic Biology to Clinical Manifestations*. 2nd edition. – 2022.
19. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters. Ver. 10.0., 2020. – http://www.eucast.org/clinical_breakpoints/. Accessed August 01, 2020.
20. Рекомендации «Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам». Версия 2021-01. Год утверждения (частота пересмотра): 2021 (пересмотр ежегодно). – <https://www.antibiotic.ru › files › clrec-dsma2021>.
21. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance / A.-P. Magiorakos, A. Srinivasan, R.B. Carey [et al.] // Clinical microbiology and infection. – 2012. – Vol. 18, N. 3. – P. 268–281.

REFERENCES

1. Gorb N.N. *Farmako-toksikologicheskie svoistva preparata emeksid i ego effektivnost' pri poslerodovom endometrite u korov* (Pharmaco-toxicological properties of the drug emeksid and its effectiveness in postpartum endometritis in cows), Candidates thesis, Novosibirsk, 2013, 138 p. (In Russ.)
2. Sheldon I.M., Price S.B., Cronin J., Gilbert R.O., Gadsby J.E., Mechanisms of infertility associated with clinical and subclinical endometritis in high producing dairy cattle, *Reproduction in domestic animals*, 2009, Vol. 44, pp. 1–9, doi:10.1111/j.1439-0531.2009.01465.x.
3. Ryaposova M.V., Shilova E.N., Sokolova O.V., *Veterinariya Kubani*, 2010, No. 6, pp. 22–24. (In Russ.)
4. Dubuc J., Duffield T.F., Leslie K.E., Walton J.S., LeBlanc S.J., Definitions and diagnosis of postpartum endometritis in dairy cows, *Journal of dairy science*, 2010, Vol. 93, No. 11, pp. 5225–5233, <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3428>.
5. Gorb N.N., Popov Yu.G., *Veterinarnaya patologiya*, 2012, No. 1 (39), pp. 15–18. (In Russ.)

6. Kaya S., Ögün M., Özen H., Kuru M., Şahin L., Kükürt A., Kaçar C., The impact of endometritis on specific oxidative stress parameters in cows, *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 2017, Vol. 68, No. 2, pp. 231–236, <https://doi.org/10.12681/jhvms.15610>.
7. Novikova E.N., Koba I.S., Dubovikova M.S., *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa* (Scientific support of the agro-industrial complex), Collection of articles based on the materials of the XI All-Russian Conference of Young Scientists dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University and the 80th anniversary of the formation of the Krasnodar Territory, Krasnodar, November 29–30, 2017, Krasnodar, 2017, pp. 138–139. (In Russ.)
8. Potter T.J., Guitian J., Fishwick J., Gordon P.J., Sheldon I.M., Risk factors for clinical endometritis in postpartum dairy cattle, *Theriogenology*, 2010, Vol. 74, No. 1, pp. 127–134, doi:10.1016/j.theriogenology.2010.01.023.
9. Popov Yu.G., Gorb N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2011, No. 1(17), pp. 116–121. (In Russ.)
10. Balbutskaya A.A., Skvortsov V.N., Belimova S.S., *Veterinarnyi vrach*, 2019, No. 5, pp. 4–10, doi:10.33632/1998-698X.2019-5-4-10. (In Russ.)
11. Wang J., Sun C., Liu C., Yang Y., Lu W., Comparison of vaginal microbial community structure in healthy and endometritis dairy cows by PCR-DGGE and real-time PCR, *Anaerobe*, 2016, Vol. 38, pp. 1–6, <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2015.11.004>.
12. Semivolos A.M., Agol'tsov V.A., Bryukhanova A.A., Pocheptnya E.S., *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021, No. 7, pp. 71–73, doi:10.28983/asj.y2021i7pp71-73. (In Russ.)
13. Voitenko L.G., Sochinskaya O.N., Narozhnyi A.V., Lavrenova A.A. *Veterinarnaya patologiya*, 2012, No. 4, pp. 5–7. (In Russ.)
14. Guo Y., Song G., Sun M., Wang J., Wang Y., Prevalence and therapies of antibiotic-resistance in *Staphylococcus aureus*, *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 2020, Vol. 10, pp. 107, doi.org/10.3389/fcimb.2020.00107.
15. Senobar Tahaei S.A., Stájer A., Barrak I., Ostorházi E., Szabó D., Gajdács M., Correlation between biofilm-formation and the antibiotic resistant phenotype in *Staphylococcus aureus* isolates: a laboratory-based study in Hungary and a review of the literature, *Infection and drug resistance*, 2021, pp. 1155–1168, doi.org/10.2147/IDR.S303992.
16. Beebout C.J., Sominsky L.A., Eberly A.R., Van Horn G.T., Hadjifrangiskou M., Cytochrome bd promotes *Escherichia coli* biofilm antibiotic tolerance by regulating accumulation of noxious chemicals, *Biofilms and Microbiomes*, 2021, Vol. 7, No. 1, pp. 35. doi.org/10.1038/s41522-021-00210-x
17. Medley M. C., Pierce M., Donkin R., Genetic Investigation of antibiotic resistance in *Streptococcus pyogenes*, 2019, doi: 10.5001/omj.2020.79.
18. Cattoir V., Mechanisms of *Streptococcus pyogenes* Antibiotic Resistance, *Streptococcus pyogenes: Basic Biology to Clinical Manifestations*. 2nd edition, 2022.
19. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST), Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters, Ver. 10.0., 2020: http://www.eucast.org/clinical_breakpoints/.
20. Rekomendatsii «Opredeleniye chuvstvitel'nosti mikroorganizmov k antimikrobnym preparatam» (Recommendations “Determination of the sensitivity of microorganisms to antimicrobial drugs”): www.antibiotic.ru.
21. Magiorakos A.-P., Srinivasan A., Carey R.B., Carmeli Y., Falagas M.E., Giske C.G., Harbarth S., Hindler J.F., Kahlmeter G., Olsson-Liljequist B., Paterson D.L., Rice L.B., Stelling J., Struelens M.J., Vatopoulos A., Weber J.T., Monnet D.L., Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance, *Clinical microbiology and infection*, 2012, Vol. 18, No. 3, pp. 268–281.

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ СТАБИЛЬНОГО СТРОНЦИЯ В НЕКОТОРЫХ ОРГАНАХ И ТКАНЯХ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС

О.А. Зайко, кандидат биологических наук

Т.В. Коновалова, старший преподаватель

Е.Е. Глущенко, кандидат ветеринарных наук

О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор

В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Ключевые слова: стронций, печень, почки, селезенка, мышцы, свиньи, ландрас.

Реферат. Продemonстрированы результаты оценки уровня стабильного стронция в скелетной мускулатуре, печени, почках и селезенке свиней ландрасской породы в конце технологического цикла. Исследования выполнены на клинически здоровых животных, выращенных в крупном свиноводческом хозяйстве Алтайского края. Условия содержания животных соответствовали типовым для мясного откорма до 100 кг, кормление осуществлялось полнорационными комбикормами. Элементный анализ проб паренхиматозных органов и мышечной ткани выполнялся с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). Распределение не во всех случаях соответствовало нормальному, дисперсии не гомогенны. На основании среднего значения и медианы установлен возрастающий ранжированный ряд содержания стронция в органах и тканях: печень = скелетная мускулатура < селезенка < почки, в числовом выражении: 1 : 1: 3,7 : 4,7 и 1 : 1: 3,9 : 5,7 соответственно. Медианы для стабильного стронция в печени, почках, селезенке и скелетной мускулатуре составили 0,024; 0,130; 0,089 и 0,023 мг/кг соответственно. Референсные интервалы для печени – 0,004–0,043, для селезенки – 0,030–0,145 мг/кг. Самый значительный размах изменчивости характерен для почек свиней, большая однородность свойственна печени и скелетной мускулатуре. С помощью критерия Краскела-Уоллиса установлено, что аккумуляция стабильного стронция значительно различается в рассмотренных органах и тканях свиней ($H = 68,9$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Попарное сравнение показало значимые отличия для пар «почки – печень», «селезенка – печень», «скелетная мускулатура – почки» и «скелетная мускулатура – селезенка». Выделены два кластера по схожести накопления стронция: печень и скелетная мускулатура, почки и селезенка. Кальциево-стронциевое отношение с учетом медиан для скелетной мускулатуры составило 1:1833, для печени – 1:1870. Установленные результаты могут служить ориентировочной физиологической нормой концентрации стабильного стронция в отдельных структурах организма свиней ландрасской породы в условиях Западной Сибири.

FEATURES OF ACCUMULATION AND VARIABILITY OF STABLE STRONTIUM IN SOME ORGANS AND TISSUES OF LANDRACE PIGS

O.A. Zaiko, PhD in Biological Sciences

T.V. Konovalova, Senior Lecturer

E.E. Glushchenko, PhD in Veterinary Sciences

O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor

V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

O.I. Sebezhko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: strontium, liver, kidneys, spleen, muscles, pigs, landrace.

Abstract. The authors in the article demonstrated the results of assessing the level of stable strontium in the skeletal muscles, liver, kidneys and spleen of Landrace pigs at the end of the technological cycle. The studies were performed on clinically healthy animals raised in a large pig farm in the Altai Territory. The conditions of keeping the animals corresponded to those typical for meat fattening up to 100 kg. Feeding was carried out with complete feed. Elemental analysis of samples of parenchymal organs and muscle tissue was performed using inductively coupled plasma atomic emission spectral analysis. Data processing was performed using Microsoft Office Excel and the R programming language in the data analysis environment RStudio version 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). The distribution did not correspond to normal in all cases. The dispersions are not homogeneous. Based on the mean value and median, an increasing ranked series of strontium content in organs and tissues were established: liver = skeletal muscles < spleen < kidneys, in numerical terms: 1: 1: 3.7: 4.7 and 1: 1: 3.9: 5.7 respectively. Medians for stable strontium in the liver, kidney, spleen, and skeletal muscle were 0.024; 0.130; 0.089 and 0.023 mg/kg, respectively. Reference intervals for the liver are 0.004-0.043 and for the spleen - 0.030-0.145 mg/kg. The most significant range of variability is characteristic of the kidneys of pigs. A considerable uniformity is typical of the liver and skeletal muscles. Using the Kruskal-Wallis test, it was established that the accumulation of stable strontium significantly differs in the examined organs and tissues of pigs ($H = 68.9$, $df = 3$, $p < 0.0001$). Pairwise comparison showed significant differences for the kidney-liver, spleen-liver, skeletal muscle-kidney, and skeletal muscle-spleen pairs. Two clusters were identified according to the similarity of strontium accumulation: liver and skeletal muscles, kidneys and spleen. The calcium-strontium ratio, taking into account medians, for skeletal muscles was 1:1833, and for the liver - 1:1870. The established results can serve as an approximate physiological norm for the concentration of stable strontium in individual structures of the organism of Landrace pigs under the conditions of Western Siberia.

Антропогенное воздействие на экосистемы подвергается перманентному обсуждению, так как вызывает беспокойство населения разных стран мира [1–4]. Стабильный стронций считается малоопасным элементом и относится к третьему классу опасности в градации химических веществ, попадающих в почву, в соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83. Он достаточно широко распространен в окружающей среде, являясь пятнадцатым по встречаемости элементом [5, 6]. Источником металла могут быть естественные процессы, а также деятельность человека, например, переработка соединений стронция, сжигание угля, применение фосфорных удобрений, использование пиротехнических устройств [6].

Всемирная организация здравоохранения определяет стронций как незаменимый для человека микроэлемент [7]. Продукты питания и питьевая вода являются основными источниками этого химического элемента, при этом мясные продукты содержат его менее 1 мг/кг [6, 8, 9]. Точная оценка потребления металла с пищей затруднена из-за региональных различий и ограниченности данных о составе пищевых продуктов, содержащих стронций [10]. Для этого должен изучаться индивидуальный минеральный статус сельскохозяйственных животных в рамках оценки источников влияния на человека, использующего продукты животного происхождения в пищу [11–13]. С этой целью и в том числе для оценки здоровья животных и выполнения экологического мониторинга на территории Западной Сибири осуществляется комплексное изучение интерьерных особенностей животных разных видов и пород. Эта работа охватывает гематоло-

гические, иммунобиохимические, минеральные, цитогенетические и другие показатели [14–16]. В рамках этого направления существуют исследования у животных, посвященные оценке уровня радионуклидов стронция-90 и цезия-137 [17–19], именно они регламентируются в продуктах питания Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Целью исследования было установление уровней аккумуляции и изменчивости стабильного стронция в скелетной мускулатуре, печени, почках и селезенке свиней породы ландрас.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования использовались свиньи породы ландрас, выращенные в крупном свиноводческом хозяйстве Алтайского края. Была сформирована одна группа животных, по принципу аналогов с учетом их происхождения, пола, возраста, живой массы. Во время периода выращивания животные были вакцинированы на основании профилактического плана и обеспечены контролем со стороны ветеринарной службы хозяйства.

Условия содержания свиней были типовыми для мясного откорма и соответствовали ГОСТ 28839-2017. С учетом этапа развития и откорма кормление выполнялось стандартными сбалансированными по питательной, минеральной и витаминной составляющей полнорационными комбикормами. На основании ГОСТ Р 51550-2000 и ГОСТ Р 51850-2001 осуществлялся контроль

качества корма на предмет гарантированных и дополнительных показателей. Поение животных осуществлялось водой второго класса из локального хозяйственно-питьевого источника водоснабжения. Анализ проб воды, почвы и корма для животных в рамках комплексного мониторинга не показал отклонений от допустимых показателей по нормируемым химическим элементам [20, 21].

Откорм свиней осуществлялся до 100 кг, возраст животных перед убоем был ориентировочно 150–160 дней. Животные были клинически здоровыми, в анамнезе не имели перенесенных заболеваний заразного и незаразного генеза. Убой животных выполнялся на основании ГОСТ 31476-2012, действующей технологической инструкции к нему, соответствующих Технических регламентов (ТР ТС 034/2013, ТР ТС 021/2011), Приказа Минсельхоза России от 12.03.2014 № 72.

Предметом исследования служили паренхиматозные органы: печень, почки, селезенка, а также скелетная мускулатура. Общее количество проб составило 98. От каждого животного отбирали образцы массой около 100 г каждый. От почек для исследования брали корковое вещество, скелетную мускулатуру освобождали от видимых жировых и соединительнотканых структур. Образцы хранились в индивидуальных zip-лок пакетах в условиях морозильной камеры при температуре -24°C до проведения исследования. Подготовка образцов выполнялась последовательно и включала размораживание, гомогенизацию. Определение уровня стронция в паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре выполнялось с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой на оборудовании iCAP-PRO (Thermo Fisher Scientific) с индексом способа обзора плазмы Duo в Аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Пробоподготовка включала автоклавирующее навески 2 г с 2 мл концентрированной азотной кислоты квалификации «особо чистый» при температуре $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч. Далее вносили 5 мл перекиси водорода квалификации не ниже «химически чистый» и выполнялось автоклавирующее при температуре 200°C еще в течение 1 ч. После полного остывания содержимое переливали в пластиковую пробирку объемом 50 мл и доводили до метки 20 мл дистиллированной водой, перемешивали. Для анализа на приборе брали аликвоту. Внутренним стандартом служил скандий.

Для анализа полученных данных использовалось ПО Microsoft Office Excel, язык программирования R и среда анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC).

Рассчитывались следующие значения: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднееквадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания стронция в органах и скелетной мускулатуре, отношение крайних вариантов как частное от деления максимального значения на минимальное. Характер распределения оценивали с помощью ряда критериев, в том числе Шапиро-Уилка, гомогенность дисперсий – посредством критерия Флигнера-Килина.

Дисперсионный анализ для оценки различий между органами осуществлялся, используя непараметрический критерий Краскела-Уоллиса. Попарное сравнение выполняли апостериорным тестом Данна с поправкой Холма. Перечисленные тесты принимались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для кластерного анализа с целью выявления органов с похожими уровнями аккумуляции стронция применялся метод Варда, метрикой расстояний было манхэттенское расстояние, формировалась дендрограмма.

Референсные интервалы (РИ) рассчитывали согласно рекомендациям Института клинических и лабораторных стандартов, Руководства по определению референсных интервалов в ветеринарии и ГОСТ Р 53022.3-2008 bootstrap-методом [22, 23] при помощи R-пакета referenceIntervals. Пределы референсных интервалов представлены с 90%-ми доверительными интервалами (ДИ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» в мясе и мясopодуктах регламентируются уровни только таких металлов, как свинец, мышьяк, кадмий, ртуть, олово и хром. Но осуществлять мониторинг в отношении других химических элементов, в том числе на этапах выращивания сельскохозяйственных животных, с возможной перспективой прижизненной коррекции чрезвычайно важно [24–27]. Основными проблемами остаются, например, разногласия по допустимым нормам потребления отдельных химических элементов, содержанию в тех или иных объектах окружающей среды, выбору маркеров, отражающих химический статус организма, отсутствие референсных значений, учитывающих индивидуальные характеристики (пол, порода, возраст, физиологический статус, биогеохимическая провинция и др.) [28–32].

В отношении содержания стронция в органах и тканях свиней породы ландрас нормальность распределения оценивали с помощью ряда тестов. Гипотеза о нормальности была

подтверждена в большей части случаев. В соответствии с тестом Шапиро-Уилка определен W-критерий, который равнялся 0,97 ($p > 0,05$) для уровня металла в почках, 0,94 и 0,93 ($p > 0,05$) – для селезенки и скелетной мускулатуры соответственно. Аккумуляция стронция в печени характеризовалась по указанному тесту распределением, отличным от нормального. Оценка гомоскедастичности дисперсий выявила их негомогенность ($p < 0,05$). Соответственно,

параллельно с общепринятыми показателями описательной статистики получены робастные метрические.

Информация о содержании стабильного стронция в продукции сельского хозяйства ограничена. Данные, характеризующие содержание стронция в паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре свиней ландрасской породы, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание стронция в органах и тканях свиней породы ландрас, мг/кг
Strontium content in organs and tissues of Landrace pigs, mg/k

Органы и ткани	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Me	lim	Отношение крайних вариант
Печень	27	$0,026 \pm 0,003$	0,024	0,010–0,066	1 : 6,6
Почки	17	$0,123 \pm 0,010$	0,130	0,040–0,210	1 : 5,3
Селезенка	26	$0,096 \pm 0,007$	0,089	0,044–0,188	1 : 4,3
Скелетная мускулатура	28	$0,027 \pm 0,003$	0,023	0,002–0,068	1 : 34,0

Если брать во внимание паренхиматозные органы, установлено, что максимальное количество металла приходится на почки животных. Близкое, но несколько меньшее, содержание характерно для селезенки, для печени свойственно самое незначительное количество. Депонирование стронция в скелетной мускулатуре – на идентичном уровне с печенью. Сформированный убывающий ранжированный ряд с учетом средней арифметической, начиная с печени, где концентрация металла принята за единицу, выглядит следующим образом: 1 : 1 : 3,7 : 4,7, что соответствует: печень = скелетная мускулатура < селезенка < почки. Ранжированный ряд по медиане такой же, а в относительном выражении представлен значениями 1 : 1 : 3,9 : 5,7. В мире потребление стабильного стронция взрослыми людьми составляет 0,1–4 мг в сутки, что не представляет риска для здоровья [33]. Полученные нами данные для мышечной ткани и субпродуктов, употребляющихся в пищу человеком, оптимально соотносятся с представленным интервалом. К примеру, в работе M. Skibniewski и др. [34] средняя концентрация стронция в мясе благородного оленя составляла 0,16 мг/кг. По мнению авторов, это значение, которое практически в 7 раз больше полученного нами для скелетной

мускулатуры свиней, не представляет опасности для взрослого человека.

По результатам нашего исследования, скелетная мускулатура характеризуется самым высоким соотношением крайних вариант, что свидетельствует о значительном различии содержания стронция у свиней оцениваемой породы по данному показателю. Он же для паренхиматозных органов близко соотносится между ними. Для стронция, как представителя щелочноземельных металлов, характерны некоторые отличительные от тяжелых металлов особенности аккумуляции в организме сельскохозяйственных животных. Нельзя сказать, что рассматриваемый химический элемент максимально сосредоточивается преимущественно в почках и печени, что может быть характерно, например, для некоторых других экологически значимых металлов [35–40].

Размах изменчивости уровня стронция в представленных паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре продемонстрирован на рис. 1. Самым значительным диапазоном варьирования отличаются почки свиней, большая однородность свойственна печени животных. В случае с некоторыми паренхиматозными органами характерно наличие нескольких предельных значений.

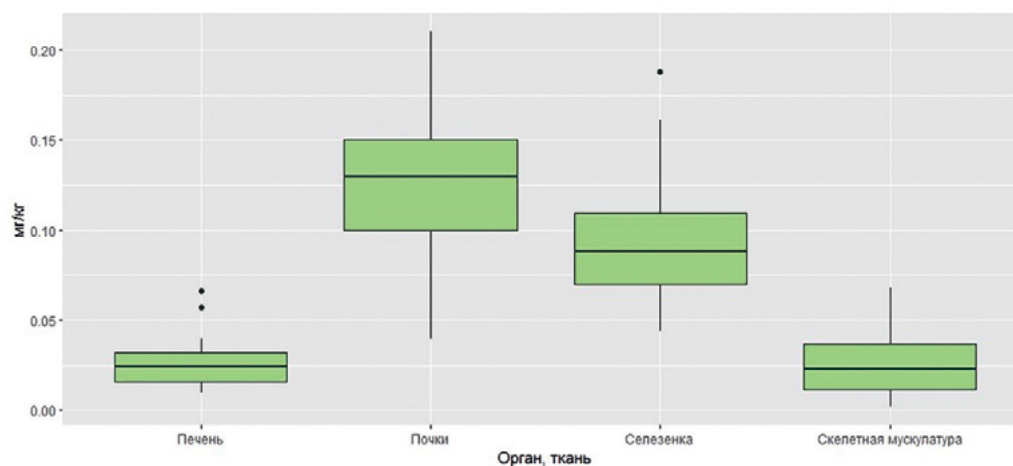


Рис. 1. Размах уровня стронция в органах и тканях свиней породы ландрас

Fig. 1. Range of strontium levels in organs and tissues of Landrace pigs

Значимой характеристикой признака являются показатели его изменчивости. Некоторые из них приведены в табл. 2. Интерквартильный размах является более робастным метрическим

показателем в сравнении со стандартным отклонением, он подтверждает большую однородность уровня стронция в печени и скелетной мускулатуре свиней ландрасской породы.

Таблица 2

Показатели изменчивости стронция в органах и тканях свиней породы ландрас
Indicators of Strontium Variability in Organs and Tissues of Landrace Pigs

Органы и ткани	n	σ	Q1	Q3	IQR
Печень	27	0,013	0,016	0,032	0,016
Почки	17	0,042	0,100	0,150	0,050
Селезенка	26	0,035	0,069	0,110	0,041
Скелетная мускулатура	28	0,018	0,012	0,039	0,028

На рис. 2 показаны полигоны распределения количества стронция в паренхиматозных органах и скелетной мускулатуре свиней.

Наибольшая трансгрессия характерна для скелетной мускулатуры и печени.

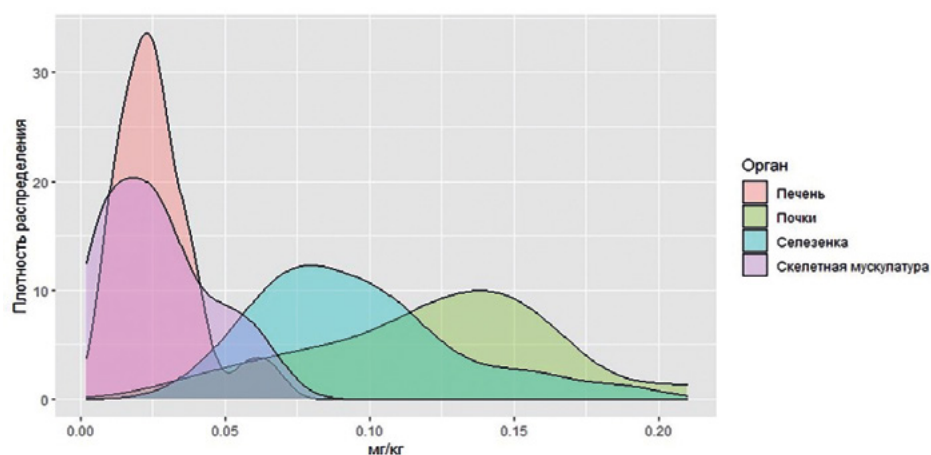


Рис. 2. Плотность распределения аккумуляции стронция в органах и тканях свиней породы ландрас

Fig. 2. Distribution density of strontium accumulation in organs and tissues of Landrace pigs

По причине разного количества наблюдений в каждом из исследованных органов и тканей, ненормальности распределения в одном из случаев, относительно небольшого числа наблюдений в группах оценка влияния места аккумуляции стронция выполнена с использованием тест Краскела-Уоллиса. Применяя данный критерий, выявили значимые различия между исследуемыми структурами организма свиней породы ландрас ($H = 68,9$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Попарное сравнение продемонстрировало значимые отличия аккумуляции химического элемента в паре «почки – печень» ($Z \text{ statistic} = -5,949716$, $p = 0,0000^*$), в почках содержится в 5,4 раза больше стронция. В селе-

зенке концентрация металла в 3,7 раза превышает таковую в печени ($Z \text{ statistic} = -5,596375$, $p = 0,0000^*$). В скелетной мускулатуре свиней ландрасской породы в 5,7 и 3,9 раза соответственно меньше аккумулируется стронция, чем в почках ($Z \text{ statistic} = 6,116339$, $p = 0,0000^*$) и селезенке ($Z \text{ statistic} = 5,787334$, $p = 0,0000^*$).

На дендрограмме представлены два основных кластера, выделенных по схожести аккумуляции стронция (рис. 3). Первый кластер представлен печенью и скелетной мускулатурой. Второй включает в себя почки и селезенку, здесь металл накапливается значительно, чем в первом случае.

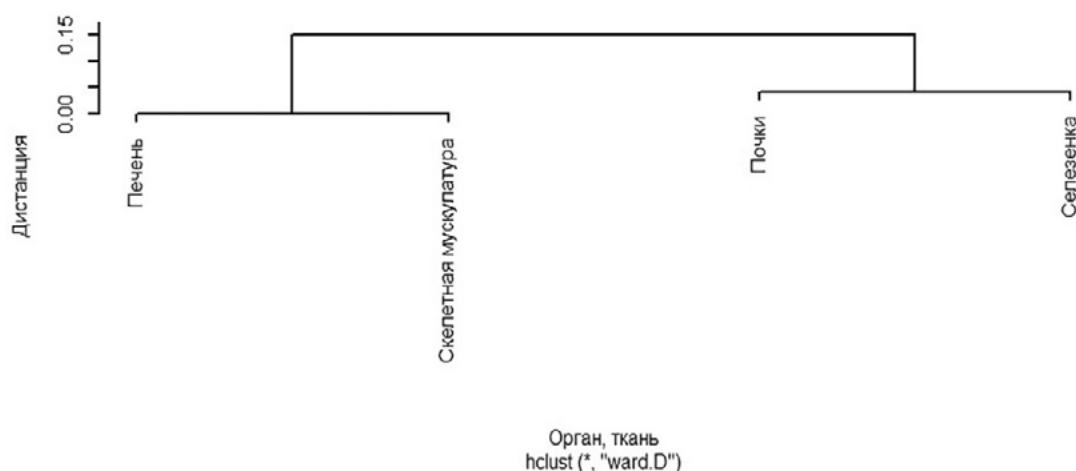


Рис. 3. Кластеризация органов и тканей в соответствии с содержанием стронция

Fig. 3. Clustering of organs and tissues by the content of strontium

Существует необходимость в разработке обоснованных исследованиями нормативов ПДК содержания стронция в почвах, растениеводческой и животноводческой продукции и предельных концентраций поступления металла в организм животных и человека [30].

Для свиней ландрасской породы, выращенных в Западной Сибири, удалось установить предварительные референсные интервалы содержания стронция в некоторых внутренних органах. Для селезенки РИ составил 0,030–0,145 мг/кг (нижний и верхний пределы 90%-го ДИ в для нижней границы РИ соответствуют 0,016–0,125, для верхней – 0,047–0,161, мг/кг). Для печени РИ составляет как 0,004–0,043 мг/кг (нижний и верхний пределы 90% ДИ для нижней границы РИ соответствуют 0,0003... 0,0369 мг/кг, для нижней – 0,009–0,047 мг/кг). Для определения РИ в отношении почек и скелетной мускулатуры нужны дальнейшие исследования.

В агрохимии уделяется внимание кальциево-стронциевому отношению с целью нестандартизованной оценки гигиеническо-

го качества растениеводческой продукции. Ориентировочным пороговым его значением является соотношение 1:140, при показателе 1:80 продукция может расцениваться как гигиенически неполноценная [30]. Мы установили подобный показатель на основании медиан для скелетной мускулатуры и печени свиней как наиболее часто использующихся в пищевом производстве, соотношение составило 1:1833 и 1:1870 соответственно. Предполагается, что данные значения безопасны в отношении здоровья человека, потенциально потребляющего в пищу свиноводческую продукцию, подтверждая то, что растительные источники стронция считаются основными для людей и животных, так как чаще содержат большие уровни металла, чем продукты животного происхождения и питьевая вода [41].

Стронций является малозаметным элементом в научных исследованиях различных областей знаний, практически отсутствует информация о содержании его в сельскохозяйственных продуктах. Тем не менее стабильный стронций по естественным причинам встреча-

ется в пищевой цепи. Его уровни, в том числе в продуктах питания, представляют большой интерес с различных точек зрения [33]. Риск загрязнения стабильным стронцием почв и растений существует на фоне широкого использования в сельском хозяйстве удобрений и мелиорантов, содержащих металл [42]. Необходимо задействовать все возможные ресурсы и технологии для получения экологически безопасной продукции, начиная от воздействия на качество корма, выращивания устойчивых к аккумуляции значимых компонентов окружающей среды пород сельскохозяйственных животных, прижизненной диагностики состава органов и тканей, алгоритмизации относительно химического статуса животных, установления референсных значений этого плана для отдельных территорий и зон. Кроме того, свиньи представляют собой ценность со стороны исследований, связанных с сельским хозяйством, и с точки зрения понимания базовой физиологии, что имеет особое значение для человека.

ВЫВОДЫ

1. Оценен фенофонд клинически здоровых свиней ландрасской породы по содержанию и изменчивости стабильного стронция в скелетной мускулатуре, печени, селезенке и поч-

ках медианы составили соответственно 0,023; 0,024; 0,089 и 0,130 мг/кг в соотношении 1 : 1: 3,9 : 5,7. Определены референсные интервалы для печени (0,004–0,043 мг/кг) и селезенки (0,030–0,145 мг/кг), что можно использовать с целью оценки интерьера животных в условиях Западной Сибири. Наибольшая фенотипическая изменчивость по концентрации стабильного стронция была отмечена для почек.

2. Выявлены отличия в накоплении стабильного стронция между органами и тканями ($H = 68,9$, $df = 3$, $p < 0,0001$) и в парах «почки – печень» (Z statistic = $-5,949716$, $p = 0,0000$), «селезенка – печень» (Z statistic = $-5,596375$, $p = 0,0000$), «скелетная мускулатура – почки» (Z statistic = $6,116339$, $p = 0,0000$) и скелетная мускулатура – селезенка (Z statistic = $5,787334$, $p = 0,0000$), что свидетельствует о выборочной аккумуляции.

3. Зарегистрированы два основных кластера сходства органов и тканей свиней по особенностям накопления стабильного стронция: печень и скелетная мускулатура, почки и селезенка, последний отличается более интенсивным накоплением металла.

4. Кальциево-стронциевое отношение на основании медиан для скелетной мускулатуры свиней составило 1:1833, для печени – 1:1870.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проблемы сельскохозяйственной экологии* / А.Г. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 2000. – 255 с.
2. *Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review* / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta, G. Motuzova // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 249. – P. 200–207.
3. *Human health and ocean pollution* / P.J. Landrigan, J.J. Stegeman, L.E. Fleming [et al.] // *Annals of Global Health*. – 2020. – Vol. 86, N 1. – P. 151.
4. *Threats to human health and ecosystem: Looking for air-pollution related damage since 1990* / M. Xiaotian, Z. Tianzuo, J. Changxing [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 145, N 9. – P. 111146.
5. *Handbook of chemistry and physics* / Ed. by W.M. Haynes. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 2704 p.
6. *Höllriegel V. Other environmental health issues: strontium in the environment and possible human health effects* // *Encyclopedia of Environmental Health*, 2nd ed / Ed. by J. Nriagu. – Oxford: Elsevier, 2019. – P. 797–802.
7. Watts P., Howe P. *Strontium and strontium compounds* / – Geneva: WHO, 2010. – 63 p.
8. *Nielsen S.P. The biological role of strontium* // *Bone*. – 2004. – Vol. 35, N 3. – P. 583–588.
9. *Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China* / H. Zhanga, X. Zhoua, L. Wang [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 164. – P. 181–188.
10. *Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain)* / D. Gonzalez-Weller, C. Rubio, A.J. Gutierrez [et al.] // *Food and Chemical Toxicology*. – 2013. – Vol. 62. – P. 856–858.
11. *Зайко О.А. Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук.* – Новосибирск, 2014. – 183 с.

12. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 126 с.
13. *Нарожных К.Н.* Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2019. – 163 с.
14. *Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, N.I. Shishin [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.*
15. *Изменчивость* показателей азотистого обмена коров черно-пестрой породы в условиях Кузбасса / Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко, А.В. Ковалев, И.Н. Морозов // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: V Всерос. (нац.) науч. конф. – Новосибирск, 2020. – С. 256–259.
16. *Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in α 1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018. – Belgrade-Zemun, Serbia, 2018. – P. 47.*
17. *Мармулева Н.И.* Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в продуктах животноводства Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2003. – 170 с.
18. *Баринев Е.Я.* Аккумуляция радионуклидов в кормах Западно-Сибирского региона: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2009. – 125 с.
19. *Cs-137 and Sr-90 level in dairy products / V.L. Petukhov, Yu.A. Dukhanov, I.Z. Sevryuk [et al.] // Journal De Physique IV. – 2003. – Vol. 107. – P. 1065–1066.*
20. *Сысо А.И.* Тяжелые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку // Агрохимия в XXI веке: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти акад. РАН В.Г. Минеева. – М., 2018. – С. 30–33.
21. *Direct determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, N 6. – P. 958–964.*
22. *Gary L.* Defining, establishing, and verifying reference intervals in the clinical laboratory, 3th ed. – Wayne, USA: CLSI, 2010. – 59 p.
23. *Guidelines for the determination of reference intervals (RI) in veterinary species // ASVCP: [сайт]. – URL: https://www.asvcp.org/resource/resmgr/QALS/Other_Publications/RI_Guidelines_For_ASVCP_webs.pdf (дата обращения: 03.04.2023).*
24. *Патент* на изобретение RU 2342659 C1. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней / В.Л. Петухов, О.А. Желтикова, А.И. Желтиков [и др.]. – Заявка № 2007111437/15 от 28.03.2007; Оpubл. 27.12.2008.
25. *Патент* на изобретение RU 2761031 C1. Способ определения уровня цинка в почках свиней / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, О.И. Себежко [и др.]. – Заявка № 2021101423 от 22.01.2021; Оpubл. 02.12.2021.
26. *Патент* на изобретение RU 2762614 C1. Способ определения уровня железа в печени свиней / О.А. Зайко, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко [и др.]. – Заявка № 2021107856 от 23.03.2021; Оpubл. 21.12.2021.
27. *Патент* на изобретение RU 2791231 C1. Способ определения содержания марганца в печени свиней / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2022109749 от 11.04.2022; Оpubл. 06.03.2023.
28. *Содержание меди в паренхиматозных органах свиней породы ландрас / О. А. Зайко, Т. В. Коновалова, В. Л. Петухов [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4(65). – С. 113–121.*
29. *Зайко О.А., Тарасенко Е.И.* Содержание марганца в некоторых органах и тканях свиней породы ландрас / // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3(64). – С. 102–110.
30. *Лаврищев А.В., Литвинович А.В.* Стабильный стронций в агроэкосистемах / – СПб.: Лань, 2022. – 192 с.

31. *Effect of seasonal variation on mineral nutrient of forage in habitat of Przewalski's gazelle (Procapra przewalskii)* / Y.K. Chi, D.H. Huang, S.Z. Song [et al.] // *Fresenius Environmental Bulletin*. – 2019. – Vol. 28. – P. 1457–1464.
32. *Trace minerals and trace elements* / P.A. Tsuji, J.A. Canter, L.E. Rosso // *Encyclopedia of Food and Health*, Edited by B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá. – Oxford: Academic Press, 2016. – P. 331–338.
33. *Seifert M. Strontium – a current appraisal of human exposure* // *Journal of Elementology*. – 2003. – Vol. 8, N 4. – P. 297–308.
34. *The content of selected metals in muscles of the red deer (Cervus elaphus) from Poland* / M. Skibniewski, E.M. Skibniewska, T. Kośła // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – Vol. 22, N 11. – P. 8425–8431.
35. *Нарожных К.Н., Ефанова Ю.В., Короткевич О.С. Содержание кадмия в некоторых органах и ткани бычков герефордской породы* // *Мир науки, культуры, образования*. – 2012. – № 4(35). – С. 315–318.
36. *Нарожных К., Ефанова Ю., Короткевич О., Петухов В. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы* // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2013. – № 1. – С. 24–25.
37. *Нарожных К.Н., Ефанова Ю.В., Короткевич О.С. Содержание меди в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы* // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2013. – № 2(27). – С. 73–76.
38. *Зайко О.А. Характеристика интерьера свиней скороспелой мясной породы по содержанию химических элементов в некоторых органах* // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 1. – С. 392.
39. *Григорьева А.А. Содержание тяжелых металлов в органах и мышечной ткани крупного рогатого скота* // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2014. – № 12-1. – С. 29–31.
40. *The content of lead in some organs and tissues of Hereford bull-calves* / K.N. Narozhnyh, Y.V. Efanova, V.L. Petukhov [et al.] // *E3S Web of Conferences : Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition*. Vol. 1. – Rome, Italy: EDP Sciences, 2013. – P. 15003.
41. *Towards a biologically available strontium isotope baseline for Ireland* / C. Snoeck, S. Ryan, J. Pouncett [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 712. – 136248.
42. *Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V., Pavlova, O. Yu. The behavior of Ca and Sr in the soil-plant system from liming with a strontium-containing ameliorant* // *Soil-water-plant*. – Serbia, Belgrade: Akademska izdanja, 2013. – P. 17–34.

REFERENCES

1. *Nezavitin A.G., Petukhov V.L., Vlasenko A.N. [i dr.], Problemy sel'skokhozyaistvennoi ekologii (Problems of agricultural ecology)*, Novosibirsk: Nauka. Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN, 2000, 255 p.
2. *Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G., Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review, Environmental Pollution*, 2019, Vol. 249, pp. 200–207.
3. *Landrigan P.J., Stegeman J.J., Fleming L.E. [et al.], Human health and ocean pollution, Annals of Global Health*, 2020, Vol. 86, No. 1, pp. 151.
4. *Xiaotian M., Tianzuo Z., Changxing J. [et al.], Threats to human health and ecosystem: Looking for air-pollution related damage since 1990, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, Vol. 145, No. 9, pp. 111146.
5. *Handbook of chemistry and physics*, Edited by W.M. Haynes, Boca Raton: CRC Press, 2014, 2704 p.
6. *Höllriegl V., Other environmental health issues: strontium in the environment and possible human health effects, Encyclopedia of Environmental Health*, 2nd ed; Edited by J. Nriagu, Oxford: Elsevier, 2019, pp. 797–802.
7. *Watts P., Howe P., Strontium and strontium compounds*, Geneva: WHO, 2010, 63 p.
8. *Nielsen S.P., The biological role of strontium, Bone*, 2004, Vol. 35, No. 3, pp. 583–588.

9. Zhanga H., Zhoua X., Wang L. [et al.], Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, Vol. 164, pp. 181–188.
10. Gonzalez-Weller D., Rubio C., Gutierrez A.J. [et al.], Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain), *Food and Chemical Toxicology*, 2013, Vol. 62, pp. 856–858.
11. Zaiko O.A., *Izmenchivost' i korrelyatsii khimicheskikh elementov v organakh i tkanyakh svinej skorospeloj myasnoj porody SM-1* (Variability and correlations of chemical elements in organs and tissues of pigs of early maturing meat breed SM-1), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2014, 183 p. (In Russ.)
12. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyatsiya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroi porody* (Content, variability and correlation of macronutrients in organs and tissues of Black-and-white cattle), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2018, 126 p. (In Russ.)
13. Narozhnyy K.N., *Izmenchivost', korrelyatsiya i uroven' tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh gerefordskogo skota v usloviyakh Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlation and level of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in the conditions of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2019, 163 p. (In Russ.)
14. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. [et al.], Influence of anthropogenic pollution on inter- or parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
15. Tarasenko E.I., Sebezhko O.I., Kovalev A.V., Morozov I.N., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razviti sel'skikh territorii* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), V All-Russian (National) Scientific Conference, Novosibirsk, 2020, pp. 256–259. (In Russ.)
16. Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S. [et al.], Correlations of some biochemical and hematological parameters with polymorphisms in α 1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed, *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*, Belgrade-Zemun, Serbia, 2018, p. 47.
17. Marmuleva N.I., *Soderzhanie tyazhelykh metallov i radionuklidov v produktakh zhivotnovodstva Zapadnoj Sibiri* (The content of heavy metals and radionuclides in animal products of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2003, 170 p. (In Russ.)
18. Barinov E.Y., *Akkumulyatsiya radionuklidov v kormakh Zapadno-Sibirskogo regiona* (Accumulation of radionuclides in the feedstuffs of the West Siberian region), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2009, 125 p. (In Russ.)
19. Petukhov V.L., Dukhanov Yu.A., Sevryuk I.Z. [et al.], Cs-137 and Sr-90 level in dairy products, *Journal De Physique IV*, 2003, Vol. 107, pp. 1065–1066.
20. Syso A.I., *Agrokhiimiya v XXI veke* (Agrochemistry in the XXI century), Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences V.G. Mineev, Moscow, 2018, pp. 30–33. (In Russ.)
21. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
22. Gary L., *Defining, establishing, and verifying reference intervals in the clinical laboratory*, 3th ed, Wayne, USA: CLSI, 2010, 59 p.
23. Guidelines for the determination of reference intervals (RI) in veterinary species, *ASVCP*: https://www.asvcp.org/resource/resmgr/QALS/Other_Publications/RI_Guidelines_For_ASVCP_webs.pdf (date of application: 03.04.2023).
24. Petukhov V.L., Zheltikov A.I., Zheltikova O.A. [i dr.], *Patent na izobretenie RU 2342659 C1, Sposob opredeleniya soderzhaniya kadmiya v organakh i myshechnoi tkani svinei*, Zayavka № 2007111437/15 ot 28.03.2007; Opubl. 27.12.2008. (In Russ.)
25. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Sebezhko O.I. [i dr.], *Patent na izobretenie RU 2761031 C1, Sposob opredeleniya urovnya tsinka v pochках svinei*, Zayavka № 2021101423 ot 22.01.2021; Opubl. 02.12.2021. (In Russ.)

26. Zaiko O.A., Konovalova T.V., Sebezhenko O.I. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2762614 C1, Spособ opredeleniya urovnya zheleza v pecheni svinei, Zayavka № 2021107856 ot 23.03.2021; Opubl. 21.12.2021. (In Russ.)
27. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Konovalova T.V. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2791231 C1, Spособ opredeleniya soderzhaniya margantsa v pecheni svinei, Zayavka № 2022109749 ot 11.04.2022; Opubl. 06.03.2023. (In Russ.)
28. Zaiko O.A., Konovalova T.V., Petukhov V.L. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 4(65), pp. 113–121. (In Russ.)
29. Zaiko O.A., Tarasenko E.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 3(64), pp. 102–110. (In Russ.)
30. Lavrishchev A.V., Litvinovich A.V., *Stabil'nyi strontsii v agroekosistemakh* (Stable strontium in agroecosystems), Saint Petersburg: Lan', 2022, 192 p. (In Russ.)
31. Chi Y.K., Huang D.H., Song S.Z. [et al.], Effect of seasonal variation on mineral nutrient of forage in habitat of Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*), *Fresenius Environmental Bulletin*, 2019, Vol. 28, pp. 1457–1464.
32. Tsuji P.A., Canter J.A., Rosso L.E., Trace minerals and trace elements, *Encyclopedia of Food and Health*, Edited by B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá, Oxford: Academic Press, 2016, pp. 331–338.
33. Seifert M., Strontium – a current appraisal of human exposure, *Journal of Elementology*, 2003, Vol. 8, No. 4, pp. 297–308.
34. Skibniewski M., Skibniewska E.M., Kośla T., The content of selected metals in muscles of the red deer (*Cervus elaphus*) from Poland, *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, Vol. 22, No. 11, pp. 8425–8431.
35. Narozhnyh K.N., Efanova Y.V., Korotkevich O.S., *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, 2012, No. 4(35), pp. 315–318. (In Russ.)
36. Narozhny`x K., Efanova Yu., Korotkevich O., Petukhov V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2013, No. 1, pp. 24–25. (In Russ.)
37. Narozhny`x K.N., Efanova Yu.V., Korotkevich O.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2013, No. 2(27), pp. 73–76.
38. Zaiko O.A., *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 1, p. 392. (In Russ.)
39. Grigor'eva A.A., *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2014, No. 12-1, pp. 29–31. (In Russ.)
40. Narozhnyh K.N., Efanova Y.V., Petukhov V.L. [et al.], The content of lead in some organs and tissues of Hereford bull-calves, E3S Web of Conferences, Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition. Vol. 1, Rome, Italy: EDP Sciences, 2013, p. 15003.
41. Snoeck C., Ryan S., Pouncett J. [et al.], Towards a biologically available strontium isotope baseline for Ireland, *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 712, 136248.
42. Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V., Pavlova O.Yu., The behavior of Ca and Sr in the soil-plant system from liming with a strontium-containing ameliorant, *Soil-water-plant*, Serbia, Belgrade: Akademska izdanja, 2013, pp. 17–34.

БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КОРОВ С СУБКЛИНИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ МАСТИТА

Т.В. Зубова, доктор биологических наук, профессор

В.А. Плешков, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

О.В. Смоловская, кандидат биологических наук, доцент

А.В. Семечкова, аспирант

Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

E-mail: 6110699@mail.ru

Ключевые слова: мастит субклинический, коровы, морфологический состав крови, биохимический состав крови.

Реферат. Целью настоящего исследования является изучение биохимических и морфологических показателей крови коров с субклинической формой мастита. Экспериментальные исследования проводили в ООО «Селяна» (п. Кузбасский, Кемеровского района, Кемеровской области) в 2021–2022 гг. Для данного эксперимента было отобрано 12 коров. Животные были разделены на две группы – опытную (больные) и контрольную (здоровые) – по 6 голов в каждой группе. Животных отбирали по методу пар-аналогов с учетом их живой массы, породы, возраста в отелах, удоя, жирности молока, физиологического состояния. Температуру тела измеряли ртутным термометром со шкалой, градуированной по Цельсию от 34 до 42 °С. Измерения проводили в течение 5 мин. Частоту пульса определяли на наружной челюстной артерии в течение минуты. Частоту дыхательных движений подсчитывали по количеству выдохов. Для двух групп животных было организовано одинаковое кормление и содержание, т. е. они находились в своих привычных условиях. У животных после диагностических исследований на мастит была взята кровь для изучения биохимических и морфологических показателей. У больных животных отмечали гиперпротеинемию ($87,43 \pm 0,82$ г/л), пониженное содержания кальция ($87,43 \pm 0,82$ г/л), повышение уровня фосфатазы ($156,15 \pm 0,50$ Ед/л). У коров, больных маститом, наблюдали повышение количества лейкоцитов до $14,06 \pm 2,29 \cdot 10^{12}/л$. Средняя концентрация гемоглобина в эритроците составила в контрольной группе $27,77 \pm 0,43$, в опытной – $27,87 \pm 0,21$ г/дл. Количество моноцитов, при изучении лейкограммы, в контрольной группе составило $2,23 \pm 1,51$, в группе животных, больных маститом, – $3,47 \pm 1,71\%$.

BIOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL INDICATORS OF BLOOD OF COWS WITH SUBCLINICAL FORM OF MASTITIS

T.V. Zubova, Doctor of Biological Sciences, Professor

V.A. Pleshkov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

O.V. Smolovskaya, PhD in Biological Sciences, associate professor

A.V. Semechkova, PhD student

Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia

E-mail: 6110699@mail.ru

Keywords: subclinical mastitis, cows, the morphological composition of blood, the biochemical composition of blood.

Abstract. This study aims to study the biochemical and morphological parameters of the blood of cows with subclinical mastitis. Experimental studies were conducted at Selyana LLC (Kuzbassky village, Kemerovo district, Kemerovo region) in 2021–2022. For this experiment, 12 cows were selected. Animals were divided into experimental (sick) and control (healthy) - 6 goals in each group. Animals were chosen according to the pair-analogues method, considering their live weight, breed, age at calving, milk yield, fat milk content, and physiological state. Body temperature was measured with a mercury thermometer with a scale graduated in Celsius from 34 to 42 °C. The measurements were carried out for 5 min. The pulse rate was determined on the external maxillary artery for a minute. The number of exhalations calculated the frequency of respiratory movements. The same feeding and maintenance were organised for two groups of animals, i.e., they were in their usual conditions. In animals, after diagnostic tests for mastitis, blood was taken to study biochemical and morphological parameters.

In sick animals, hyperproteinemia (87.43 ± 0.82 g/l), low calcium content (87.43 ± 0.82 g/l), and an increase in the level of phosphatase (156.15 ± 0.50 U/l) were noted. In cows with mastitis, the number of leukocytes increased to $14.06 \pm 2.29 \times 10^{12}/l$. The average haemoglobin concentration in the erythrocyte was 27.77 ± 0.43 in the control group and 27.87 ± 0.21 g/dl in the experimental group. When studying the leukogram, the number of monocytes in the control group was 2.23 ± 1.51 , and in the group of animals with mastitis - $3.47 \pm 1.71\%$.

Мастит крупного рогатого скота влияет на здоровье и благополучие животных, производство и качество молока, а также ставит под угрозу экономический успех молочных ферм.

Максимальную хозяйственно-экономическую проблему представляет субклинический (скрыто протекающий) мастит, который встречается в несколько раз чаще, чем клинически выраженный. Б.Л. Белкин отмечает: «субклинический мастит вызывает снижение удоя на 10–15%, и, по средним подсчетам, от каждой коровы недополучают до 500–700 кг за лактацию» [1].

Биохимический анализ крови позволяет определить работу внутренних органов и получить информацию о метаболизме (обмене веществ), поэтому имеет большое клиническое значение. Совокупность данных параметров в сравнении их с границами нормы позволяет оценить уровень здоровья организма, а также охарактеризовать функциональное состояние некоторых органов и их метаболические функции [2].

Так, центральным органом метаболизма, участвующим в поддержании гомеостаза во всех клетках организма и за счёт этого определяющим проявление генетического потенциала продуктивности, является печень. О метаболическом статусе клеток печени можно судить по её функциям. В формировании отдельных хозяйственно полезных признаков организма животного наиболее значимыми являются:

- белоксинтезирующая функция печени, маркерами которой являются концентрация в крови общего белка, альбуминов, каталитическая активность ферментов переаминирования (аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы);

- мочевиносинтезирующая функция, о которой можно судить по уровню мочевины и соотношению общий белок/мочевина;

- холестатическая функция, индикатором которой является концентрация в крови холестерина.

О состоянии сердца и сердечно-сосудистой системы можно судить по активности ферментов: аспартатаминотрансферазы и коэффициенту де Ритиса, концентрации холестерина [3].

Маркером функционального состояния костной ткани является уровень кальция, фосфора, хлоридов в крови.

Уровень параметров крови, по величине которых можно судить о состоянии обмена веществ и его направленности в организме коров, служит основой для формирования хозяйственно полезных признаков в соответствии с генотипом [3].

Аномальная лейкограмма обычно интерпретируется как одна из нескольких реакций, каждая из которых может состоять из одного или нескольких отклонений в дифференциале. Некоторые из них также могут быть связаны с одновременными изменениями в эритроцитах и тромбоцитах. Некоторые из существенных видовых различий в реакции лейкограммы описаны ниже [4]: например, аномалия общей концентрации лейкоцитов полезна только для предупреждения о необходимости поиска и интерпретации аномалий в распределении клеток при дифференцировке [5].

Лейкоцитоз – увеличение общей концентрации лейкоцитов, тогда как лейкопения – это снижение общей концентрации лейкоцитов. Изменения в концентрациях определенных типов лейкоцитов более важны для целей клинической интерпретации. Нейтрофилия, или нейтрофильный лейкоцитоз, – увеличение концентрации нейтрофилов. Лимфоцитоз – увеличение концентрации лимфоцитов [6].

Моноцитоз – увеличение концентрации моноцитов. Эозинофилия относится к увеличению концентрации эозинофилов, а базофилия – концентрации базофилов. Метарубрицитоз, или рубрицитоз, – это увеличение количества эритроцитов с ядрами (NRBC) в крови. Мастоцитоз – это увеличение количества тучных клеток в крови [7].

Снижение концентрации типа клеток обозначается суффиксом «пения» и относится только к тем типам клеток, в которых возможно снижение. Это не относится к типам клеток, для которых концентрация может быть нулевой, таким как моноциты, базофилы и любой другой аномальный тип клеток. Следовательно, нейтропения представляет собой снижение концентрации нейтрофилов, лимфопения – лимфоцитов, а эозинопения – эозинофилов [8].

Цитопения – неспецифический термин, указывающий на снижение концентрации клеток, но тип клеток не указан. Панцитопения указывает на снижение количества всех типов клеток, часто в тяжелой степени.

Термины, используемые для описания или квалификации аномалий, наиболее часто связанных с воспалительными реакциями, включают различные сдвиги влево и лейкомоидную реакцию. Сдвиг влево — это увеличение концентрации незрелых, несегментированных нейтрофилов. Регенеративный сдвиг влево описывает лейкоцитоз, характеризующийся сочетанием нейтрофилии и сдвига влево. В этой ситуации сегментированные нейтрофилы будут больше по концентрации, чем менее зрелые формы [9].

Дегенеративный сдвиг влево описывает картину нейтрофилов, характеризующуюся нормальной или сниженной общей концентрацией нейтрофилов, но со сдвигом влево, при котором концентрация менее зрелых форм больше, чем сегментированных нейтрофилов. Это показатель максимального выделения из костного мозга в ответ на воспаление и указывает на наличие острого, тяжелого поражения [10].

Общая концентрация лейкоцитов более изменчива и часто выше у новорожденных, чем у взрослых. Для оценки лейкограмм у молодых животных, особенно у видов, у которых лимфоциты более многочисленны (а нейтрофилы менее многочисленны), у взрослых, таких как жвачные животные, следует использовать референсные значения, связанные с возрастом. Как правило, дифференциальные показатели лейкоцитов у взрослых особей достигаются примерно в возрасте половой зрелости [11].

Показатели крови могут разниться и у однотипных половозрастных животных при различных воспалительных и патологических процессах, протекающих в их организмах. Однако заболевания, вызывающие изменения состава крови, протекают по аналогичному механизму, воздействуют на определенные участки и создают обусловленную этим морфобиохимическую картину крови, изучение и понимание которой является крайне важной задачей при разработке и внедрении средств диагностики, профилактики и лечения заболеваний различной этиологии.

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования являлось изучение биохимических и морфологических показателей крови коров с субклинической формой мастита.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-исследовательские работы были проведены согласно требованиям Этического контроля в соответствии с директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета

Европейского Союза по охране животных, используемых в научных целях.

Для экспериментальных животных были заведены индивидуальные карты, отражающие все манипуляции в ходе эксперимента вплоть до его завершения. Во время работы с животными были соблюдены меры безопасности для экспериментаторов.

Экспериментальные исследования проводили в ООО «Селяна» (п. Кузбасский, Кемеровского района, Кемеровской области) в 2021–2022 гг. Для проведения данного эксперимента нами было отобрано 12 коров. Эти животные были разделены на две группы — опытную (больные) и контрольную (здоровые) — по 6 голов в каждой группе.

Животных отбирали по методу пар-аналогов. С учетом их живой массы, породы, возраста в отелах, удоя, жирности молока, физиологического состояния. Для двух групп животных было организовано одинаковое кормление и содержание, т. е. они находились в своих привычных условиях. При проведении опыта учитывали требования, предъявляемые к коровам и организации их кормления.

Для исключения признаков нарушения обмена веществ у всех животных была взята кровь на гематологические исследования. Количественные показатели эритроцитов, гемоглобина, средней концентрации гемоглобина в эритроците, среднего содержания гемоглобина в эритроците, гематокрита, лейкоцитов, тромбоцитов и лейкограмму определяли в научно-исследовательской лаборатории биохимических, молекулярно-генетических исследований и селекции сельскохозяйственных животных Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии (г. Кемерово). Исследования проводили на автоматическом гематологическом анализаторе ABAXIS VetScan HM5 (производитель США), реактивы ABAXIS (США).

Перед каждым взятием крови у опытных животных определяли их физиологическое состояние: измеряли температуру тела, частоту пульса и количество дыхательных движений в минуту.

Температуру тела измеряли ртутным термометром со шкалой, градуированной по Цельсию от 34 до 42 °С, измерения проводили в течение 5 мин. Частоту пульса определяли на наружной челюстной артерии в течение минуты. Частоту дыхательных движений определяли по количеству выходов.

В сыворотке крови исследуемых животных определяли содержание общего кальция, неорганического фосфора, каротина и белка. Для анализа гематологических показателей кровь

брали из подхвостовой вены до кормления животных. Биохимические показатели крови коров определяли на полуавтоматическом биохимическом анализаторе MINDRAY BA-88A (MINDRAY Ltd., КНР). Резервную щелочность определяли по Неводову. Все результаты обрабатывали методами вариационной статистики.

Достоверность различий определяли на основании критерия Стьюдента. Цифровой материал обработан при помощи программного обеспечения Ms Excel и Straz.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований установлено отклонение некоторых биохимических показателей крови от норматива (табл. 1). В частности, содержание общего белка в крови больных животных превышало показатели нормы и составило $87,43 \pm 0,82$ г/л при норме 72–86 г/л. Гиперпротеинемия можно объяснить присутствием в организме животного очага воспаления, обуславливающего активацию иммунологического процесса и повышенное образование иммуноглобулинов.

Отмечено, что уровень кальция был ниже нижней границы в опытной группе – $1,91 \pm 0,16$ ммоль/л при норме 2,50–3,13 ммоль/л. При воспалительном процессе в организме происходит уменьшение уровня кальция, что служит

предпосылкой ослаблению родовых сил, нарушению кислотно-щелочного равновесия в организме [12].

Показатель уровня содержания фосфора был в пределах физиологической нормы.

Щелочная фосфатаза – фермент, образующийся в костной ткани, печени, слизистой оболочке кишечника, плаценте, легких. Результаты наших исследований подтверждают данные о повышении уровня фосфатазы до $156,15 \pm 0,50$ Ед/л при норме 18–153 Ед/л. Повышение активности щелочной фосфатазы указывает на ослабление воспроизводительной функции коров и свидетельствует о половых нарушениях [13].

Можно отметить достоверные отличия по содержанию изучаемых показателей между контрольной и опытной группами. Установлено достоверное большее содержание в крови животных опытной группы по сравнению с контрольной группой щелочной фосфатазы – на 63,22 Ед/л ($p < 0,001$), общего белка – на 13,27 г/л ($p < 0,001$), мочевины – на 2,71 ммоль/л ($p < 0,001$), общего билирубина – на 2,39 г/л ($p < 0,001$).

У коров контрольной группы установлено достоверно большее по сравнению с опытной содержание глюкозы – на 0,69 ммоль/л ($p < 0,001$) и кальция – на 1,19 ммоль/л ($p < 0,001$).

Таблица 1

Результаты биохимических исследований сыворотки крови
Results of biochemical studies of blood serum

Номер животного	Субстраты						Электролиты, ммоль/л	
	Альбумины, г/л	Глюкоза, ммоль/л	Щелочная фосфатаза, Ед/л	Общий белок, г/л	Мочевина, ммоль/л	Общий билирубин, г/л	фосфор	кальций
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Норма по прибору	38–50	2,2–3,3	18–153	72–86	3,3–6,7	1,71–8,0	1,45–1,94	2,50–3,13
Контрольная группа								
705	39,54	3,12	90,01	73,48	3,55	4,66	1,52	2,65
101	38,05	3,23	98,74	72,00	4,18	5,54	1,65	2,81
4421	39,25	2,91	94,53	73,02	3,76	4,32	1,50	2,54
2231	40,11	2,98	85,05	75,23	3,98	5,88	1,94	2,67
56	41,89	3,05	89,25	79,16	4,05	5,24	1,72	2,82
9652	42,50	2,30	100,00	72,09	4,23	4,58	1,93	3,10
M±m	40,22 ±0,75	2,93 ±0,15***	92,93 ±2,61	74,16 ±1,21	3,96 ±0,12	5,04 ±0,27	1,71 ±0,09	2,77 ±0,09***

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Опытная группа</i>								
161	42,65	2,25	155,52	89,05	5,98	8,72	1,82	1,85
694	43,05	2,20	156,25	86,52	6,89	7,09	1,78	1,51
704	45,54	2,50	154,58	85,00	6,78	7,24	2,53	2,12
696	40,15	2,28	155,69	87,78	6,00	6,72	2,20	1,53
989	39,98	2,05	157,58	86,30	7,58	9,54	1,59	2,47
036	40,25	2,15	157,25	89,90	6,79	8,24	1,82	1,99
M±m	41,94 ±0,99	2,24 ±0,07	156,15 ±0,50***	87,43 ±0,82***	6,67 ±0,27***	7,43 ±0,49***	1,96 ±0,15	1,91 ±0,16

Примечание. Здесь и далее: разница достоверна: * при $p < 0,05$; ** при $p < 0,01$; *** при $p < 0,001$.

Note. Here and below: the difference is significant: * at $p < 0,05$; ** at $p < 0,01$; *** at $p < 0,001$.

Гематологический анализ включает исследования на содержание эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, сухого остатка в сыворотке крови, глюкозы и т.д.

Эритроциты, кроме самой важной функции – транспортировать газы, принимают участие в адсорбции аминокислот, в процессе свертывания крови, а также поддерживают гомеостаз, участвуют в адсорбции ядов, связывании полипептидов. Эритроциты играют основную роль в депонировании, транспортировке, а иногда и метаболизме медиаторов, гормонов.

Содержание эритроцитов в крови коров находилось в пределах физиологической нормы и колебалось от $5,9 \pm 0,12$ до $7,4 \pm 0,16 \cdot 10^{12}/л$ (норма $5,0-7,5 \cdot 10^{12}/л$) (табл. 2).

Лейкоциты состоят из ферментов, сходных с пищеварительными. Белые клетки способны проходить через стенки тончайших сосудов, обнаруживать враждебные элементы и разрушать их. Лейкоциты вбирают патогенные частицы в себя и переваривают их. Повышенный уровень лейкоцитов в крови может сигнализировать о внутреннем воспалении, инфекции, заражении гельминтами.

Количество лейкоцитов в контрольной группе животных составило $10,25 \pm 1,04 \cdot 10^{12}/л$, что является нормой. У коров, больных маститом, отмечали повышение количества лейкоцитов до $14,06 \pm 2,29 \cdot 10^{12}/л$. Увеличение общего количества лейкоцитов чаще всего свидетельствует о наличии воспалительного процесса, преимущественно бактериальной природы [14].

Средняя концентрация гемоглобина в эритроците составила в контрольной группе $27,77 \pm 0,43$, в опытной – $27,87 \pm 0,21$ г/дл.

Снижение этого показателя является признаком анемии [14].

Анализ изучаемых показателей гематологического профиля экспериментальных животных позволил установить существенные различия по содержанию лейкоцитов, гемоглобину и гематокриту. Более высокие значения по содержанию лейкоцитов установлены в опытной группе, где показатель разнился с контролем на $3,81 \cdot 10^{12}/л$ ($p < 0,05$).

Достоверно большее значение по уровню гемоглобина и гематокрита в крови выявлено в контрольной группе, разница с опытной группой составила 1,28 ($p < 0,05$) и 4,73% ($p < 0,05$) соответственно.

Остальные анализируемые показатели крови находились в пределах физиологической нормы и не несли информативной нагрузки для нашего исследования.

Анализируя показатели лейкограммы (табл. 3) следует отметить, что количество лимфоцитов у коров, больных маститом, было снижено и составило $56,3 \pm 6,7$ %, тогда как в контрольной группе равнялось $61,65 \pm 6,32$ %, что согласуется с данными многих исследователей [15], которые отмечают, что во время острой бактериальной инфекции число лимфоцитов снижается, а при вирусной инфекции и после неё – повышается.

Процентное соотношение нейтрофилов снижено, и хотя этот показатель – основа клеточного иммунитета, однако содержание юных и зрелых форм мы не рассматривали, поэтому определить сдвиг в формуле влево или вправо не представилось возможным.

Таблица 2

Результаты гематологических исследований крови
Results of haematological blood tests

Номер животного	Эритроциты, $\times 10^9/\text{л}$	Лейкоциты, $\times 10^{12}/\text{л}$	Гемоглобин, %	Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/дл	Средний объем эритроцита, фл	Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$	Гематокрит, %
Норма по прибору	5,00–10,00	4–12	8–15	11,0–7,0	30,0–6,0	40–0	100–800	24,00–46,00
<i>Контрольная группа</i>								
705	6,89	12,76	10,1	14,6	27,7	53	278	36,47
101	8,42	8,97	12,2	14,5	27,8	52	259	43,97
4421	6,87	7,82	10,8	15,7	26,7	59	371	40,38
2231	7,22	9,10	9,6	13,4	26,8	50	219	35,97
56	6,92	9,31	10,7	15,5	28,3	55	150	37,93
9652	7,04	13,53	10,7	15,2	29,3	52	140	36,49
M $\pm$ m	7,23 $\pm 0,27$	10,25 $\pm 1,04$	10,68 $\pm 0,39$	14,82 $\pm 0,38$	27,77 $\pm 0,43$	53,50 $\pm 1,41$	236,17 $\pm 38,69$	38,5 $\pm 1,39$
<i>Опытная группа</i>								
161	6,88	21,26	10,0	14,6	28,3	52	281	35,45
694	5,96	13,53	8,9	14,9	27,7	54	129	31,97
704	7,31	8,97	10,7	14,7	27,8	53	171	38,51
696	6,21	9,31	9,1	14,7	27,1	54	374	33,72
989	6,29	19,64	8,4	13,4	28,4	47	169	29,65
036	7,23	14,86	9,3	12,8	27,9	46	191	33,31
M $\pm$ m	6,65 $\pm 0,25$	14,06 $\pm 2,29^*$	9,40 $\pm 0,37^*$	14,18 $\pm 0,39$	27,87 $\pm 0,21$	51,0 $0 \pm 1,60$	219,17 $\pm 40,77$	33,77 $\pm 1,35^*$

Процентный показатель эозинофилов незначительно повышен, чаще всего этот показатель повышается при лечении антибиотиками.

Самые крупные представители лейкоцитов моноциты. Это макрофаги, пожирающие

бактерии. Их показатель в контрольной группе составил $2,23 \pm 1,51\%$, в группе животных, больных маститом, – $3,47 \pm 1,71\%$.

Таблица 3

Лейкограмма здоровых и больных маститом животных, %
Leukogram of healthy and mastitis animals, %

Номер животного	Лимфоциты	Моноциты	Эозинофилы	Базофилы	Нейтрофилы
1	2	3	4	5	6
<i>Контрольная группа</i>					
705	71,1	0,8	0,42	1,2	23,6
101	61,3	0,7	1,3	0,4	36,3
4421	44,4	1,0	8,3	1,5	44,8

1	2	3	4	5	6
2231	45,1	9,1	2,6	0,7	42,5
56	78,1	0,9	1,9	0,1	18,9
9652	69,9	0,9	2,3	0,4	26,4
M±m	61,65±6,32	2,23±1,51	2,8±1,25	0,72±0,24	32,08±4,76
<i>Опытная группа</i>					
161	76,1	1,2	3,9	1,4	17,4
694	44,6	8,4	2,0	0,3	44,7
704	42,2	8,8	3,8	0,1	45,0
696	42,3	1,0	2,7	1,3	52,8
989	65,1	0,9	5,3	1,2	27,5
036	67,5	0,9	6,2	0,7	24,6
M±m	56,30±6,70	3,47±1,71	3,98±0,70	0,83±0,25	35,34±6,27

Некоторые параметры крови имеют очень незначительные вариации. Это так называемые жесткие константы гомеостаза: содержание глюкозы, белка, кислорода и углекислого газа, концентрация ионов водорода (рН), коллоидно-осмотическое давление, температура, артериальное давление и др.

Повышение общего количества лейкоцитов, установленное в наших исследованиях у больных субклинической формой мастита животных, чаще всего свидетельствует о наличии воспалительного процесса, преимущественно бактериальной природы [16]. Снижение концентрации гемоглобина в эритроците у животных может являться признаком анемии [17].

Полученные данные по содержанию лимфоцитов согласуются с данными многих исследователей [18], которые отмечают, что во время острой бактериальной инфекции число лимфоцитов снижается, а при вирусной инфекции и после неё – повышается. Процентное соотношение нейтрофилов снижено, хотя этот показатель – основа клеточного иммунитета, однако содержание юных и зрелых форм мы не рассматривали, поэтому определить сдвиг в формуле влево или вправо не представилось возможным. Процентный показатель эозинофилов незначительно повышен, что чаще всего

наблюдается при лечении антибиотикосодержащими препаратами [20].

Таким образом, патологии жидкостного состава внутренней среды распознаются множеством рецепторных структур и клеточных элементов, после чего следует цепь биохимических, биофизических и физиологических регуляторных реакций, направленных на устранение отклонений.

ВЫВОДЫ

1. Биохимические показатели крови здоровых и больных субклинической формой мастита коров достоверно отличались по содержанию щелочной фосфатазы – 63,22 Ед/л ($p < 0,001$), общего белка – на 13,27 г/л ($p < 0,001$), мочевины – на 2,71 ммоль/л ($p < 0,001$), общего билирубина – на 2,39 г/л ($p < 0,001$), глюкозы – на 0,69 ммоль/л ($p < 0,001$) и кальция – 1,19 ммоль/л ($p < 0,001$).

2. Морфологические показатели крови здоровых и больных коров с субклинической формой мастита достоверно различались по содержанию лейкоцитов – на $3,81 \cdot 10^{12}$ /л ($p < 0,05$), гемоглобина – на 1,28 % ($p < 0,05$) и гематокрита – на 4,73% ($p < 0,05$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белкин Б.Л., Масалов В.Н., Попков Т.В. Рекомендации по улучшению качества молока в Орловской области. – 2014. – 31 с.
2. Терапия субклинического мастита у коров / О.В. Смоловская, Т.В. Зубова, В.А. Плешков, А.В. Семечкова // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 6. – С. 75–78. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_6_75; EDN: AYHRZQ.

3. *Эффективность* схем лечения коров с серозным маститом при использовании хелатного комплекса цинка / М.В. Лазарева, Е.С. Кошман, С.В. Мезенцева, А.Р. Муратова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 84–91. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-63-2-84-91; EDN: EESHCHN.
4. *Owens W.E., Nickerson S.C.* Mastitis Therapy and Control Medical Therapy Options // Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition). – 2011. – P. 435–439.
5. *Zeryehun T., Abera G.* Prevalence and bacterial isolates of mastitis in dairy farms in selected districts of Eastern Harrarghe zone, Eastern Ethiopia // J. Vet. Med. – 2017. – Vol. 2017. – Article 6498618. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/jvm/2017/6498618/> (дата обращения: 12.08.2022).
6. *Comparison of systemic and intramammary dry cow treatments* / G. Andres, M. Walter, R. Juan Munoz [et al.] // Revista MVZ Cordoba. – 2013. – Vol. 18, N 1. – P. 3259–3264. – URL: <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/186> (дата обращения: 12.08.2022).
7. *Фурсов Г.М., Фоменко С.А., Резяпкина Е.А.* Микробиология молока и молочных продуктов // News of Science and Education. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 103–105.
8. *Prevalence and characteristics of Staphylococcus aureus cultured from raw milk taken from dairy cows with mastitis in Beijing, China* / W. Wang, H. Lin, T. Jiang [et al.] // Front. Microbiol. – 2018. – Vol. 9. – Article 1123. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.01123/full> (дата обращения: 12.08.2022).
9. *Bacteria isolated from milk of dairy cows with and without clinical mastitis in different regions of Australia, and their profiles AMR* / H. Al-Harbi, S. Ranjbar, R. Moore [et al.] // Front. Vet. Sci. – 2021. – Vol. 8. – Article 743725. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.743725/full> (дата обращения: 12.08.2022).
10. *Biofilm research in bovine mastitis* / R. Pedersen, V. Kromker, T. Bjarnsholt [et al.] // Sec. Veterinary Infectious Diseases. – 2021. – Vol. 8. – Article 656810. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.656810/full> (дата обращения: 12.08.2022).
11. *Ruegg P.L.* Review for 100 years: Detection, treatment and prevention of mastitis // J. Dairy sciences. – 2017. – Vol. 100. – P. 10381–10397. – URL: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(17\)31032-9/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(17)31032-9/pdf) (дата обращения: 12.08.2022).
12. *Increased oxidative stress in the prefrontal cortex as a shared feature of depressive- and PTSD-like syndromes: Effects of a standardized herbal antioxidant* / J. de Munter, D. Pavlov, A. Gorlova [et al.] // Front Nutr. – 2021. – Vol. 8. – Article 661455. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.661455/full> (дата обращения: 12.08.2022).
13. *Cote-Gravel J., Malouin F.* Symposium review: Features of Staphylococcus aureus mastitis pathogenesis that guide vaccine development strategies // J Dairy Sci. – 2019. – Vol. 102, N 5. – P. 4727–4740. – URL: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(18\)31100-7/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(18)31100-7/pdf) (дата обращения: 12.08.2022).
14. *Oliver S.P., Murinda S.E.* Antimicrobial resistance of mastitis pathogens // Veterinarian Klin Nord Am Foot Anim Prakt. – 2012. – Vol. 28, N 2. – P. 165–185. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749072012000229?ia%3Dihub> (дата обращения: 12.08.2022).
15. *Черненко В.В., Хотмирова О.В., Черненко Ю.Н.* Методы диагностики и лечения мастита у коров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4. – С. 40–43.
16. *El-Sayed A., Kamel M.* Bovine mastitis prevention and control in the post-antibiotic era // Trop Anim Health Prod. – 2021. – Vol. 53. – Article 236. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-021-02680-9> (дата обращения: 12.08.2022).
17. *Степанова Е.А., Кузьминский И.И., Линенко А.В.* Возбудители мастита у коров и эффективность антимикробной терапии // Экология и животный мир. – 2019. – № 2. – С. 68–72.
18. *Горбатов А.В., Соколова Н.А., Лощинин М.Н.* Факторы вирулентности стрептококков и стафилококков и специфическая профилактика маститов у коров // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2019. – № 4 (32). – С. 428–433.

REFERENCES

1. Belkin B.L., Masalov V.N., Popkov T.V., *Rekomendacii po uluchsheniyu kachestva moloka v Orlovskoj oblasti* (Recommendations for improving the quality of milk in the Oryol region), 2014, 31 p.
2. molovskaya O.V., Zubova T.V., Pleshkov V.A., Semechkova A.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki* APK, 2022, T. 36, No. 6, pp. 75–78, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_6_75; EDN: AYHRZQ. (In Russ.)
3. Lazareva M.V., Koshman E.S., Mezenceva S.V., Muratova A.R., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 2 (63), pp. 84–91, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-84-91; EDN: EESHCHN. (In Russ.)
4. Owens W.E., Nickerson S.C., Mastitis Therapy and Control | Medical Therapy Options, *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second Edition), 2011, pp. 435–439.
5. Zeryehun T., Abera G., Prevalence and bacterial isolates of mastitis in dairy farms in selected districts of Eastern Harrarghe zone, Eastern Ethiopia, *J. Vet. Med.*, 2017, Vol. 2017, Article 6498618, URL: <https://www.hindawi.com/journals/jvm/2017/6498618/> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
6. Andres G., Walter M., Juan Munoz R., et al., Comparison of systemic and intramammary dry cow treatments, *Revista MVZ Cordoba*, 2013, Vol. 18, No. 1, pp. 3259–3264, URL: <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/186> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
7. Firsov G.M., Fomenko S.A., Rezyapkina E.A., Mikrobiologiya moloka i molochnyh produktov, *News of Science and Education*, 2018, T. 10, No. 2, pp. 103–105.
8. Wang W., Lin H., Jiang T., et al., Prevalence and characteristics of *Staphylococcus aureus* cultured from raw milk taken from dairy cows with mastitis in Beijing, China, *Front. Microbiol.*, 2018, Vol. 9, Article 1123, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.01123/full> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
9. Al-Harbi H., Ranjbar S., Moore R., et al., Bacteria isolated from milk of dairy cows with and without clinical mastitis in different regions of Australia, and their profiles AMR, *Front. Vet. Sci.*, 2021, Vol. 8, Article 743725, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.743725/full> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
10. Pedersen R., Kromker V., Bjarnsholt T., et al., Biofilm research in bovine mastitis, *Sec. Veterinary Infectious Diseases*, 2021, Vol. 8, Article 656810, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.656810/full> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
11. Ruegg P.L., Review for 100 years: Detection, treatment and prevention of mastitis, *J. Dairy sciences*, 2017, Vol. 100, pp. 10381–10397, URL: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(17\)31032-9/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(17)31032-9/pdf) (data obrashcheniya: 12.08.2022).
12. de Munter J., Pavlov D., Gorlova A., et al., Increased oxidative stress in the prefrontal cortex as a shared feature of depressive- and PTSD-like syndromes: Effects of a standardized herbal antioxidant, *Front Nutr.*, 2021, Vol. 8, Article 661455, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.661455/full> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
13. Cote-Gravel J., Malouin F., Symposium review: Features of *Staphylococcus aureus* mastitis pathogenesis that guide vaccine development strategies, *J Dairy Sci.*, 2019, Vol. 102, No. 5, pp. 4727–4740, URL: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(18\)31100-7/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(18)31100-7/pdf) (data obrashcheniya: 12.08.2022).
14. Oliver S.P., Murinda S.E., Antimicrobial resistance of mastitis pathogens, *Veterinarian Klin Nord Am Foot Anim Prakt.*, 2012, Vol. 28, No. 2, pp. 165–185, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749072012000229?ia%3Dihub> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
15. CHernenok V.V., Hotmirova O.V., CHernenok YU.N., *Vestnik Kurskoj Gosudarstvennoj Sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2020, No. 4, pp. 40–43. (In Russ.)
16. El-Sayed A., Kamel M., Bovine mastitis prevention and control in the post-antibiotic era, *Trop Anim Health Prod.*, 2021, Vol. 53, Article 236, URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-021-02680-9> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
17. Stepanova E.A., Kuz'minskij I.I., Linenko A.V., *Ekologiya i zhivotnyj mir*, 2019, No. 2, pp. 68–72. (In Russ.)
18. Gorbatov A.V., Sokolova N.A., Loshchinin M.N., *Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ekologii*, 2019, No. 4 (32), pp. 428–433. (In Russ.)

ОЦЕНКА МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ МАРАЛОВ-РОГАЧЕЙ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ПОРОДЫ

Д.А. Казанцев, кандидат сельскохозяйственных наук

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

E-mail: kaz.d.a@yandex.ru

Ключевые слова: маралы-рогачи, алтае-саянская порода, возраст, метаболизм, биохимия, органические и минеральные вещества крови.

Реферат. Пантовое оленеводство – это отрасль по разведению благородных оленей, и самым ценным видом в хозяйственном отношении является марал. В настоящее время выращиванием основного поголовья в Российской Федерации занимаются два региона – это Республика Алтай и Алтайский край. Рост пантов и их биологические свойства зависят от физиологического статуса организма маралов, что определяется путём анализа биохимического состава сыворотки крови. Экспериментальная часть исследования проведена в производственных условиях мараловодческого хозяйства ООО «Шагым» в 2023 г. В ходе исследования установлено снижение показателей печёночных ферментов (АСТ, АЛТ, щелочная фосфатаза) к 12-летнему возрасту маралов-рогачей на 32; 22 и 10 % соответственно. Самый интенсивный белковый обмен определён у рогачей в возрасте 7–8 лет. В ходе анализа уровня глюкозы у рогачей в зависимости от возраста отмечается усиление углеводного обмена с 4–6 до 7–8 лет на 4 %, а от средневозрастных до старых животных он уменьшается на 4 %. Количество триглицеридов в сыворотке крови с 4 до 8 лет увеличивается на 11 %, а затем снижается на 13 % к 12 годам. Установлено повышение содержания холестерина у рогачей в возрасте 9–12 лет, разница с 4–6- и 7–8-летними составила 14 и 7 % соответственно. В результате исследования выявлено большее содержание кальция в сыворотке крови у молодых самцов маралов – 3,59 ммоль/л. Разница со средней группой составила 20%, а взрослой – 7,5%. Уровень фосфора в сыворотке крови у старых (9–12 лет) и молодых рогачей (4–6 лет) находится в одинаковых пределах и составляет 1,4 ммоль/л, что больше на 4 %, чем у средневозрастной группы (7–8 лет). Результаты исследований демонстрируют необходимость изучения биохимического состава сыворотки крови для оценки физиологического статуса и обмена веществ у животных и своевременного устранения негативных нарушений в случае его несоответствия нормативным возрастным показателям.

ASSESSMENT OF THE METABOLIC PROFILE OF THE ALTAI-SAYAN BREED

A. Kazantsev, PhD in Agricultural Sciences

Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

E-mail: kaz.d.a@yandex.ru

Keywords: maral - stag, Altai-Sayan breed, age, metabolism, biochemistry, organic and mineral blood substances.

Abstract. Antler reindeer breeding is an industry for breeding red deer, and the most economically valuable species is maral. Currently, two regions are cultivating the primary livestock in the Russian Federation - the Republic of Altai and the Altai Territory. The growth of antlers and their biological properties depend on the physiological status of the deer organism, which is determined by analysing the biochemical composition of blood serum. The experimental part of the study was conducted in the production conditions of the maral breeding farm of Shagym LLC in 2023. During the study, the authors found a decrease in liver enzymes (AST, ALT, alkaline phosphatase) by the age of 12 in maral-stag by 32%, 22% and 10%, respectively. The most intensive protein metabolism was determined in stags at 7–8 years. During the analysis of the glucose level in stags, depending on age, an increase in carbohydrate metabolism from 4–6 to 7–8 years old by 4% is noted, and from middle-aged to senior animals, it decreases by 4%. The triglyceride amount in the blood serum from 4 to 8 years increases by 11% and then reduces by 13% by 12 years. An increase in cholesterol content was found in stags aged 9–12 years; the difference between 4–6 and 7–8-year-olds was 14 and 7%, respectively. As a result of the study, the higher calcium content in the blood serum of young male marals was revealed - 3.59 mmol/l. The difference between the middle group was 20% and the adult 7.5%. The level of phosphorus in the blood serum of old (9–12 years old) and young stags (4–6 years old) is in the same range and is 1.4 mmol/l, which is 4% more than in the middle age group (7–8 years old)). The research results demonstrate the need to study the biochemical composition of blood

serum to assess animals' physiological status and metabolism and timely eliminate damaging violations in case of non-compliance with normative age indicators.

Пантовое оленеводство – это отрасль животноводства, базирующаяся на производстве пантов – рогов, которые срезают у рогачей в период их роста до окостенения внутренней структуры [1]. Консервированные панты используют в составе лекарственных препаратов и биологически активных добавок [2].

На территории Алтайского края и Республики Алтай разводят единственную в мире алтае-саянскую породу маралов. Этих уникальных животных содержат в специализированных хозяйствах различных форм собственности полувольным способом в огороженных загонах [3].

В последние годы со стороны Китая и Кореи значительно увеличивается спрос на пантовую продукцию, полученную от маралов, разводимых в уникальных биогеохимических условиях Алтайского края и Республики Алтай. Это является важным фактором для развития мараловодческой отрасли в регионе [4].

Поэтому следует продолжать работы, направленные на сохранение и увеличение поголовья маралов алтае-саянской породы на территории Алтая [5]. Однако рост поголовья без использования биотехнологических методов влечёт за собой снижение массы пантов, а также ухудшение резистентности организма животных [6].

Биотехнологические приёмы в мараловодстве направлены на получение полезных продуктов для человека, что невозможно без разработки современной системы контроля и мониторинга, включающей определение метаболического профиля рогачей, который является малоизученным и представляет научный и практический интерес для оценки состояния здоровья и резистентности популяции в конкретных условиях кормления и среды обитания.

В этой связи цель исследования состоит в изучении особенностей биохимического состава сыворотки крови маралов-рогачей в зависимости от возраста.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено в производственных условиях мараловодческого хозяйства ООО «Шагым» в 2023 г. Для проведения эксперимента стадо маралов в количестве 60 голов распределили на 3 группы по возрасту,

где рогачи от 4 до 6 лет составляли младшую производственную группу ($n = 20$), в возрасте 7–8 лет – среднюю (основную) ($n = 20$) и в возрасте 9 лет и старше – старшую группу ($n = 20$).

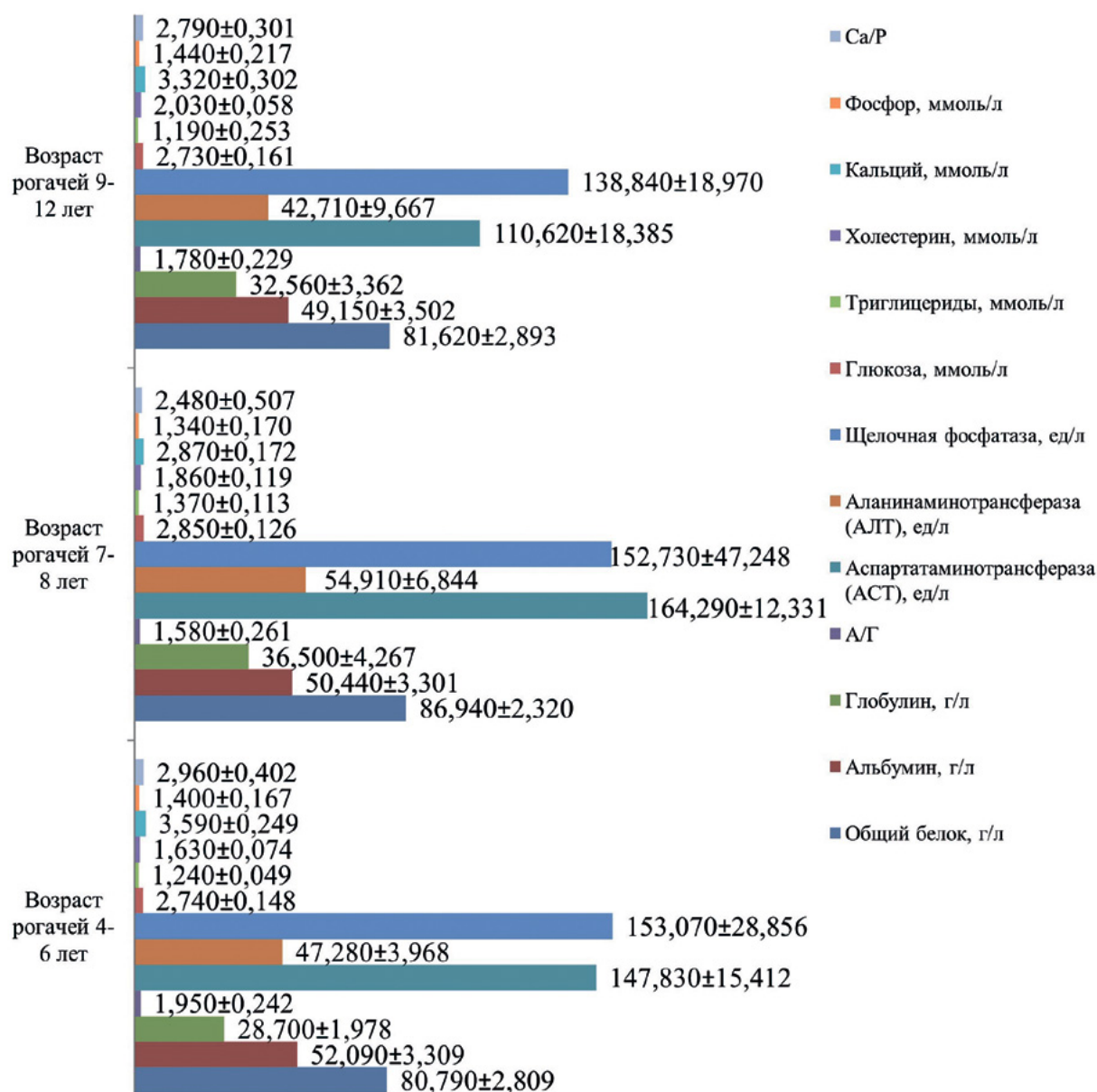
Забор крови осуществляли у маралов-рогачей утром с 6 до 7 ч из яремной вены. Для взятия образцов крови использовали вакуумные пробирки объёмом 9 мл с активатором свёртывания. Биохимический анализ сыворотки крови проводили на кафедре общей биологии, биотехнологии и разведения животных Алтайского ГАУ. В ходе исследования работали на анализаторе HTI Biohaem SA с использованием реактивов Vital Development (Витал).

Биохимические показатели определяли по следующим методикам: общий белок и его фракции – биуретовым методом, щелочную фосфатазу – методом Раевского, концентрацию кальция – унифицированным колориметрическим методом, ммоль/л; фосфор – молибдатным UV-методом без депротеинизации, аспартатаминотрансферазу (АСТ), аланинаминотрансферазу (АЛТ) – энзиматическим кинетическим методом, а показатели глюкозы, триглицеридов, холестерина – энзиматическим колориметрическим методом. Сбор и анализ данных проведен по общепринятым методикам в зоотехнии с использованием программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав крови животных постоянен, но различается в зависимости от вида, возраста, продуктивности, условий содержания, кормления, ветеринарных мероприятий [7].

Учитывая, что в состав пантов входит большой объём полезных веществ, в период их роста и формирования происходит концентрация обширного количества ресурсов организма рогачей. При этом огромную роль играет система крови, обеспечивающая транспортную, дыхательную, питательную и иные функции [8]. При исследовании биохимических показателей крови, отражающих все физиологические функции, протекающие в организме самцов маралов, следует изучать их в комплексе. В связи с этим определены основные показатели, которые отражают уровень катаболических и анаболических процессов, происходящих в организме рогачей (рисунок).



Биохимические показатели сыворотки крови рогачей в зависимости от возраста

Biochemical parameters of blood serum of stags depending on age

Ферменты АСТ и АЛТ контролируют функциональную активность печени, что важно учитывать при оценке физиологического состояния животного. В нашем исследовании установлено, что показатели аспартатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы имеют тенденцию к увеличению к 7- и 8-летнему возрасту самцов маралов на 11 и 15 % соответственно. В зрелом возрасте рогачей (9–12 лет) происходит снижение АСТ и АЛТ на 32 и 22 %. На наш взгляд, это происходит из-за активизации метаболических процессов у самцов маралов до 8-летнего возраста, а с увеличением возраста – более сильной активизации переноса аминокислот между аминокислотами и снижения

количества данных ферментов у возрастных рогачей.

Анализируя показатели щелочной фосфатазы (ЩФ), можно сделать вывод, что она имеет динамику на понижение с увеличением возраста рогачей, но стоит отметить, что все показатели ЩФ находятся в пределах референсных значений для данного вида животных. Уменьшение количества фермента щелочной фосфатазы происходит с 4 до 12 лет на 9 и 10 % относительно групп молодых самцов (4-6 лет). Это свидетельствует о том, что с увеличением возраста рогачей идёт усиленное повышение массы пантов, а ЩФ как раз участвует в регуляции процессов роста и перестройки костной

ткани. Тем самым установлено, что данного фермента больше затрачивается в организме взрослых особей за счёт снижения его активности в реакции отщепления фосфата от органических веществ в процессах метаболизма.

Определение общего белка и его фракций в сыворотке крови имеет огромное значение в оценке физиологического состояния животных. Как известно, функции белков более разнообразны по сравнению с другими биополимерами и полисахаридами. Изменение белкового состава крови может происходить из-за качества и условий кормления, окружающей среды, продуктивности и ряда других факторов [9]. Установлено, что в возрасте 7–8 лет наблюдается наивысшая концентрация общего белка – 86,94 г/л. Эта тенденция может обуславливаться тем, что в данном возрасте у маралов отмечается стабильно высокая масса пантов. После 8-летнего возраста развитие пантов маралов имеет тенденцию к замедлению, что доказывается снижением уровня общего белка в сыворотке крови на 6 % у возрастных рогачей (9–12 лет).

Альбумины в организме животных выполняют много важных метаболических функций [10]. Для маралов следует выделить две основные – это белковый резерв и их транспорт, а также альбумины регулируют статус кальция в организме, что очень важно для построения рогов у маралов [11].

Уровень сывороточных белков альбуминов у всех исследуемых групп самцов маралов находился в пределах физиологической нормы. В ходе исследования установлено его снижение с 4 до 12 лет на 6 %. Скорее всего, это связано с функциональной активностью печени, которая с возрастом замедляется.

Концентрация глобулинов с возрастом рогачей повышается с 4 до 8 лет на 27 %, и 8-летнем возрасте отмечается максимальное значение – 36,5 г/л. Затем идёт снижение изучаемой фракции белка на 11 % к 9–12 годам. По всей вероятности, это происходит из-за большей концентрации белковых гормонов и высокой резистентности взрослых маралов-рогачей. Необходимо отметить высокий А/Г коэффициент у молодых рогачей, свидетельствующий о больших потребностях животных в строительном материале.

Концентрация глюкозы в сыворотке крови является одним из основных индикаторов, характеризующих энергетический обмен у животных [12]. Организм маралов-рогачей нуждается в поступлении достаточного количества энергии для поддержания жизни и производства пантов, как раз на производство пантов в

мае–июле затрачивается большее количество энергии [13]. В ходе анализа уровня глюкозы у рогачей в зависимости от возраста отмечено усиление углеводного обмена с 4–6 до 7–8 лет на 4 %, а от средневозрастных к старым животным он уменьшается на 4 %. Это объясняется тем, что в данном возрасте (9–12 лет) может осуществляться снижение депонированного гликогена в печени, который является источником энергии. Установленная нами динамика на увеличение уровня глюкозы в 7–8 лет может быть свидетельством того, что у этих маралов отмечалась наибольшая пантовая продуктивность.

Триглицериды и холестерин в организме маралов регулируют жировой обмен и обеспечивают клетки энергией, а также участвуют в синтезе биологически активных веществ. Из данных рисунка видно увеличение триглицеридов в сыворотке крови с 4 до 8 лет на 11 %, а затем снижение на 13 % к 12 годам.

Уровень холестерина повышается у старых животных. Разница с молодой и средневозрастной группой рогачей составила 14 и 7 % соответственно. Следует отметить, что все показатели углеводного и липидного обмена находились в пределах физиологической нормы, нами установлена лишь незначительная тенденция к снижению уровня глюкозы, триглицеридов и увеличению концентрации холестерина. Это обосновывается высокой массой пантов у данной возрастной группы, что может косвенно свидетельствовать о более значительном уровне тестостерона, который повышает чувствительность тканей к инсулину, и, как следствие, увеличивает поглощение глюкозы тканями и депонирование триглицеридов.

За образование костной ткани в организме животных отвечает кальций [14]. Фосфор является неотъемлемой частью метаболических процессов, протекающих в организме самцов маралов, отвечающих за образование пантов [15]. В ходе исследования выявлено самое большое содержание кальция в сыворотке крови у молодых самцов маралов – 3,59 ммоль/л. Разница со средней группой составила 20%, а взрослой – 7,5%. Такая картина говорит о том, что в 4–6 лет происходит окончательное формирование всех систем и функций организма рогачей и стабилизация продуктивных качеств, а с 7-летнего возраста кальций в основном расходуется на построение пантов, ведь, как известно, масса пантов может достигать 25 кг, а ежедневное увеличение в размерах – до 2,5 см [16].

В ходе опыта установлено, что уровень фосфора в сыворотке крови у старых и моло-

дых рогачей находится в одинаковых пределах – 1,4 ммоль/л, что больше на 4 %, чем у средневозрастной группы. Кальций фосфорное отношение выше у самцов маралов в возрасте 4–6 лет.

ВЫВОДЫ

1. Установлено снижение показателей печёночных ферментов (АСТ, АЛТ, щелочная фосфатаза) к 12-летнему возрасту маралов-рогачей на 32; 22 и 10% соответственно. Самый интенсивный белковый обмен определён у рогачей в возрасте 7–8 лет.

2. У рогачей в зависимости от возраста отмечается усиление углеводного обмена с 4–6 до 7–8 лет на 4%, а от средневозрастных до старых животных он уменьшается на 4%. Происходит увеличение триглицеридов в сыворотке крови с 4 до 8 лет на 11%, а затем снижение на 13% к 12 годам. Установлено повышение холестерина у рогачей в возрасте 9–12 лет – разница с 4–6-и 7–8-летними составила 14 и 7% соответственно.

3. Выявлено большее содержание кальция в сыворотке крови у молодых самцов маралов – 3,59 ммоль/л. Разница со средней группой со-

ставляла 20%, а взрослой – 7,5%. Уровень фосфора в сыворотке крови у старых (9–12 лет) и молодых рогачей (4–6 лет) находится в одинаковых пределах и составляет 1,4 ммоль/л, что больше на 4% чем у средневозрастной группы (7–8 лет).

4. Результаты, полученные в ходе исследования, демонстрируют необходимость изучения биохимического состава сыворотки крови для оценки физиологического статуса и обмена веществ у животных и своевременного устранения негативных нарушений в случае его несоответствия нормативным возрастным показателям.

5. Полученные значения могут быть использованы при рассмотрении функциональной нагрузки маралов, разводимых в условиях среднегорья, связанной с производством пантов.

6. Определение метаболического статуса рогачей поможет специалистам мораловодческих предприятий проводить целенаправленную корректировку рационов, способствующую эффективной реализации генетического потенциала алтайской популяции маралов-рогачей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тишков М.Ю., Тишкова Е.В. Оценка существующих систем кормления маралов-рогачей в крупных мараловодческих предприятиях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (173). – С. 146–152. – EDN: LJBVER.
2. Гришаева И.Н. Получение водного пантового экстракта // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 14–15 мая 2020 г. – Красноярск, 2020. – С. 486–489. – EDN: PKVHR.
3. Луницын В.Г., Маташева О.А. Индивидуальная возрастная продуктивность маралов-рогачей и критерии ее оценки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4 (186). – С. 85–96. – EDN: AUFIL.
4. Луницын В.Г., Неприятель А.А., Белозерских И.С. Новые комплексные препараты на основе крови марала и биосубстанций из пантов и второстепенной продукции оленеводства // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5 (139). – С. 121–126. – EDN: WAWENX.
5. Растопшина Л.В., Казанцев Д.А., Челах В.А. Анализ показателей белкового обмена у маралов в зависимости от возраста и пантовой продуктивности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (184). – С. 116–122.
6. Казанцев Д.А., Растопшина Л.В. Гематологический статус маралов в зависимости от массы сырых пантов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 9 (179). – С. 107–111. – EDN: JKJHXS.
7. Морфологические показатели крови европейского благородного оленя при акклиматизации в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края / Е.А. Киц, Л.В. Кононова, Г.П. Ковалева [и др.] // Зоотехния. – 2022. – № 10. – С. 31–34. – DOI: 10.25708/ZT.2022.69.87.008; EDN: SPAYNF.
8. Растопшина Л.В., Казанцев Д.А. Исследование взаимосвязи показателей крови с пантовой продуктивностью маралов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1 (159). – С. 115–119. – EDN: YNHDCQ.

9. Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Чебаков С.Н. Биохимические показатели крови быков-производителей при использовании минеральной добавки из жмыха пантов марала // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 12 (206). – С. 44–51. – DOI: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-44-51; EDN: CLPEVL.
10. Неприятель А.А., Луницын В.Г., Никитин С.А. Морфобиохимические показатели крови маралов рогачей в зависимости от продуктивности, возраста и сезона года // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 1 (9). – С. 215–218. – EDN: PEOFRT.
11. Адаптационные особенности маралов алтае-саянской породы в условиях Республики Тыва / Р.Б. Чысыма, Ю.Н. Федоров, Г.Д. Куулар, Н.Н. Баян-Оол // Ветеринария. – 2020. – № 1. – С. 9–13. – DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.1.09-13; EDN: REXQHP.
12. Кузьмина Е.Е. Иммунобиохимические показатели крови маралов в условиях Республики Тыва // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. 50, № 2. – С. 109–115. – DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-13; EDN: MOTUBX.
13. Тишкова Е.В. Корма и кормовые добавки в мараловодстве // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 19–20 мая 2022 г. / сост. Л.В. Ефимова, В.А. Терещенко. – Красноярск, 2022. – С. 324–327. – EDN: XKKFVW.
14. Луницын В.Г. Влияние скормливания пантового жмыха на морфобиохимический состав крови и продуктивность маралов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – Т. 48, № 1. – С. 65–72. – DOI: 10.26898/0370-8799-2018-1-9; EDN: YUDUVQ.
15. Тишкова Е.В., Тишков М.Ю. Учет гематологических показателей крови при балансировании кормления маралов // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 19–20 мая 2022 г. / сост. Л.В. Ефимова, В.А. Терещенко. – Красноярск, 2022. – С. 328–332. – EDN: WECFEG.
16. Казанцев Д.А., Растопшина Л.В., Кыпчаков М.А. Индивидуальные и групповые показатели пантовой продуктивности маралов за период хозяйственного использования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 12 (206). – С. 71–76. – DOI: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-71-76; EDN: NFBZAC.

REFERENCES

1. Tishkov M.Yu., Tishkova E.V., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 3 (173), pp. 146–152, EDN: LJBBEP. (In Russ.)
2. Grishaeva I.N., *Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri* (Scientific support of animal husbandry in Siberia), Proceedings of the Conference Title, Krasnoyarsk, 2020, pp. 486–489, EDN: PKVAHR. (In Russ.)
3. Lunitsyn V.G., Matasheva O.A., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 4 (186), pp. 85–96, EDN: AUFIIL. (In Russ.)
4. Lunitsyn V.G., Nepriyatel' A.A., Belozerskikh I.S., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 5 (139), pp. 121–126, EDN: WAWENX. (In Russ.)
5. Rastopshina L.V., Kazantsev D.A., Chelakh V.A., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 2 (184), pp. 116–122. (In Russ.)
6. Kazantsev D.A., Rastopshina L.V., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 9 (179), pp. 107–111, EDN: JKJHXS. (In Russ.)
7. Kits E.A., Kononova L.V., Kovaleva G.P. i dr., *Zootekhnika*, 2022, No. 10, pp. 31–34, DOI: 10.25708/ZT.2022.69.87.008, EDN: SPAYNF. (In Russ.)
8. Rastopshina L.V., Kazantsev D.A., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 1 (159), pp. 115–119, EDN: YNHDCQ. (In Russ.)
9. Afanas'eva A.I., Sarychev V.A., Chebakov S.N., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 12 (206), pp. 44–51, DOI: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-44-51, EDN: CLPEVL. (In Russ.)
10. Nepriyatel' A.A., Lunitsyn V.G., Nikitin S.A., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2003, No. 1 (9), pp. 215–218, EDN: PEOFRT. (In Russ.)

11. Chysyma R.B., Fedorov Yu.N., o. Kuular G.D., Bayan-Ool N.N., *Veterinariya*, 2020, No. 1, pp. 9–13, DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.1.09-13, EDN: REXQHP. (In Russ.)
12. Kuz'mina E.E., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2020, T. 50, No. 2, pp. 109–115, DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-13, EDN: MOTUBX. (In Russ.)
13. Tishkova E.V., *Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri* (Scientific support of animal husbandry in Siberia), Proceedings of the Conference Title, Krasnoyarsk, 2022, pp. 324–327, EDN: XKKFVW. (In Russ.)
14. Lunitsyn V.G., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2018, T. 48, No. 1, pp. 65–72, DOI: 10.26898/0370-8799-2018-1-9; EDN: YUDUVQ. (In Russ.)
15. Tishkova E.V., Tishkov M.Yu., *Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri* (Scientific support of animal husbandry in Siberia), Proceedings of the Conference Title, Krasnoyarsk, 2022, pp. 328–332, EDN: WECFEG. (In Russ.)
16. Kazantsev D.A., Rastopshina L.V., Kypchakov M.A., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 12 (206), pp. 71–76, DOI: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-71-76; EDN: NFBZAC. (In Russ.)

**ПОЛИМОРФИЗМ ЛОКУСА BMP-15 У ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****Е.А. Климанова**, аспирант**Т.В. Коновалова**, старший преподаватель*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия***E-mail:** kateri2403@mail.ru**Ключевые слова:** овцы, романовская порода, ген, полиморфизм, BMP-15, мясная продуктивность.

Реферат. В настоящее время в селективном отборе учитываются полиморфизмы генов, связанных не только с многоплодием (фактор дифференциации роста 9 (GDF-9), рецептор костного морфогенетического белка (BMPR-IB) и др.), но и с показателями молочной (β -лактоглобулин (β -lg), α S1-казеин) и мясной (миостатин (MSTN), кальпастатин (CAST), кальпаин (CAPN1)) продуктивности. Так, в овцеводстве с целью улучшения репродуктивных показателей стали отслеживаться гены, связанные с трансформирующим фактором роста: BMP-15, GDF-9, BMPR-IB. Особый интерес представляют генетические маркеры, ассоциированные с воспроизводством животных, с рядом продуктивных показателей и другими критериями оценки, по которым ранее исследования не велись. Работы по изучению взаимосвязей генетического наследования у животных с биохимическими, гематологическими, экологическими и зоотехническими показателями в настоящее время являются особо актуальными. В данной работе рассматривается генотипическая изменчивость у овец романовской породы по локусу гена BMP-15, относящемуся к генам семейства β -факторов роста. Распределение генотипов у овец романовской породы в условиях Западной Сибири составило: для овцематок частоты генотипов WW – 25%, WM – 75 и MM – 0%; для баранов – 0, 80 и 20% соответственно. У исследуемых овец были идентифицированы все три генотипа (WW, WM и MM). Результаты отличаются от данных, полученных в ряде других работ по зарубежным породам овец (короткохвостые овцы хан, авасси, барки, оссими, рахмани и др.). Представляет интерес дальнейшее изучение локуса BMP-15 для установления его ассоциаций с биохимическими, гематологическими показателями и гормональным статусом овец.

POLYMORPHISM OF THE BMP-15 LOCUS IN ROMANOV SHEEP IN WESTERN SIBERIA**E.A. Klimanova**, PhD student**T.V. Konovalova**, Senior Lecturer*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia***E-mail:** kateri2403@mail.ru**Keywords:** sheep, Romanov breed, genes, polymorphisms, BMP-15, meat productivity

Abstract. Currently, selective selection takes into account gene polymorphisms associated not only with multiple pregnancies (growth differentiation factor 9 (GDF-9), bone morphogenetic protein receptor (BMPR-IB), etc.) but also with milk parameters (β -lactoglobulin (β -lg), α S1-casein) and meat (myostatin (MSTN), calpastatin (CAST), calpain (CAPN1)) productivity. Thus, genes associated with the transforming growth factor began to be monitored to improve reproductive performance in sheep breeding: BMP-15, GDF-9, and BMPR-IB. Genetic markers related to animal reproduction are exciting, with several productive indicators and other evaluation criteria that have not been previously studied. Work on the relationship of animal gene inheritance with biochemical, haematological, environmental and zootechnical indicators is particularly relevant. In this paper, we consider genotypic variability in Romanov sheep for the BMP-15 gene locus, which belongs to the genes of the β -growth factor family. The distribution of genotypes in sheep of the Romanov breed in the conditions of Western Siberia was as follows: for ewes, the frequencies of genotypes WW–25%, WM–75, and MM–0%; for sheep – 0, 80 and 20%, respectively. All three genotypes (WW, WM, and MM) were identified in the studied sheep. The results differ from the data obtained in several other works on foreign sheep breeds (short-tailed sheep Khan, Awassi, Barki, Ossimi, Rahmani, etc.). It is interesting to study the BMP-15 locus further to establish its associations with biochemical and haematological parameters and the hormonal status of sheep.

За последние два десятилетия во всем мире были предприняты огромные усилия, чтобы выяснить основные гены, участвующие в плодовитости овец. Три гена плодовитости (общее название – Fec), а именно: BMP-15 (костный морфогенетический белок 15), называемый FecX; GDF-9 (фактор роста и дифференцировки 9), известный как FecG; BMPR-1B (рецептор костного морфогенетического белка типа 1B), также известный как FecB, играют важную роль в фолликулогенезе овец [1, 2]. Интересно, что все эти гены плодовитости принадлежат к одному и тому же надсемейству TGF- β – суперсемейству трансформирующих факторов роста.

Костный морфогенетический белок 15 представляет собой секретируемый ооцитами пептид, который модулирует фолликулогенез, здоровье ооцитов и исход овуляции у людей. У овец ген BMP-15 имеет два экзона (E1 и E2). Этот ген кодирует пребелок длиной 393 аминокислоты и зрелый белок BMP-15, содержащий 125 аминокислот [3]. Белок, кодируемый геном BMP-15, экспрессируется только в ооцитах развивающихся фолликулов, поэтому играет ключевую роль в фертильности млекопитающих. В настоящее время у разных пород овец идентифицировано большое разнообразие мутаций BMP-15. Овцы, гетерозиготные по некоторым мутациям BMP-15, полностью бесплодны из-за отсутствия первичных фолликулов в яичниках, в то время как у гомозигот по данным мутациям отмечена более высокая скорость овуляции [4]. Во многих исследованиях по всему миру (Пакистан, Китай, Египет, Россия) уже сообщалось о мутациях BMP-15 у различных пород овец [5–7], но ни в одном из исследований не показано влияние BMP-15 у овец на показатели мясной продуктивности. Принимая во внимание роль семейства белков BMP не только в фертильности, но и в регуляции и дифференцировке различных тканей, стоит исследовать влияние BMP-15 у овец на различные биохимические и гематологические показатели, а также гормональный статус. Идентификация таких связей BMP-15 важна для получения высокопроизводительных овец, коз и т.д. Поэтому представляет большой интерес изучение гена плодовитости BMP-15 в романовской породе для повышения социально-экономического статуса и знаний о данных овцах.

Романовская порода известна как одна из самых плодовитых пород наряду с породой бурула [8, 9]. Скрещивание чистокровных романовских овец с местными домашними овцами практикуется в некоторых странах для увеличения плодовитости [10–12]. Причинами

выбора романовской породы в качестве источника повышения репродуктивной эффективности путем скрещивания являются высокая адаптивность, пригодность для выращивания в интенсивных или экстенсивных условиях и более высокая выживаемость помесных ягнят, что является чертой, отсутствующей у многих плодовитых пород. Романовская порода домашних овец выращивается преимущественно на мясо [13, 14].

Целью данной работы было изучение полиморфизма по локусу BMP-15 у баранов и овцематок романовской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлись 30 овец романовской породы (10 овцематок, 20 баранов) Кемеровской области. Овцематки были в возрасте 1,5 года, бараны – 12 месяцев. Для проведения молекулярно-генетических исследований были взяты образцы крови из яремной вены. Кровь отбирали в стерильные вакуумные пробирки с добавлением ЭДТА.

Выделение ДНК проводили с использованием готового коммерческого набора для выделения ДНК из крови, клеток, тканей на колонках DU-250 (Биолабмикс, Россия). Праймеры для амплификации, эндонуклеазы рестрикции и условия проведения реакций (табл. 1) подбирали на основании литературных данных [3]. Время обработки эндонуклеазой рестрикции увеличили с рекомендованных авторами 4 ч до 5–6 ч (рис. 1). Детекцию результатов проводили с помощью 3%-го агарозного геля.

Все образцы были проверены с помощью прибора NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, США) на количество и качество выделенной ДНК. Значения всех образцов находились в оптимальных значениях (соотношение оптической плотности $A_{260/280}$ в пределах 1,8–2,0).

Было определено также содержание тяжелых металлов в почве, воде, органах и тканях для романовских овец в условиях Западной Сибири. Данные показатели не превышали значения ПДК [15, 16].

Для локуса BMP-15 были рассчитаны частоты аллелей и генотипов, а также установлено генетическое равновесие по закону Харди-Вайнберга. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью таких методов описательной статистики, как средняя арифметическая с ошибкой, медиана, первый и третий квартили, межквартильный размах.

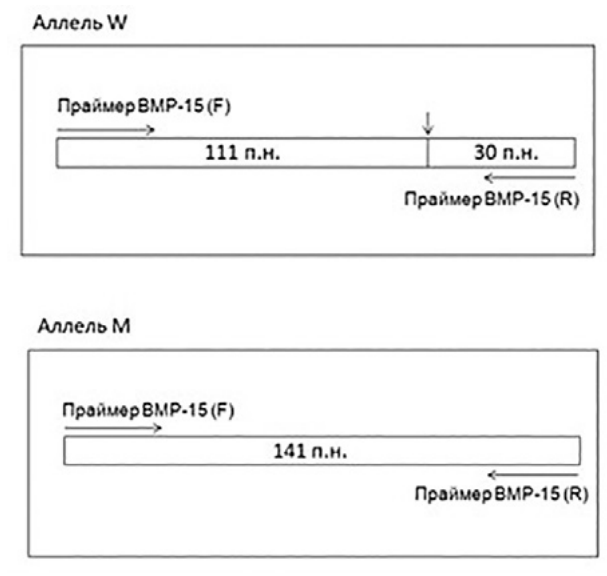


Рис.1. Схема рестрикционного анализа эндонуклеазой рестрикции HinfI фрагмента гена BMP-15
Fig.1. Scheme of restriction analysis of the HinfI restriction endonuclease of the BMP-15 gene fragment

Таблица 1

Условия проведения молекулярно-генетических исследований по BMP-15
Conditions for conducting molecular genetic studies on BMP-15

Условия проведения	Примечание
<i>Амплификация</i>	
Праймеры: F: 5'-CACTGTCTTCTTGTTACTGTATTTCAATGAGAC-3' R: 5'-GATGCAATACTGCCTGCTTG-3' 10 ^x мастер-микс для ПЦР	Длина фрагмента амплификации – 141 п.н.
<i>Обработка эндонуклеазой рестрикции</i>	
Эндонуклеаза – HinfI Время проведения реакции – 5 ч при 37°C.	
<i>Детекция результатов</i>	
Визуализация обработанных эндонуклеазой рестрикции фрагментов ДНК в 3%-м агарозном геле	Длина фрагментов – 141, 111 и 30 п.н.

Все расчеты проводились с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и RStudio версии 1.2.5033.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Генотипирование проводили с помощью ПЦР-ПДРФ, поскольку это быстрый, точный и простой метод для обнаружения полиморфизмов. В настоящем исследовании этот метод был использован для обнаружения генетического полиморфизма в локусе BMP-15 в соответствии с работой М.Х. Chu et al. [3]. Наши результаты были аналогичны результатам М.Х.

Chu, которые идентифицировали генетический полиморфизм в гене BMP-15 у короткохвостых овец хан [3].

Три генотипа – WW (111 п.н./111 п.н.), WM (141 п.н./111 п.н.) и MM (141 п.н./141 п.н.) были выявлены в популяции романовских овец в условиях Западной Сибири (рис. 2). Полиморфизм в локусе BMP-15 представляет собой изменение одного нуклеотида С/Т в положении 718 (CAG→TAG). Эта мутация вводит преждевременный стоп-кодон вместо глутаминовой кислоты в положении 239-го аминокислотного остатка, что, предположительно, приводит к полной потере функции BMP-15. Результаты показали, что романовские овцы

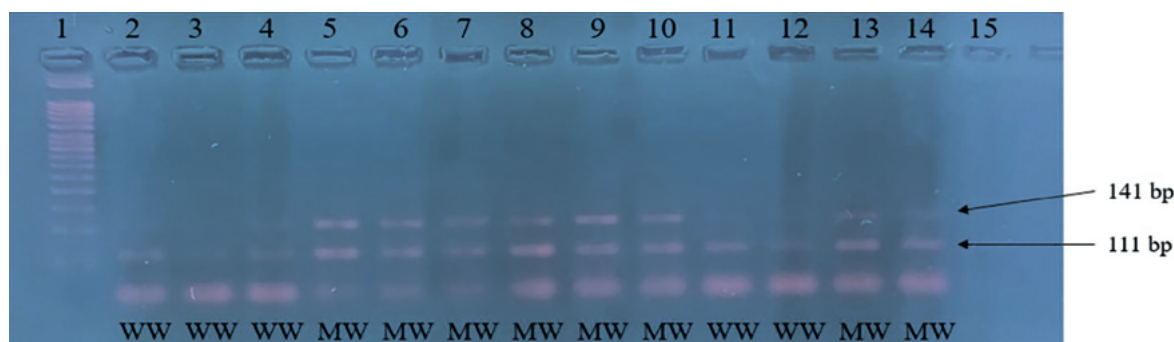


Рис.2. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена BMP-15:
1 – маркер длин фрагментов ДНК; 2–14 – исследуемые образцы; 15 – холостая проба для проверки на отсутствие контаминации

Fig.2. Electrophoretic separation of BMP-15 gene restriction fragments:
1 – DNA fragment length marker; 2–14 - test samples; 15 - blank sample to check for the absence of contamination

несут тот же полиморфизм в гене BMP-15, что и овцы белклер и кембридж, короткохвостые овцы хан, авасси и др. [3, 5, 17].

Аллельные и генотипические частоты локуса BMP-15 в общей выборке овец романовской породы представлены в табл. 2. Для овцематок частоты генотипов WW, WM и MM составили 0,25; 0,75 и 0 соответственно, для

баранов – 0; 0,8 и 0,2. При разделении овец по полу отмечается разница в распределении генотипов – у овцематок не наблюдалось особей с генотипом MM, у баранов – WW. Таким образом, имелаась разница и в распределении частот аллелей. У овцематок частота аллеля W – 0,625, M – 0,375, у баранов – 0,4 и 0,6 соответственно.

Таблица 2

Распределение частот аллелей и генотипов по BMP-15
Distribution of allele and genotype frequencies according to BMP-15

Значение	Частоты генотипов			Частоты аллелей	
	WW	WM	MM	W	M
Наблюдаемое	0,1250	0,7750	0,1000	0,5124	0,4875
Ожидаемое	0,2626	0,4997	0,2377		
χ^2 набл.	0,3090				
χ^2 ожид.	3,8410				
H_o	0,7750				
H_e	0,4997				

Примечание. χ^2 – критерий хи-квадрат ($\alpha = 0,05$); H_o (observed) – наблюдаемая гетерозиготность; H_e (expected) – ожидаемая гетерозиготность.

Note. χ^2 – chi-square test ($\alpha = 0.05$); But (observed) - observed heterozygosity; Not (expected) - expected heterozygosity.

Критерий χ^2 наблюдаемый для общей выборки был меньше χ^2 ожидаемого ($\chi^2_{набл} < \chi^2_{ожид}$, $\alpha = 0,05$). Следовательно, эмпирические и теоретические частоты значимо не различаются, отклонения от распределения по закону Харди-Вайнберга не отмечается. Наблюдаемая гетерозиготность (H_o) составила 0,7750, что свидетельствует о том, что оба аллеля встречаются в популяции приблизительно с равной частотой.

Также $H_o > H_e$, следовательно, в данной популяции случайные скрещивания преобладают над инбридингом.

I.A.N. Barakat et al. [7] в 2017 г. при изучении локуса BMP-15 у овец пород барки, осси и рахмани также выявили данный полиморфизм. Однако в их выборках овец не было животных с генотипом WW (табл. 3).

Таблица 3

Данные по локусу BMP-15 у различных пород овец
Data on the BMP-15 locus in various breeds of sheep

Порода	Число голов	Частоты аллелей		Частоты генотипов			Источник
		W	M	WW	WM	MM	
Короткохвостые хан	188	0,700	0,300	0,400	0,600	0,000	[3]
Черные овцы целе	205	0,898	0,102	0,795	0,205	0,000	[5]
Авасси	138	0,810	0,190	0,620	0,380	0,000	[6]
Барки	56	0,660	0,340	0,320	0,680	0,000	[7]
Оссими	36	0,640	0,360	0,280	0,720	0,000	
Рахмани	40	0,620	0,380	0,240	0,760	0,000	

Схожие результаты получены М.А. Ali et al. [6] в 2021 г. при исследовании данного полиморфизма у овец авасси (популяция овец Ирака). Данные по распределению частот аллелей, генотипов и гетерозиготность – отличны от наших. Наблюдалась более высокая частота генотипа WW по сравнению с WM (генотип MM отсутствовал). В обоих исследованиях не обнаружен один из генотипов (WW или MM), что не совпадает с нашими результатами по выборке романовских овец (присутствуют все три генотипа). Кроме того, в данном исследовании аллели W и M распределены равномерно (0,5124 и 0,4875), в то время как у I.A.H. Barakat [7] и М.А. Ali [6] замечено значительное преобладание одного аллеля над другим. Это можно объяснить отсутствием животных с генотипами WW и MM в популяциях овец авасси, барки, оссими и рахмани.

На сегодняшний день у разных пород овец идентифицировано большое разнообразие мутаций BMP-15. Среди них FecXH и FecXI у пород ромни и инвердейл, FecXB и FecXG у кембридж и белклер, FecXL у лакон, FecXR у арагонской овцы и FecXBar у барбарин. Фенотипически при данных мутациях гетерозиготные овцы демонстрируют повышенную плодовитость, в то время как у некоторых пород овец гомозиготные овцы являются бесплодными (романовские овцы к ним не относятся). Так, гомозиготные носители FecXO и FecXGr у овец олкуска и гивени гиперпродуктивны. В. Tong et al. [2] в своем исследовании показали, что вышеуказанные мутации BMP-15 отсутствовали в популяциях монгольских овец. Кроме того, мутация с.755 T>C (L252P) гена BMP-15 была впервые идентифицирована в иранских популяциях овец, включающих в себя породы шал, афшари и лори бахтиари [4], а затем связана с размером помета у пород овец афшари, гезель, шал [5].

Эти мутации в BMP-15, влияющие на скорость овуляции и размер помета, были описаны во многих популяциях овец во всем мире и демонстрируют высокую породную специфичность. Однако они могут присутствовать в еще не охарактеризованных популяциях, а также возможно открытие новых, еще не описанных мутаций в BMP-15.

Обнаруженные в исследовании I.A.H. Barakat et al. [7] мутации в гене BMP-15 FecXG и FecXB не влияли на размер приплода (генотип GG) у овец барки, оссими и рахмани. О таких же результатах сообщают F. Moradband et al. [18] у белуджийских овец, G.H. Davis et al. [19] у восточно-фризской, голубомордой лейстер, романовской, немецкой белоголовой, барбадосской чернобрюхой, тисуотерской, финской, хиосской, лейнской и галисийской пород овец и F. Guan et al. [20] у овец шароле, ромни, суффолк, китайский меринос и дорсет. Во всех этих породах мутантный аллель FecB не выделялся. Кроме того, анализ генетического полиморфизма показал отсутствие связи между частотой появления двойняшек и мутантными аллелями в локусах гена BMP-15 FecXG и FecXB у овец белуджской породы. В соответствии с этими выводами, плодовитость овец оссими, рахмани и барки не связана с мутациями локусов BMP-15 FecXG и FecXB. Следует попытаться изучить другие SNP для этих локусов в гене BMP-15, которые могут быть ответственны за плодовитость у различных пород овец.

По данным локусам в BMP-15 не рассматривалось их влияние на показатели молочной и мясной продуктивности, биохимические и гематологические показатели и др. В предыдущих работах мы установили ассоциацию генотипов по локусу β -лактоглобулина с содержанием альбумина [21] и уровнем лейкоцитов [22] в крови романовских овец.

Таким образом, были установлены аллели и генотипы по локусу BMP-15 у овец романовской породы. Семейство костных морфогенетических белков (BMPs), к которому относится данный ген, является одним из основных факторов, отвечающих за формирование тканей в организме [11]. Поэтому представляет интерес дальнейшее изучение полиморфизмов как гена BMP-15, так и семейства BMPs в целом.

ВЫВОДЫ

1. Выявлен полиморфизм в локусе гена BMP-15 у овец романовской породы в условиях

Западной Сибири, что совпадает с результатами М.Х. Чу, полученными для китайской короткохвостой породы овец хан.

2. Рассчитаны частоты аллелей и генотипов по локусу BMP-15. Частоты аллелей составили: W – 0,5124, M – 0,4875, генотипов: WW – 0,125, WM – 0,775 и MM – 0,1.

3. Данные по частотам аллелей и генотипов в популяции овец романовской породы отличаются от результатов, полученных рядом авторов для пород авасси, барки, оссими и рахмани, короткохвостых овец хан. Только в нашем исследовании были идентифицированы все три генотипа – WW, WM и MM.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Santos-Silva J., Portugal A.V. The effect of weight on carcass and meat quality of Serra de Estrela and Merino Branco lambs fattened with dehydrated lucern // *Animal Research*. – 2001. – N 50. – P. 289–298.
2. Novel variants in GDF9 gene affect promoter activity and litter size in Mongolia sheep / B. Tong, J.P. Wang, Z.X. Cheng [et al.] // *Genes*. – 2020. – N 11 (4). – P. 375.
3. Mutations in BMPR-IB and BMP-15 genes are associated with litter size in Small Tailed Han sheep (*Ovis aries*) / M.X. Chu, Z.H. Liu, Y.Q. He [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2007. – № 85. – P. 598–603.
4. The novel T755C mutation in BMP15 is associated with the litter size of Iranian Afshari, Ghezel, and Shal breeds / H.R. Amini, A. Ajaki, M. Farahi [et al.] // *Arch Anim Breed.* – 2018. – N 61 (1). – P. 153–160.
5. The identification of mutation in BMP15 gene associated with litter size in Xinjiang Cele black sheep / Z.G. Niu, J. Qin, Y. Jiang [et al.] // *Animals*. – 2021. – N 11 (3) – P. 668.
6. Ali M.A., Kadhim A.H., Al-Thuwaini T.M. Genetic variants of the bone morphogenetic protein gene and its association with estrogen and progesterone levels with litter size in Awassi ewes // *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*. – 2022. – Vol. 36. – N 4. – P. 1017–1022. – DOI:10.33899/ijvs.2022.132903.2143.
7. Genetic polymorphism of candidate genes for fecundity traits in Egyptian sheep breeds / I.A.H. Barakat, L.M. Salem, N.M. Daoud [et al.] // *Biomedical Research*. – 2017. – Vol. 28, N 2. – P. 851–857.
8. Influence of season, rainfall and air temperature on the reproductive efficiency in Romanov sheep in Croatia / D. Duricic, M. Benic, I.Z. Zaja [et al.] // *International Journal of Biometeorology*. – 2019. – Vol. 63. – P. 817–824.
9. The Romanov breed of sheep in Siberia / O.I. Sebezshko, E.V. Kamaldinov, Y.I. Fedyaev [et al.] // *Proceeding The 2nd World Conference on Sheep*. – 2018. – P. 11–12.
10. Содержание и изменчивость тестостерона у взрослых и молодых баранов романовской породы / Е.И. Тарасенко, Т.В. Коновалова, О. С. Короткевич [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 4 (65). – С. 213–224. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-213-224.
11. Климанова Е.А. Влияние полиморфизмов генов BMP-15 и BMPR-IB на скорость овуляции у овец // *Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. IV Всерос. (нац.) науч. конф., Новосибирск, 20 дек. 2019 г. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. – С. 81–84.*
12. Климанова Е.А., Коновалова Т.В., Андреева В.А. Генотипы β -лактоглобулина и количество эритроцитов крови у овец романовской породы // *Пища. Экология. Качество: тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 18–19 нояб. 2020 г. – Екатеринбург: Урал. гос. экон. ун-т, 2020. – С. 290–292.*

13. Ерохин А.И., Карасев Е.А. Романовская порода овец. – М.: МГУП, 2001. – 119 с.
14. Климанова Е.А. Влияние полиморфизма β -лактоглобулина на молочную продуктивность овец // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосиб. ГАУ, Новосибирск, 21–22 окт. 2020 г. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – Вып. 5. – С. 14–15.
15. Проблемы селекции сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1997. – 283 с.
16. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья / А.И. Сысо, М.А. Лебедева, С.А. Худяев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 3 (44). – С. 54–61.
17. Genetic polymorphisms of fecundity genes in Watish Sudanese desert sheep / S.E.I. Mohamed, R.M. Ahmed, K.I.Z. Jawasreh [et al.] // Veterinary World. – 2019. – N 13 (4). – P. 614–621. – DOI:10.14202/vetworld.2020.614-621.
18. Moradband F., Rahimi G., Gholi M. Association of polymorphisms in fecundity genes of GDF9, BMP15 and BMP15-1B with litter size in Iranian Baluchi sheep // Asian-Australasian J Anim Sci. – 2011. – N 24. – P. 1179–1183.
19. Investigation of the Booroola (FecB) and Inverdale (FecXI) mutations in 21 prolific breeds and strains of sheep sampled in 13 countries / G.H. Davis, L. Balakrishnan, I.K. Ross [et al.] // Anim Reprod Sci. – 2006. – № 92. – P. 87–96.
20. Polymorphism of FecB gene in nine sheep breeds or strains and its effects on litter size, lamb growth and development / F. Guan, L. Shou-ren, G.Q. Shi [et al.] // Anim Reprod Sci. – 2007. – N 99. – P. 44–52.
21. Ассоциация генотипов β -лактоглобулина с некоторыми биохимическими показателями крови овец романовской породы / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, В.А. Андреева [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – N 4 (57). – С. 82–87.
22. Ассоциация генотипов β -лактоглобулина у овец романовской породы с гематологическими показателями крови / Е.А. Климанова, З.Т. Поповский, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – N 4 (61). – С. 126–136. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136.

REFERENCES

1. Santos-Silva J., Portugal A.V., The effect of weight on carcass and meat quality of Serra de Estrela and Merino Branco lambs fattened with dehydrated lucern, *Animal Research*, 2001, No. 50, pp. 289–298.
2. Tong B., Wang J.P., Cheng Z.X., Liu J., Wu Y., Li Y., Bai C., Zhao S., Yu H., Li G., Novel variants in GDF9 gene affect promoter activity and litter size in Mongolia sheep, *Genes*, 2020, No. 11 (4), pp. 375.
3. Chu M.X., Liu Z.H., He Y.Q., Fang L., Ye S.C., Chen G.H., Wang J.Y., Mutations in BMPR-IB and BMP-15 genes are associated with litter size in Small Tailed Han sheep (*Ovis aries*), *J. Anim. Sci.*, 2007, No. 85, pp. 598–603.
4. Amini H.R., Ajaki A., Farahi M., Heidari M., Pirali A., Forouzanfar M., Eghbalsaied S., The novel T755C mutation in BMP15 is associated with the litter size of Iranian Afshari, Ghezel, and Shal breeds, *Arch Anim Breed*, 2018, No. 61 (1), pp. 153–160.
5. Niu Z.G., Qin J., Jiang Y., Ding X.D., Ding Y.G., Tang S., Shi H., The identification of mutation in BMP15 gene associated with litter size in Xinjiang Cele black sheep, *Animals*, 2021, No. 11 (3), pp. 668.
6. Ali M.A., Kadhim A.H., Al-Thuwaini T.M., Genetic variants of the bone morphogenetic protein gene and its association with estrogen and progesterone levels with litter size in Awassi ewes, *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 2022, Vol. 36, No. 4, pp. 1017–1022, DOI:10.33899/ijvs.2022.132903.2143.

7. Barakat I.A.H., Salem L.M., Daoud N.M., Khalil W.K.B., Mahrous K.F., Genetic polymorphism of candidate genes for fecundity traits in Egyptian sheep breeds, *Biomedical Research*, 2017, Vol. 28, No. 2, pp. 851–857.
8. Duricic D., Benic M., Zaja I.Z., Valpotic H., Samardziya M., Influence of season, rainfall and air temperature on the reproductive efficiency in Romanov sheep in Croatia, *International Journal of Biometeorology*, 2019, Vol. 63, pp. 817–824.
9. Sebezhko O.I., Kamaldinov E.V., Fedyaev Y.I., Shishin N.I., Li W., Liu M., Saurbaeva R.T., Andreeva V.A., Guseva A.P., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Narozhnykh K.N., Osadchuk L.V., The Romanov breed of sheep in Siberia, *Proceeding The 2nd World Conference on Sheep*, 2018, pp. 11–12.
10. Tarasenko E.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Klimanova E.A., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., Zheltikov A.I., Kochneva M.L., Marenkov V.G., Kochnev N.N., Plakhova A.A., Osintseva L.A., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 4 (65), pp. 213–224, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-213-224. (In Russ)
11. Klimanova E.A., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razvitii sel'skikh territorii* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), Proceedings of the Conference, Novosibirsk: ITs NGAU «Zolotoi kolos», 2019, pp. 81–84. (In Russ)
12. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Andreeva V.A., *Pishcha. Ekologiya. Kachestvo* (Food. Ecology. Quality), Proceedings of the Conference, Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi ekonomicheskii universitet, 2020, pp. 290–292. (In Russ)
13. Erokhin A.I., Karasev E.A., *Romanovskaya poroda ovets* (Romanov sheep breed), Moscow: MGUP, 2001, 119 p.
14. Klimanova E.A., *Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa* (Actual problems of the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference, Novosibirsk: Zolotoi kolos, 2020, pp. 14–15. (In Russ)
15. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I., Kulikova S.G., Korotkevich O.S., Dement'ev V.N., Kochnev N.N., Marenkov V.G., Kochneva M.L., Nezavitin A.G., Smirnov P.N., Kondratov A.F., Zheltikov A.I., Bekenev V.A., Nozdrin G.A., *Problemy seleksii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
16. Syso A.I., Lebedeva M.A., Khudyaev S.A., Cherevko A.S., Shishin A.I., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Slobozhanin D.M., *Vestnik NGAU*, 2017, No. 3 (44), pp. 54–61. (In Russ)
17. Mohamed S.E.I., Ahmed R.M., Jawasreh K.I.Z., Salih M.A.M., Abdelhalim D.M., Abdelgadir A.W., Obeidat M.T., Musa L.M.A., Ahmed M.K., Genetic polymorphisms of fecundity genes in Watish Sudanese desert sheep, *Veterinary World*, 2019, No. 13 (4), pp. 614–621, DOI:10.14202/vetworld.2020.614-621.
18. Moradband F., Rahimi G., Gholi M., Association of polymorphisms in fecundity genes of GDF9, BMP15 and BMP15-1B with litter size in Iranian Baluchi sheep, *Asian-Australasian J Anim Sci.*, 2011, No. 24, pp. 1179–1183.
19. Davis G.H., Balakrishnan L., Ross I.K., Wilson T., Galloway S.M., Lumsden B.M., Hanrahan J.P., Mullen M., Mao X.Z., Wang G.L., Zhao Z.S., Zeng Y.Q., Robinson J.J., Mavrogenis A.P., Papachristoforou C., Peter C., Baumung R., Cardyn P., Boujenane I., Cockett N.E., Eythorsdottir E., Arranz J.J., Notter D.R., Investigation of the Booroola (FecB) and Inverdale (FecXI) mutations in 21 prolific breeds and strains of sheep sampled in 13 countries, *Anim Reprod Sci.*, 2006, No. 92, pp. 87–96.
20. Guan F., Shou-ren L., Shi G.Q., Yang L.G., Polymorphism of FecB gene in nine sheep breeds or strains and its effects on litter size, lamb growth and development, *Anim Reprod Sci.*, 2007, No. 99, pp. 44–52.
21. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Andreeva V.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Nazarenko Yu.S., *Vestnik NGAU*, 2020, No. 4 (57), pp. 82–87. (In Russ.)
22. Klimanova E.A., Popovski Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezhko O.I., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 4 (61), pp. 126–136, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136. (In Russ.)

ДИНАМИКА ИММУННОГО ОТВЕТА У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ НА ВВЕДЕНИЕ ПРОТЕКТИВНОГО БЕЛКА ВОЗБУДИТЕЛЯ РЕСПИРАТОРНО-СИНЦИТИАЛЬНОЙ ИНФЕКЦИИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

К.В. Колесникович, аспирант

П.П. Красочко, доктор биологических наук, доцент

Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины, Витебск, Республика Беларусь

E-mail: 5875775@bk.ru

Ключевые слова: респираторно-синцициальная инфекция, белок, вирус, антитела, протективный.

Реферат. Приведены результаты оценки иммунного ответа морских свинок на применение протективного белка вируса респираторно-синцициальной инфекции крупного рогатого скота (РСИ КРС), полученного с помощью рекомбинантной *E. coli* BRSV-F1. Исследования проводились в отраслевой лаборатории ветеринарной биотехнологии и заразных болезней животных Витебской ордена «Знак Почёта» государственной академии ветеринарной медицины. Исследован средний титр специфических антител морских свинок на применение протективного белка вируса РСИ КРС у 9 подопытных групп и 1 контрольной. Отбор проб крови осуществляли в начале опыта, перед второй иммунизацией и спустя 14 суток после повторной иммунизации. Средний титр специфических антител на применение протективного белка вируса РСИ КРС определяли с помощью реакции непрямой гемагглютинации с эритроцитарным диагностикумом, содержащим респираторно-синцициальный вирус крупного рогатого скота (РСВ КРС). При введении образцов прототипа вакцины, содержащих ген, кодирующий продукцию белка вируса РСИ КРС: 1-й группе – цельных бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG; 2-й – цельных бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьюванта ИЗА-15; 3-й – лизата бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG; 4-й – лизата бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьюванта ИЗА-15; 5-й – протективного белка F1 + 15% адьюванта ИЗА-15; 6-й – протективного белка F1 + 2% целлюлозы, 7-й – инактивированного РСВ КРС (ОАО «Белвитунифарм») + 15% адьюванта ИЗА-15; 8-й – вакцины Hiprabovis 4 (HIPRA, Испания) и 9-й – вакцины Bovi-shield Gold FP 5 L5 (Zoetis, США) – у подопытных групп отмечено увеличение титра антител в парных сыворотках крови по сравнению с контрольной группой. Из полученных данных сделан вывод, что исследуемые образцы прототипа вакцины, содержащие ген, кодирующий продукцию белка РСВ КРС, не уступают по иммуногенной активности вакцинам Bovi-shield Gold FP 5 L5 и Hiprabovis 4. Следовательно, протективный белок вируса РСИ КРС может быть включен в состав вакцин против данной патологии с целью замены культурального вируса.

DYNAMICS OF THE IMMUNE RESPONSE IN LABORATORY ANIMALS TO THE INTRODUCTION OF A PROTECTIVE PROTEIN OF THE CAUSE OF RESPIRATORY SYNCYTIAL INFECTION IN CATTLE

K.V. Kolesnikovich, PhD student

P.P. Krasochko, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: 5875775@bk.ru

Keywords: respiratory syncytial infection, protein, virus, antibodies, protective.

Abstract. The authors in the article presented the results of assessing the immune response of guinea pigs using the protective protein of the bovine respiratory syncytial infection virus (RSI), obtained using recombinant *E. coli* BRSV-F1. The research was carried out in the branch laboratory of veterinary biotechnology and infectious animal diseases of the Vitebsk Order of the Badge of Honor of the State Academy of Veterinary Medicine. The average titer of specific antibodies of guinea pigs to the use of the protective protein of the bovine RSI virus was studied in 9 experimental groups and one control group. Blood sampling was carried out at the beginning of the experiment, before the second immunisation and 14 days after the second immunisation. The average titer of specific antibodies to the use of the protective protein of the bovine RSI virus was determined using an indirect hemagglutination reaction with an erythrocyte diagnosticum containing the bovine respiratory syncytial virus

(RSV). With the introduction of samples of the prototype vaccine containing the gene encoding the production of the bovine RSV virus protein: group 1 - whole bacteria *E. coli* BRSV-F1 with an inducer of protein synthesis IPTG; 2nd, whole bacteria *E. coli* BRSV-F1 with protein synthesis inducer IPTG + 15% adjuvant IZA-15; 3rd, bacterial lysate *E. coli* BRSV-F1 with an inducer of protein synthesis IPTG; 4th – *E. coli* bacterial lysate BRSV-F1 with protein synthesis inducer IPTG + 15% adjuvant IZA-15; 5th - protective protein F1 + 15% adjuvant IZA-15; 6th - protective protein F1 + 2% cellulose, 7th - inactivated bovine RSV (JSC «Belvitunipharm») + 15% adjuvant IZA-15; 8th - Hiprabovis 4 vaccines (HIPRA, Spain) and 9th - Bovi-shield Gold FP 5 L5 vaccines (Zoetis, USA) - in the experimental groups, an increase in antibody titer in paired blood sera was noted compared to the control group. From the data obtained, it was concluded that the studied samples of the vaccine prototype containing the gene encoding the production of the bovine RSV protein are not inferior in immunogenic activity to the vaccines Bovi-shield Gold FP 5 L5 and Hiprabovis 4. Therefore, the protective protein of the bovine RSV virus can be included in the composition of vaccines against this pathology to replace the cultural virus.

Вирусные респираторные инфекции телят в условиях промышленных животноводческих предприятий Республики Беларусь имеют широкое распространение и наносят большой экономический ущерб животноводству [1, 2].

В этиологической структуре вирусных респираторных инфекций наиболее часто основную роль играют вирусы инфекционного ринотрахеита (ИРТ), вирусной диареи (ВД), парагриппа-3 (ПГ-3), респираторно-синцитиальной инфекции (РСИ) [3–5].

Одним из эффективных способов в борьбе с факторными болезнями молодняка крупного рогатого скота является специфическая профилактика [6, 7]. Немаловажным этапом при изготовлении вакцин является процесс накопления вирусов [8]. Однако не все вирусы способны накапливаться в высоких титрах в культуре клеток. Так, если вирусы ИРТ, ВД и ротавирусы могут накапливаться до титра 7,5-8,5 lg ТЦД 50/мл, что достаточно для изготовления вакцин, то репродукция таких вирусов, как вирус ПГ-3, РСИ и коронавирус, не всегда высокая, и после культивирования их титр часто не достигает и 4,5 lg ТЦД 50/мл, что требует концентрирования вирусосодержащего материала для получения высокоактивной вакцины [9, 10]. В связи с этим для повышения накопления антигенов актуальным является использование генно-инженерных технологий [11]. Их применяют для получения как рекомбинантных антигенов, так и рекомбинантных вакцин. Генно-инженерные (рекомбинантные) вакцины получают путем введения генов, кодирующих основные антигены патогенов вирусов, в геном микроорганизмов-реципиентов. Такие вакцины являются безопасными для введения, инфекционные агенты не реплицируются в организме животных, просты в производстве, экономичны и не имеют вредного воздействия из-за нежелательных антигенных материалов [12, 13, 14].

Целью исследований явилась оценка иммунного ответа морских свинок на применение протективного белка вируса РСИ КРС.

Использование протективного белка вируса РСИ КРС, полученного с помощью рекомбинантной *E. coli* BRSV-F1, позволит:

- частично заменить в ассоциированных противовирусных вакцинах монокомпонент культурального РСВ протективным белком, что снизит себестоимость дозы ассоциированных вакцин против вирусных инфекций крупного рогатого скота на 20–25 % за счет удешевления специфического монокомпонента вакцин;

- повысить эффективность действия ассоциированных вакцин, содержащих протективный белок вируса РСИ КРС и используемых против вирусных инфекций, до 96 % за счет повышения иммуногенности вакцин.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Институте микробиологии Национальной академии наук Беларуси был проведен эксперимент по созданию генетической конструкции, включающей в себя ген F1, кодирующий субъединицу фьюжн-белка РСВ КРС, выделенный методом ПЦР и встроенный в вектор pET42a(+) *E. coli*. На основе полученного вектора создан новый штамм – продуцент субъединицы фьюжн-белка, которая содержит на С-конце молекулы октогистидиновый олигопептид, упрощающий очистку до одной стадии. Новый штамм *E. coli* F1 продуцирует субъединицу фьюжн-белка РСВ КРС, которую в дальнейшем можно использовать для изготовления вакцин против респираторной инфекции, вызываемой данным вирусом.

Экспериментальные исследования применения образцов прототипа вакцины, содержащих ген, кодирующий продукцию белка вируса РСИ КРС, проводились в условиях отраслевой лаборатории ветеринарной биотехнологии и заразных болезней животных Витебской орде-

на «Знак Почёта» государственной академии ветеринарной медицины.

Для оценки иммунного ответа морских свинок на применение образцов прототипа вакцины, содержащих ген, кодирующий продукцию белка вируса РСИ КРС, сформировали 10 групп в возрасте 60–90 дней по 5 голов: 1–9-я – подопытные, 10-я – контрольная. Первой группе были введены цельные бактерии *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG (суспензия от белого до соломенно-желтого цвета со специфическим запахом, в дозе 0,5 мл/гол. с концентрацией 1,5 млрд м. т.); 2-й – цельные бактерии *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьювант ИЗА-15 (эмульсия белого цвета, в дозе 0,5 мл/гол. с концентрацией 1,5 млрд м. т.); 3-й – лизат бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG (эмульсия светло-желтого цвета, в дозе 0,5 мл/гол. с концентрацией 1,5 млрд м. т.); 4-й – лизат бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьювант ИЗА-15 (эмульсия белого цвета, в дозе 0,5 мл/гол. с концентрацией 1,5 млрд м. т.); 5-й – протективный белок F1 (прозрачная жидкость, 30 мкг на дозу) + 15% адьюванта ИЗА-15; 6-й – протективный белок F1 (прозрачная жидкость, 30 мкг на дозу) + 2 % целлюлозы; 7-й – инактивированный РСВ КРС (эмульсия розового цвета, производство ОАО «Белвитунифарм») + 15% адьюванта ИЗА-15; 8-й и 9-й – вакцины Hiprabovis 4 (производство Laboratorios Hipra, S.A., Испания) и Bovi-shield Gold FP 5 L5 (производство Zoetis Inc., США) соответственно, содержащих культуральный РСВ (в дозе по 6 мл/гол.).

Наработку биомассы клеток *E.coli* проводили в двухлитровых колбах Эрленмейера с 500 мл жидкой питательной среды. Стерилизацию среды проводили горячим паром под давлением в режиме 0,5 атм в течение 15 мин. После стерилизации в среду вносили канамицин до концентрации 100 мкг/мл. Культивирование бактерий осуществляли при температуре 37 °С и со скоростью вращения шейкера-инкубатора 200 об/мин до оптической плотности бактериальной культуры $A_{600}=0,6$, после чего проводили индукцию синтеза добавлением в среду культивирования изопропил-Р-D-1-тиогалактопиранозид до конечной концентрации 0,5 мМ. После индукции клеток культивирование продолжали в течение 24 ч. По окончании выращивания клетки осаждали центрифугированием при 15000 g в течение 10 мин и дважды отмывали от питательной среды 0,15 М раствором NaCl. Получили клеточную биомассу в количестве 11,3 г сухих клеток. Массу протективного белка вируса РСИ КРС соста-

вила 7 мг. Трансформацию клеток *E. coli* BL21 (DE3) проводили методом электропорации с помощью вектора pET42a(+), несущего последовательность гена субъединицы фьюжн-белка РСВ КРС, полученного стандартными генно-инженерными методами.

Исследуемые образцы вводили в объеме по 0,5 мл внутримышечно в бедренную область два раза с промежутком 14 дней. Отбор проб крови осуществляли в начале опыта, перед второй иммунизацией и спустя 14 дней после повторной иммунизации. Средний титр специфических антител морских свинок на применение протективного белка вируса РСИ КРС определяли с помощью РНГА с эритроцитарным диагностикумом, содержащим РСВ КРС. РНГА ставили в соответствии с учебным пособием «Вирусология. Практикум» под ред. Р.Б. Корочкина [15] и с методическими указаниями по применению набора жидких цветных эритроцитарных диагностикумов. Диагностический титр РС-инфекции у телят в РНГА составляет 1:16. Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

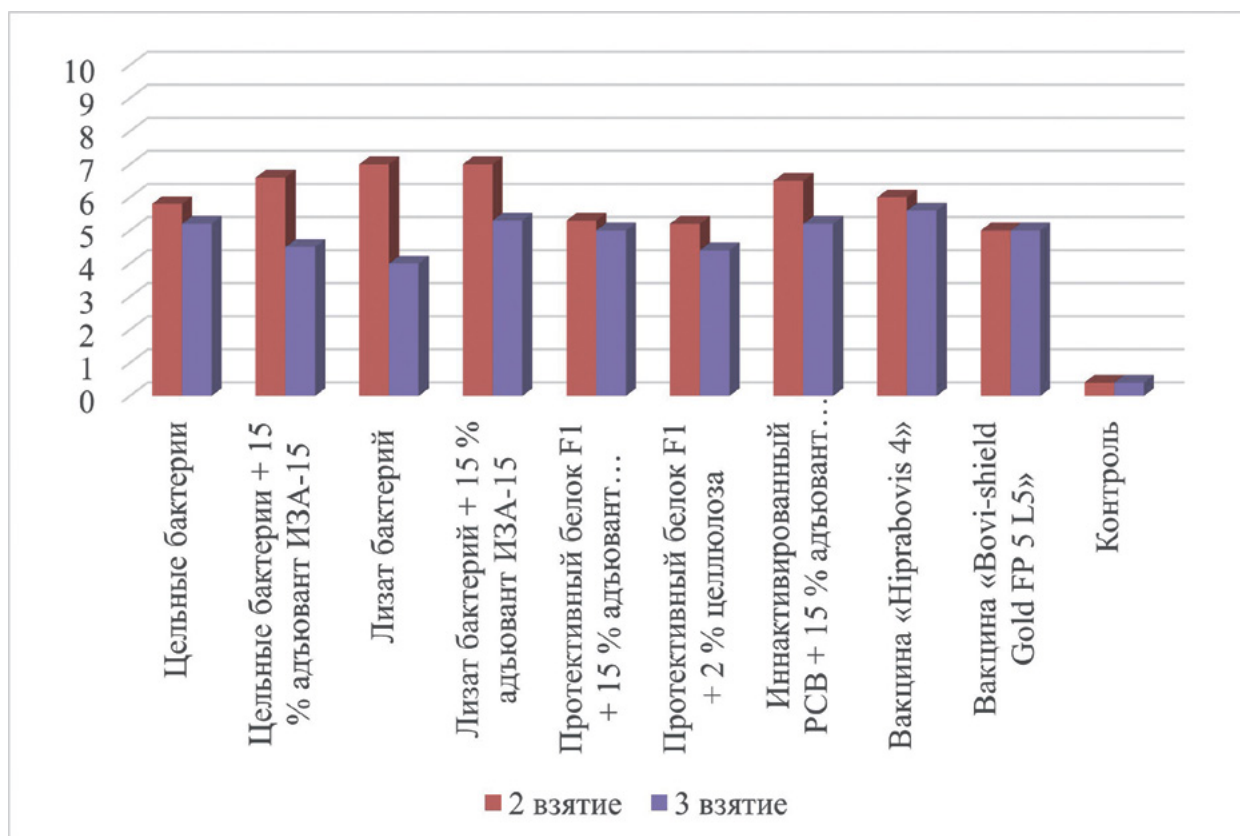
Для повышения профилактической эффективности вакцин и снижения их себестоимости перспективным является конструирование вакцин с использованием протективного белка вируса РСИ КРС.

Результаты оценки иммунного ответа морских свинок на применение протективного белка вируса РСИ КРС отражены на рисунке. Средний титр специфических антител на применение протективного белка вируса РСИ КРС определялся у животных подопытных и контрольной групп. В начале эксперимента титр специфических антител у подопытных групп составил $0,40 \pm 0,24 \log_2$.

Через 14 суток после введения цельных бактерий *E.coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG у морских свинок наблюдалось увеличение титра антител с $0,40 \pm 0,24$ до $5,80 \pm 1,07 \log_2$, а затем снижение до $5,20 \pm 0,58 \log_2$ после второго введения. После введения цельных бактерий *E.coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьюванта ИЗА-15 титр антител увеличился с $0,40 \pm 0,24$ до $6,60 \pm 0,74 \log_2$, а затем снизился до $4,50 \pm 1,50 \log_2$ после второго введения. После введения лизата бактерий *E.coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG титр антител увеличился с $0,40 \pm 0,24$ до $7,00 \pm 0,00 \log_2$, а затем снизился до $4,00 \pm 0,57 \log_2$ после второго введения. После введения лизата бактерий *E.coli* BRSV-F1 с ин-

дуктором синтеза белка IPTG +15% адьюванта ИЗА-15 титр антител увеличился с $0,40 \pm 0,24$ до $7,00 \pm 0,68 \log_2$, а затем снизился до $5,3 \pm 0,80 \log_2$ после второго введения. После введения протективного белка F1 + 15% адьюванта ИЗА-15 титр антител возрос с $0,40 \pm 0,24$ до $5,30 \pm 0,88 \log_2$, а затем снизился до $5,00 \pm 1,00 \log_2$ после второго введения. После введения протективного белка F1 + 2 % целлюлозы титр антител повысился с $0,40 \pm 0,24$ до $5,20 \pm 1,07 \log_2$, а затем снизился до $4,40 \pm 0,81 \log_2$ после второго

введения. После введения инактивированного РСВ КРС + 15% адьюванта ИЗА-15 титр антител увеличился с $0,40 \pm 0,24$ до $6,50 \pm 0,56 \log_2$, а затем снизился до $5,20 \pm 0,60 \log_2$ после второго введения. После использования вакцин Hiprabovis 4 и Bovi-shield Gold FP 5 L5 титр антител увеличился с $0,40 \pm 0,24$ до $6,00 \pm 0,84$ и $5,00 \pm 0,45 \log_2$ соответственно, а затем снизился до $5,60 \pm 0,67$ и $5,00 \pm 0,77 \log_2$ после второго введения.



Средний титр специфических антител морских свинок на применение протективного белка вируса РСВ КРС ($\log_2$)

The average titer of specific antibodies of guinea pigs to the use of the protective protein of the bovine RSV ($\log_2$)

Изучая динамику уровня специфических антител у морских свинок подопытных групп, мы пришли к выводу, что иммунный ответ морских свинок после введения цельных бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG; цельных бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьюванта ИЗА-15; лизата бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG + 15% адьюванта ИЗА-15; лизата бактерий *E. coli* BRSV-F1 с индуктором синтеза белка IPTG и протективного белка F1 + 15% адьюванта ИЗА-15; протективного белка F1 + 2 % целлюлозы находится на уровне, соответствующем при-

менению коммерческих вакцин, содержащих культуральный вирус.

ВЫВОДЫ

1. Исследуемые образцы прототипа вакцины, содержащие ген, кодирующий продукцию белка вируса РСВ КРС, не уступают по иммуногенной активности вакцинам Bovi-shield Gold FP 5 L5 и Hiprabovis 4.

2. Протективный белок вируса РСВ КРС может быть включен в состав вакцин против данной патологии с целью замены культурального вируса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Синица А.Е.* Роль вирусов в возникновении респираторных болезней телят // Студенты – науке и практике АПК: материалы 104-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, г. Витебск, 23 мая 2019 г. / Витеб. гос. акад. вет. медицины. – Витебск: ВГАВМ, 2019. – С. 141–142.
2. *Диагностика*, лечение, профилактика и меры борьбы с респираторными болезнями молодняка крупного рогатого скота инфекционной этиологии: рекомендации / Н. В. Синица [и др.]. – Витебск: ВГАВМ, 2019. – 56 с.
3. *Эпизоотическая* ситуация по инфекционным болезням молодняка крупного рогатого скота в Республике Беларусь / В.В. Максимович [и др.] // Учёные записки Учреждения образования «Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины»: научно-практический журнал. – Витебск, 2013. – Т. 49, вып. 1. – С. 37–41.
4. *Пташок А.Л.* Анализ результатов производственных испытаний инактивированной вакцины против инфекционного ринотрахеита и парагриппа-3 крупного рогатого скота // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины». – 2017. – Т. 53, вып. 3. – С. 74–77.
5. *Влияние* инактивированной вакцины против вирусных респираторных инфекций на морфологические показатели крови у коров и телят / А.В. Притыченко [и др.] // Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов для АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Ивана Васильевича Звягина, октябрь 2020 г. / Всерос. н.-и. и технол. ин-т биол. пром-сти. – Щелково, 2020. – С. 132–137.
6. *Бурова О.А., Блохин А.А.* Системный подход к разработке методов профилактики желудочно-кишечных болезней новорожденных телят // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 2 (57). – С. 46–50.
7. *Ламан А.М., Тумилович Г.А.* Современные аспекты специфической профилактики вирусно-бактериальных пневмоэнтеритов телят крупного рогатого скота // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. науч. ст. по материалам XXI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Гродно, 18 мая 2018 г.). – Гродно: ГГАУ, 2018. – С. 52–56.
8. *Viruses and Virus-Like Particles in Biotechnology: Fundamentals and Applications* / A. Roldão [et al.] // Comprehensive Biotechnology. – 2017. – Vol. 5. – P. 633–656.
9. *Current Animal Models for Understanding the Pathology Caused by the Respiratory Syncytial Virus* / M.J. Altamirano-Lagos, F.E. Díaz, M.A. Mansilla [et al.] // Front. Microbiol. – 2019. – Vol. 10, N 5. – P. 330–332.
10. *McGill J.L.* The Immunology of Bovine Respiratory Disease: Recent Advancements // Vet. Clin. North Am Food Anim. Pract. – 2020. – Vol. 36, N 2. – P. 333–348.
11. *Ciftci K.* Applications of genetic engineering in veterinary medicine // Advanced drug delivery reviews. – 2000. – Vol. 43. – P. 57–64.
12. *Макаревич Е.В.* Промышленная микробиология и основы биотехнологии: учеб. пособие для студентов вузов. – Мурманск: МГТУ, 2009. – 303 с.
13. *Jorge S.* The development of veterinary vaccines: a review of traditional methods and modern biotechnology approaches // Biotechnol. Res. Innov. – 2017. – Vol. 1. – P. 6–13.
14. *Van Kampen K.R.* Recombinant vaccine technology in veterinary medicine // Vet. Clin. North Am Small Anim. Pract. – 2001. – Vol. 31, N 3. – P. 5–8.
15. *Вирусология.* Практикум: учеб. пособие / Р.Б. Корочкин [и др.]; под ред. Р.Б. Корочкина. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 256 с.

REFERENCES

1. Sinitsa N.V., *Studenty – nauke i praktike APK* (Students – science and practice of agriculture), [Materials of the 104th International Scientific and Practical Conference, Vitebsk: VGAVM, 2019, pp. 141–142. (In Russ.)]

2. Sinita N.V. et al., *Diagnostika, lechenie, profilaktika i mery bor'by s respiratornymi boleznyami molodnyaka krupnogo rogatogo skota infektsionnoy etiologii* (Diagnostics, treatment, prevention and measures to combat respiratory diseases of young cattle of infectious etiology), Vitebsk: VGAVM, 2019, 56 p.
3. Maksimovich V.V. et al., *Uchenye zapiski Uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny»*, Vitebsk, 2013, Vol. 49, Iss. 1, pp. 37–41. (In Russ.)
4. Ptashok A.L., *Uchenye zapiski Uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny»*, 2017, Vol. 53, Iss. 3, pp. 74–77. (In Russ.)
5. Pritychenko A.V. i dr., *Nauchnye osnovy proizvodstva i obespecheniya kachestva biologicheskikh preparatov dlya APK* (Scientific bases of production and quality assurance of biological preparations for agriculture), Materials of the International scientific and practical conference, Shchelkovo, 2020, pp. 132–137. (In Russ.)
6. Burova O.A., Blokhin A.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2017, No. 2 (57), pp. 46–50. (In Russ.)
7. Laman A.M., Tumilovich G.A., *Sovremennye tekhnologii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* (Modern technologies of agricultural production), Collection of scientific articles based on the materials of the XXI International Scientific and Practical Conference (Grodno, May 18, 2018), Grodno: GGAU, 2018, pp. 52–56.
8. Roldão A. et al., Viruses and Virus-Like Particles in Biotechnology: Fundamentals and Applications, *Comprehensive Biotechnology*, 2017, Vol. 5, P. 633–656.
9. Altamirano-Lagos M.J., Díaz F.E., Mansilla M.A. et al., Current Animal Models for Understanding the Pathology Caused by the Respiratory Syncytial Virus, *Front. Microbiol.*, 2019, Vol. 10, No. 5, pp. 330–332.
10. McGill J.L., The Immunology of Bovine Respiratory Disease: Recent Advancements, *Vet. Clin. North Am Food Anim. Pract.*, 2020, Vol. 36, No. 2, P. 333–348.
11. Ciftci K., Applications of genetic engineering in veterinary medicine, *Advanced drug delivery reviews*, 2000, Vol. 43, pp. 57–64.
12. Makarevich E.V., *Promyshlennaya mikrobiologiya i osnovy biotekhnologii* (Industrial microbiology and fundamentals of biotechnology), Murmansk: MSTU, 2009, 303 p.
13. Jorge S., The development of veterinary vaccines: a review of traditional methods and modern biotechnology approaches, *Biotechnol. Res. Innov.*, 2017, Vol. 1, pp. 6–13.
14. Van Kampen K.R., Recombinant vaccine technology in veterinary medicine, *Vet. Clin. North Am Small Anim. Pract.*, 2001, Vol. 31, No. 3, P. 5–8.
15. Korochkin R.B. et al., *Virusologiya* (Virology), Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2013, 256 p.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБСУШИВАНИЯ НОВОРОЖДЕННЫХ ТЕЛЯТ

В.С. Линник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.А. Косов, старший преподаватель

Луганский государственный аграрный университет, Луганск, Россия

E-mail: Kosoff13@yandex.ru

Ключевые слова: согревание, обсушивание, новорожденный, теленок, живая масса, прирост, сохранность.

Реферат. Одним из основных направлений дальнейшего совершенствования технологий содержания молочного скота и увеличения объемов производства молока является разработка и применение современных технологических приемов выращивания, а также совершенствование и внедрение в производство новых устройств для обслуживания телят. Целью работы была интенсификация производства молока коров красной молочной породы путем рационализации технологических приемов обслуживания и способов выращивания ремонтных телок. Для проведения научно-хозяйственного опыта был изготовлен экспериментальный образец, проведено испытание устройства (бокса) на телятах и оптимизированы режимы высушивания поверхности их тела от околоплодных вод и слизи и установлены параметры его эффективной эксплуатации. Использование предложенного устройства для согревания и обсушивания новорожденных телят позволяет снизить затраты физического труда операторов на обслуживание новорожденных телят, особенно родившихся ослабленными и с низкой жизнеспособностью, уменьшить их заболеваемость респираторными инфекционными болезнями на 10–20 %, снизить затраты медикаментов, а также минимизировать уровень влияния стрессовой нагрузки на новорожденных, что способствует сохранению их физических сил в первые часы после рождения и интенсифицирует рост, развитие и оплату корма приростами живой массы в молочный период выращивания. Проведенными исследованиями установлено, что данные технологические решения при выращивании ремонтных телочек способствуют повышению их продуктивных характеристик.

EFFICIENCY OF DIFFERENT DRYING METHODS FOR NEWBORN CALVES

V.S. Linnik, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.A. Kosov, Senior Lecturer

Lugansk State Agrarian University, Lugansk, Russia

E-mail: Kosoff13@yandex.ru

Keywords: warming, drying, newborn, calf, live weight, gain, safety.

Abstract. The development and application of modern technological methods of rearing, as well as the improvement and introduction into the production of new devices for servicing calves, is one of the main directions for further improving the technologies for keeping dairy cattle and increasing milk production. The work aimed to intensify the milk production of red dairy cows by enhancing the technological methods of maintenance and growing replacement heifers. The authors have made an experimental sample for the scientific and economic experiments. The device (box) was tested on calves, and the modes of drying the surface of their body from amniotic fluid and mucus were optimised. The parameters of its practical operation were established. The use of the proposed device for warming and drying newborn calves makes it possible to reduce the physical labour costs of operators for servicing newborn calves, especially those born weak and with low viability, to reduce their incidence of respiratory infectious diseases by 10–20%, to reduce the cost of medicines, and to minimise the level of stress load on newborns, which contributes to the preservation of their physical strength in the first hours after birth and intensifies growth, development and payment for feed by gains in live weight during the milk growing period. The studies have established that these technological solutions in cultivating replacement heifers contribute to increased product characteristics.

Появление новых эффективных ресурсосберегающих технологий способствует интенсификации производства молока. Некоторые методы и технологии можно применять напрямую, но большинство из них требуют адаптации к местным условиям включения в систему ведения сельского хозяйства [1, 2].

Первые месяцы жизни – наиболее ответственный этап для проявления генетически обусловленной продуктивности, которая может быть реализована в полной мере только при правильной организации кормления и содержания животных [3, 4].

Методы, направленные на улучшение состояния здоровья и роста телят, включают в себя контроль здоровья, роста, кормления новорожденных телят, снижение экологического стресса [5].

Общие цели успешной селекционной программы заключаются в увеличении производства молока и репродуктивного потенциала при сохранении признаков, ответственных за адаптацию к различным условиям содержания [6].

Целенаправленно используя в практике закономерности индивидуального развития организма, специалисты закладывают основы дальнейшей молочной продуктивности взрослых животных [7].

Интенсификация процесса воспроизводства и ремонта поголовья в молочном скотоводстве в значительной степени связана с повышением показателей сохранности и жизнеспособности новорожденного молодняка крупного рогатого скота [8].

Для удаления остатков слизи, околоплодной жидкости и массажа кожных покровов некоторые авторы рекомендуют обтирать теленка мешковиной или жгутом сухой соломы [9].

В условиях низких, в частности, зимних температур животноводческих помещений телята, как правило, болеют респираторными заболеваниями и в дальнейшем отстают в росте и развитии от своих ровесников или погибают. Поэтому очень важно в первые часы после рождения создать теленку оптимальные условия [10, 11].

После отела корова облизывает теленка, делая ему своеобразный массаж и активизируя его кровеносную и мышечную системы, а слизь, проглоченная коровой, способствует более быстрому отделению последа и возвращению матки в нормальное состояние [12–14].

Более действенным для обсушивания новорожденных является применение ламп инфракрасного нагрева, подвешенных над теленком, но оба эти приема не обеспечивают достаточного положительного эффекта [15].

Параметры микроклимата влияют как на общее состояние телят, так и на их приросты. При этом если выращивание происходит в помещении, то необходимо предупреждать сквозняки и повышенную влажность, следить за наличием сухой и свежей подстилки [16].

Ученые ведут поиск эффективных приемов снижения стрессовой нагрузки на новорожденных телят, в частности, действенных методов удаления слизи с поверхности кожных покровов новорожденных телят. Так, например, в США разработан инкубатор для согревания и обсушивания новорожденных животных [17].

Недостатком такого устройства является то, что животное сложно и физически тяжело помещать в инкубатор и вынимать оттуда, неудобно также приспособлять процесс обсушивания к лежащему или стоящему животному, трудно визуальное и пальпаторное контролировать процесс обсушивания поверхности тела теленка.

В настоящее время в нашей стране применяются два основных способа содержания молодняка: традиционный – содержание в телятниках в групповых боксах и «холодный» метод – содержание телят в групповых или индивидуальных домиках [18].

Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому выбор способа содержания молодняка должен определяться условиями каждого конкретного хозяйства. Основные требования – максимальный комфорт для животных и минимальные затраты [19].

Цель исследований – разработка простого, но эффективного устройства для обсушивания и обогрева поверхности тела новорожденных телят в условиях промышленных комплексов и молочно-товарных ферм в первые часы после их появления на свет, а также изучение влияния различных способов обсушивания на дальнейший рост и развитие.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения поставленных целей нами был разработан и изготовлен опытный образец устройства для согревания и обсушивания новорожденных телят, схема которого приведена на рисунке. Оно состоит из боковых 1 и 2 и торцевых 3 и 4 стенок, дна 5, прозрачной крыши 6. На передней торцевой стенке 4 смонтирован калорифер 7, система распределения воздушного потока 8 с соплами 9 и пульт управления 10. Калорифер 7 оборудован кассетой очистки воздуха. Между дном устройства 5 и подвижным щелевым полом 12 размещена

резиновая камера 13 с патрубком 14 и вентиля 15. На задней торцевой стенке 3 имеются регулировочные отверстия 16 для выхода отработавшего воздуха. Боковая стенка 1 колеблется на навесах 17 и выполняет роль дверцы, которая открывается книзу в положение трапа, а в закрытом положении она фиксируется к прозрачной крыше 6 замками 18.

Устройство эксплуатировали следующим образом. В чистом, продезинфицированном и высушенном устройстве открывали до уровня дна 5 боковую стенку 1, которая колеблется на

навесах 17, затем заводили (или заносили) туда теленка 19, которого размещали на подвижном щелевом полу 12. После этого боковую стенку 1 поднимали и фиксировали к прозрачной крыше 6 замками 18. Через патрубок 14 наполняли воздухом резиновую камеру 13, которая поднимала подвижный щелевой пол 12 вместе с животным до необходимого уровня, и закрывали вентиль 15. После этого с помощью пульта управления 10 включали калорифер 1, в который предварительно заправляли чистую кассету с фильтром для очистки воздуха.

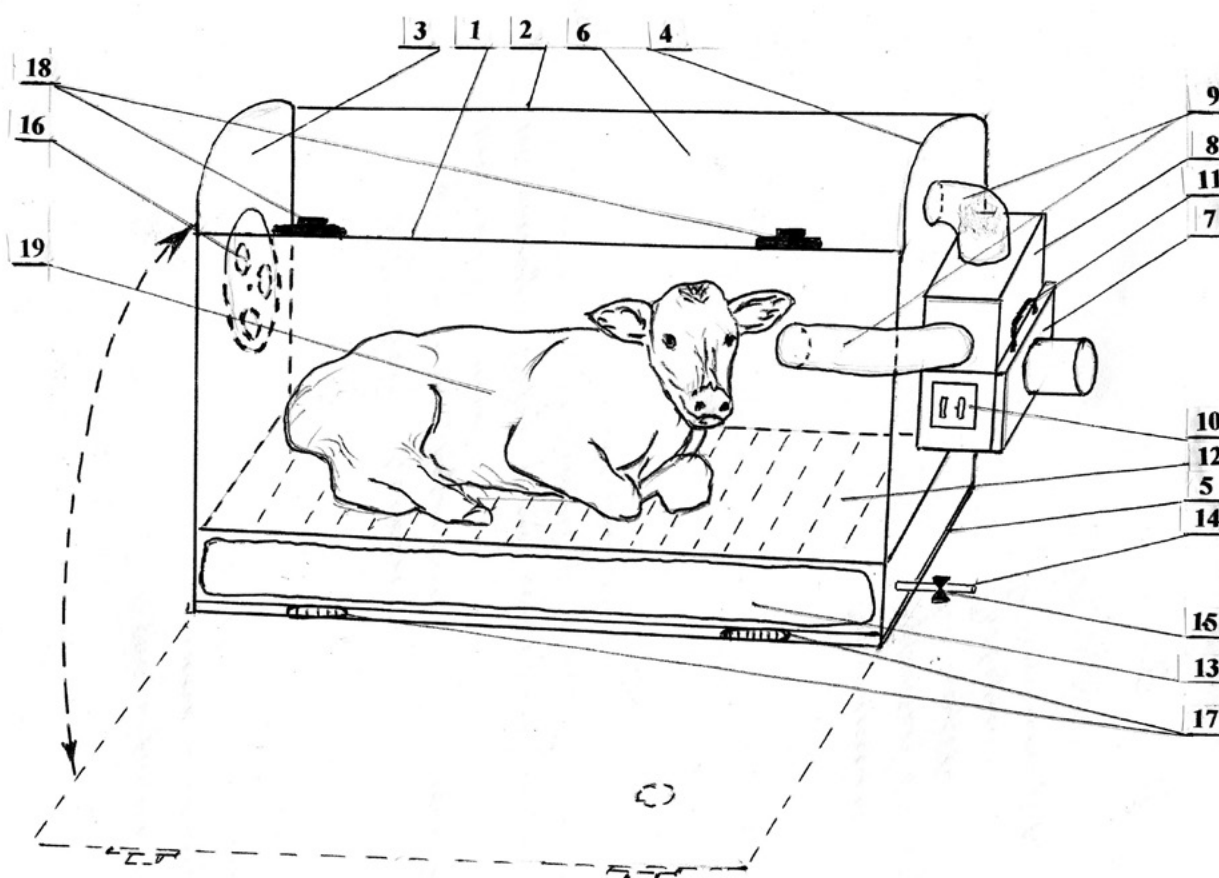


Схема устройства для обсушивания и обогрева новорожденного теленка

Scheme of a device for drying and heating a newborn calf

Перекрытием отверстий 16 регулировали движение теплого воздуха внутри устройства, обеспечивая таким образом обогрев и обсушивание новорожденного теленка 19. Процесс контролировали визуально через прозрачную крышу 6 и пальпаторно, путем прощупывания пальцами волосяного покрова теленка через технологические отверстия.

Если теленок встал, то открывали вентиль 15 и выпускали из резиновой камеры 13 воздух. При этом подвижный щелевой пол 12 вместе с животным, под действием его собственного веса, опускался до дна устройства

5, способствуя таким образом равномерному обдуванию теленка теплыми потоками воздуха. После завершения обсушивания открывали боковую стенку 1 и опускали ее до уровня дна устройства 5. В этом положении стенка 1 выполняла роль трапа, по которому теленка выводили в профилакторий.

Для опыта в ООО «АФ Должанская в 2022 г. выбрали новорожденных телочек украинской красной молочной породы, которых распределили по методике групп-аналогов (Овсянников А.И., 1976) на три подопытные группы.

В 1-ю группу вошли животные, которых после рождения обтирали жгутом сухой чистой соломы; 2-ю группу животных сформировали из новорожденных, обсушенных в индивидуальном металлическом вольере с помощью ламп инфракрасного нагрева марки ИКЗК-220-250; телят 3-й группы согревали и обсушивали подогретым сухим воздухом в разработанном нами устройстве.

После обсушивания всех телочек выращивали в одном помещении в изолированных друг от друга индивидуальных металлических клетках-вольерах на глубокой соломенной подстилке.

Контроль роста телочек осуществляли методом ежемесячного индивидуального взвешивания. Уровень и полноценность кормления телят всех групп были одинаковыми и соответствовали общепринятым нормам [2].

Согласно принятой в хозяйстве схеме кормления, телочкам выпоили за 6 месяцев учетного периода (в расчете на 1 голову) 320 кг цельного молока и 600 – обрат, скормили 927 кг зеленых кормов и 183 кг комбикорма. Полученные результаты обработали биометрически по методике Н.А. Плохинского [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено (табл. 1), что при использовании различных технологических приемов обсушивания новорожденных телят их рост и оплата кормов приростами живой массы были разными. Так, телочки, которых обсушивали с использованием ламп инфракрасного нагрева ИКЗК-220-250, опережали по среднесуточным приростам живой массы ровесниц из 1-й (контрольной) группы на 38 г (5,8 %, $P<0,05$), а приросты телят 3-й группы, которых обсушивали в устройстве разработанной нами конструкции, были выше животных контрольной

группы на 83,2 г (на 12,6 %, $P<0,001$). Это позволило телочкам 3-й группы опередить своих ровесниц из 2-й и 1-й групп по живой массе на конец периода соответственно на 8,1 и 15,2 кг.

Кроме того, к положительному действию применения разработанного нами устройства для обсушивания новорожденных телят можно отнести снижение отхода и выбраковки телочек на этапе молочного периода. Так, если из 20 телочек 1-й группы (обтирание сухой соломой) в первый месяц выращивания выбыло 4 головы (20 %), из 2-й группы (обсушивание лампой ИК-обогрева) – 2 головы (10 %), то в 3-й группе выбраковки не было, т. е. сохранность животных, которых после рождения обсушивали и согревали с помощью разработанного нами устройства, составила 100%.

В ходе исследований было установлено, что при применении разработанного устройства достигалась экономия и облегчение труда обслуживающего персонала. Оно обеспечивалось благодаря тому, что животное можно завести в устройство, открыв книзу боковую стенку, которая в этом положении выполняет одновременно роль дверцы и трапа. Если теленок очень слаб и не может стоять на ногах, то его легко можно занести в устройство, открыв эту же боковую стенку, в частности, учитывая, что на обслуживании новотельных коров и новорожденных телят в коровниках и родильных отделениях работают, как правило, женщины.

Оптимизация режима обсушивания и согревания новорожденных телят во время их пребывания в устройстве обеспечивается пневморегулированием высоты размещения подвижного щелевого пола и соответственно туловища животного на уровне тепловых воздухопроводов, впускающих в устройство теплые потоки воздуха, обсушивающие и одновременно согревающие поверхность тела новорожденного теленка.

Таблица 1

Динамика приростов живой массы телочек от рождения до 6-месячного возраста
Dynamics of live weight gain in heifers from birth to 6 months of age

Показатель	Группа		
	1-я	2-я	3-я
1	2	3	4
Живая масса телят при рождении, кг	25,67±0,20	26,07±0,16	25,93±0,20
Среднесуточный прирост, г	-	-	-
за 1-й месяц	443,25±37,21	688,88±45,29	756,9±26,89
за 2-й месяц	655,13±46,09	713,94±42,65	716,5±40,81

Окончание табл. 1

1	2	3	4
за 3-й месяц	644,44±44,19	698,44±36,86	704,05±38,19
за 4-й месяц	692,94±65,97	655,32±44,23	888,0±83,11
за 5-й месяц	812,81±80,58	721,06±81,87	794,61±67,62
за 6-й месяц	781,13±70,30	782,5±98,19	730,58±65,21
за 6 месяцев опыта	662,0±10,47	700,0±12,77	745,2±12,77
Живая масса телят в конце опыта, кг	144,84±1,23	151,97±1,75	160,04±2,35
Выбраковано, гол.	4	2	-

Улучшение пальпаторного и визуального контроля процесса обсушивания и согревания новорожденных телят достигалось благодаря наличию прозрачной крыши, а также боковых технологических отверстий и возможности открывать и закрывать одну из боковых стенок устройства.

Детализированную характеристику отдельных зимних и летних зоогигиенических параметров в зоне отела коров можно дать на основании отобранных и систематизированных нами данных, приведенных в табл. 2 и 3. Анализ данных табл. 2 свидетельствует о том, что зимой температура воздуха во время обсу-

шивания поверхности тела телят под лампой ИК-нагрева была в 3 раза, а при обсушивании в разработанном нами устройстве – в 6 раз более высокой по сравнению с температурой окружающего воздуха в коровнике. При этом в устройстве для обсушивания телят (3-я группа) ее поддерживали на уровне температуры тела животного.

Скорость движения воздуха в зоне обсушивания телят 1-й и 2-й групп была практически одинаковой и отвечала зоогигиеническим нормативам, а в изучаемом устройстве (3-я группа) – повышена в 3 раза по сравнению с 1-й и 2-й группами за счет работы калорифера.

Таблица 2

Основные показатели микроклимата в зоне пребывания новорожденных телят в зимний период
The leading indicators of the microclimate in the zone of stay of newborn calves in winter

Показатель	Норматив	Группа		
		1-я	2-я	3-я
Температура воздуха, °C	16-20	6,1±0,17	18,7±0,26	36,1±0,28
Относительная влажность воздуха, %	70-75	81,14±0,36	80,75±0,34	70,31±0,32**
Содержание аммиака в воздухе, мг/м³	15	7,6±0,22	11,9±0,17	6,2±0,25**
Скорость движения воздуха, м/с	0,2-0,3	0,49±0,03	0,54±0,02	1,49±0,02**
Бактериальная загрязненность воздуха, количество микробов в 1 м³				
на уровне 20 см от пола	2,0·10 ⁴	2,8·10 ⁴	3,1·10 ⁴	5,4·10 ³
на уровне 70 см от пола	2,0·10 ⁴	1,8·10 ⁴	2,2·10 ⁴	3,5·10 ³
Длительность обсушивания новорожденного теленка, мин		350,69±2,37	268,33±1,57	40,28±0,83

**P<0,01.

Повышенная температура в сочетании с движением воздуха ускоряли процесс удаления

избыточной влаги с поверхности тела новорожденных телят. Относительная влажность

воздуха в устройстве для обсушивания была на 10 % более низкой сравнительно с обсушиванием под лампой ИК-нагрева (2-я группа). Содержание аммиака в воздухе, которым дышали телята всех групп, находилось в пределах допустимого зоогигиеническими нормативами.

Важным показателем, который характеризует зоогигиенические условия в зоне пребывания животных, является бактериальное обсеменение воздуха, которым они дышат. Анализ проб воздуха, отобранного нами на высоте 20 см от пола (уровень головы лежащего теленка), свидетельствует о том, что телята 3-й группы вдыхали в 5,0–5,7 раза более чистый от микрофлоры воздух, чем их ровесники из 1-й и 2-й групп. Это результат того, что в устройство подавали более чистый, профильтрованный воздух.

Подобная закономерность была установлена и при отборе проб воздуха на высоте 70 см от пола (уровень головы стоящего теленка). Но при повышении высоты взятия проб в определенных методикой исследований местах их отбора (в деннике – 1-я группа, в клетке под лампой – 2-я группа и в устройстве для обсу-

шивания – 3-я группа) нами было зафиксировано в 1,4–1,5 раза меньшее количество микрофлоры, чем в первом случае. Таким образом, приближение головы теленка к полу повышает риск усиленного бактериального обсеменения его дыхательных путей. Применение разработанного нами устройства для обсушивания и согревания новорожденных телят уменьшает этот риск.

Что касается длительности обсушивания телят от околоплодной слизи, то у животных 3-й группы она была в 6,7 раза более короткой по сравнению со 2-й группой (обсушивание и обогрев под лампой ИК-нагрева) и в 8,7 раза более короткой по сравнению с 1-й группой (обтирание жгутом сухой соломы без обогрева).

Аналогичные исследования зоогигиенических параметров в зоне обслуживания новорожденных коров-первотелок и телят были проведены летом (см. табл. 3).

Установлено, что температура воздуха окружающей среды в местах проведения отела и, в частности, вокруг телят 1-й и 2-й групп, летом повышалась, поскольку был прогрет воздушный бассейн зоны обитания животных.

Таблица 3

Основные показатели микроклимата в зоне пребывания новорожденных телят (летний период)
The leading indicators of the microclimate in the zone of stay of newborn calves (summer period)

Показатель	Норматив	Группа		
		1-я	2-я	3-я
Температура воздуха, °C	16-20	18,28±0,23	28,33±0,27	36,0±0,27***
Относительная влажность воздуха, %	70-75	73,61±0,37	69,72±0,27	66,33±0,31*
Содержание аммиака в воздухе, мг/м³	15	13,94±0,53	17,89±0,55	11,0±0,28*
Скорость движения воздуха, м/с	0,3-0,5	0,68±0,02	0,67±0,01	1,49±0,04**
Бактериальная загрязненность воздуха, количество микробов в 1 м³				
на уровне 20 см от пола	2,0·10⁴	2,4·10⁴	2,7·10³	8,4·10³
на уровне 70 см от пола	2,0·10⁴	1,6·10⁴	1,8·10⁴	5,5·10³
Длительность обсушивания теленка, мин		243,81±3,12	176,0±1,45	36,83±0,62

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

Животных 1-й группы обсушивали при температуре в 3 раза, а телят 2-й группы – в 1,5 раза более высокой, чем зимой, хотя абсолютная температура в зоне пребывания телят под лампами ИК-нагрева (2-я группа) была обычно на 10°C более высокой по сравнению

с температурой воздуха в родильном отделении коровника.

Повышение температуры воздуха способствовало некоторому увеличению уровня аммиака в воздухе, хотя он все же не превышал допустимых нормативов.

Скорость движения воздуха в зоне пребывания телят 1-й и 2-й групп летом несущественно повышалась (на 0,13–0,19 м/с), бактериальная загрязненность на высоте 20 см от пола снижалась в 11,5–11,8 раза, а на высоте 70 см – в 1,13–1,23 раза по сравнению с аналогичными зимними показателями. Можно допустить, что причиной этого была повышенная инсоляция воздуха, оборудования, подстилки и пола солнечными УФ-лучами.

Длительность обсушивания телят летом снижалась в 1-й и 2-й группах соответственно на 30,5–34,5 % по сравнению с замерами, проведенными в зимний период года. Время обсушивания телят 3-й группы летом было на 8,6 % короче, чем зимой, что вызвано повышенной температурой окружающей среды. Как следствие, затраты электроэнергии на подогрев воздуха и оборудования летом были ниже, чем зимой.

Эксплуатация такого устройства позволяет минимизировать уровень стрессовых нагрузок на новорожденного теленка, поскольку во время размещения, обсушивания и согревания в предлагаемом устройстве теленок находится непривязанным, просто и легко там размещается (стоит или лежит) и выходит из него самостоятельно при открывании боковой стенки-трапа. При этом оператор легко регулирует и визуальнo контролирует как высоту размещения животного, так и процесс обсушивания волосяного покрова и согревание поверхности тела теленка.

Разработанное устройство конструктивно простое и безопасное, оно может быть легко изготовлено непосредственно в животноводческих хозяйствах и легко обслуживается одним оператором без посторонней помощи.

Все вышеперечисленное обеспечивает успешное проведение процесса обсушивания и согревания новорожденных телят при минимальных стрессовых нагрузках на животных, что способствует защите их от переохлаждения и различных заболеваний.

ВЫВОДЫ.

1. Применение устройства для обсушивания и согревания телят предлагаемой конструкции – выгодный технологический прием обслуживания новорожденных телят, поскольку этим обеспечивается повышение среднесуточных приростов за период выращивания до 6-месячного возраста на 6,5 % по сравнению с использованием ламп ИК-нагрева и на 12,8 % по сравнению с обтиранием их пучком сухой соломы.

2. Использование искусственного обсушивания новорожденных телочек позволяет снизить затраты тяжелого физического труда операторов на их обслуживание, сохранить высокую энергию роста, уменьшить на 10–20 % уровень заболеваемости и падеж в первые дни жизни, особенно тех, которые родились ослабленными и низкожизнеспособными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Медведский В.* Выращиваем телят-молочников // Животноводство России. – 2017. – № 7. – С. 27–34.
2. *Farm, household, and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders / C.G. Martínez-García, S.J. Ugoretz, C.M. Arriaga-Jordán, M.A. Wattiaux // Trop. Anim. Health Prod.* – 2015. – Vol. 47. – P. 311–316. – <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0720-4>.
3. *Способы выращивания и их влияние на рост и развитие телят / З.Т. Калмыкова, Л.С. Балюк, Д.А. Даниленко, Р.Ю. Горкавченко // Инновационная траектория развития современной науки: становление, развитие, прогнозы: материалы Междунар. науч.-практ. конф.* – 2020. – С. 196–199.
4. *Седалиев Н.Б., Бвай Д.Д., Толеген Т.Т.* Совершенствование технологии содержания телят в помещении и вне ее // Актуальные проблемы и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – 2019. – С. 367–373.
5. *Guide to good dairy farming practice // Animal Production and Health Guidelines.* – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy; International Dairy Federation, Brussels, Belgium. – 2011. – № 8.
6. *Livestock genomics for developing countries–African examples in practice / K. Marshall, J.P. Gibson, O. Mwai [et al.] // Front. Genet.* – 2019. – Vol. 10. – P. 297. – <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00297>.

7. Почкина С.Н., Мирончук Д.А. Эффективность выращивания телят в профилакторный период при различных способах содержания // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2021. – № 24-2. – С. 62–68.
8. Рой Дж.Х. Выращивание телят. – М.: Колос, 1982. – С. 270.
9. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов [и др.]. – М.: Джангар: Россельхозакадемия, 2003. – 455 с.
10. Гутербок В.М. Принципы выращивания телят // Farm Animals. – 2013. – № 1. – С. 48–55.
11. Медведский В. Выращивание телят профилакторного периода // Животноводство России. – 2017. – № 2. – С. 35–40.
12. Stěhulová I., Lidfors L., Špinka M. Response of dairy cows and calves to early separation: effect of calf age and visual and auditory contact after separation // Appl. Anim. Behav. Sci. – 2008. – Vol. 110. – P. 144–165.
13. Гигиенические параметры при «холодном способе» выращивания телят / В.И. Иванов, Д.Ю. Костерин, Т.Г. Кичеева, О.С. Ефремочкина // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2016. – № 3. – С. 75–78.)
14. Патент США (11) № 5140947. A01K29/00 Инкубатор для новорожденных животных // Бюллетень ИО(40) 920825. – Т. 1141, № 4. – С. 165–166.
15. Аминова А.Л. Выращивание молодняка крупного рогатого скота: монография. – Уфа, 2020. – 299 с.
16. Grandinson K. Genetic background of maternal behaviour and its relation to offspring survival // Livest. Prod. Sci. – 2005. – Vol. 93. – P. 43–50.
17. Von Keyserlingk M.A.G., Weary D.M. Maternal behavior in cattle // Horm. Behav. – 2007. – Vol. 52. – P. 106–113.
18. Филиппова О.Б., Куйко Е.И. Групповое и индивидуальное содержание молодняка крупного рогатого скота // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 3 (35). – С. 84–85.
19. Бекенов Д.М., Спанов А.А., Саримбеков С.Н. Технология содержания и кормления телят в молочный период // Актуальные проблемы и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – 2019. – С. 322–326.
20. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. – М.: Колос, 1969. – 246 с.

REFERENCES

1. Medvedskii V., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2017, No. 7, pp. 27–34. (In Russ.)
2. Martínez-García C.G., Ugoretz S.J., Arriaga-Jordán C.M., Wattiaux M.A., Farm, household, and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders, *Trop. Anim. Health Prod.*, 2015, Vol. 47, pp. 311–316, <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0720-4>.)
3. Kalmykova Z.T., Balyuk L.S., Danilenko D.A., Gorkavchenko R.Yu., *Innovatsionnaya traektoriya razvitiya sovremennoi nauki: stanovlenie, razvitie, prognozy* (Innovative trajectory of modern science development: formation, development, forecasts), Materials of the International Scientific and Practical Conference, 2020, pp. 196–199. (In Russ.)
4. Sedaliev N.B., Bvai D.D., Tolegen T.T., *Aktual'nye problemy i per-spektivy razvitiya veterinarnoi i zootekhnicheskoi nauk* (Actual problems and prospects of development of veterinary and zootechnical sciences), Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, 2019, pp. 367–373. (In Russ.)
5. Guide to good dairy farming practice, *Animal Production and Health Guidelines*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy; International Dairy Federation, Brussels, Belgium, 2011, No. 8.
6. Marshall K., Gibson J.P., Mwai O. et al., Livestock genomics for developing countries—African examples in practice, *Front. Genet.*, 2019, Vol. 10, pp. 297, <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00297>.

7. Pochkina S.N., Mironchuk D.A., *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*, 2021, No. 24–2, pp. 62–68. (In Russ.)
8. Roi Dzh.Kh., *Vyrashchivanie telyat* (Raising calves), Moscow: Kolos, 1982, 470 p.
9. Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Shcheglov V.V. i dr., *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Norms and rations of feeding of farm animals), Moscow: Dzhangar, Rossel'khozakademiya, 2003, 455 p.
10. Guterbok V.M., *Farm Animals*, 2013, No. 1, pp. 48–55. (In Russ.)
11. Medvedskii V., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2017, No. 2, pp. 35–40. (In Russ.)
12. Stěhulová I., Lidfors L., Špinka M., Response of dairy cows and calves to early separation: effect of calf age and visual and auditory contact after separation, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2008, Vol. 110, pp. 144–165.
13. Ivanov V.I., Kosterin D.Yu., Kicheeva T.G., Efremochkina O.S., *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2016, No. 3, pp. 75–78. (In Russ.)
14. Patent SShA (11) № 5140947. A01K29/00 *Inkubator dlya novorozhdennykh zhivotnykh* (Incubator for newborn animals), Buleten IO(40) 920825, Vol. 1141, No. 4, pp. 165–166.
15. Aminova A.L., *Vyrashchivanie molodnyaka krupnogo rogatogo skota* (Rearing of young cattle), Ufa, 2020, 299 p.
16. Grandinson K., Genetic background of maternal behaviour and its relation to offspring survival, *Livest. Prod. Sci.*, 2005, Vol. 93, pp. 43–50.
17. Von Keyserlingk M.A.G., Weary D.M., Maternal behavior in cattle, *Horm. Behav.*, 2007, Vol. 52, pp. 106–113.
18. Filippova O.B., Kiiko E.I., *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*, 2019, No. 3 (35), pp. 84–85. (In Russ.)
19. Bekenov D.M., Spanov A.A., Sarimbekov S.N., *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya veterinarnoi i zootehnicheskoi nauk* (Актуальные проблемы и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической науки), Materials of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation, 2019, pp. 322–326. (In Russ.)
20. Plokhinskii N.A. *Rukovodstvo po biometrii dlya zootekhnikov* (Biometrics Guide for Animal Technicians), Moscow: Kolos, 1969, 246 p.

ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОБАВКИ КОРМОВОЙ ЭНДОФОРС МУЛЬТИ НА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

С.В. Малков, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

А.С. Красноперов, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

О.Ю. Опарина, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

А.И. Белоусов, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

И.Ю. Вершинина, научный сотрудник

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: marafon.86@list.ru

Ключевые слова: добавка кормовая, Эндофорс Мульти, острая токсичность, хроническая токсичность, белые лабораторные крысы, живая масса, гематология, биохимия.

Реферат. Создание новых лекарственных препаратов и кормовых добавок является актуальной задачей, способствующей росту эффективности животноводческой и птицеводческой отраслей сельского хозяйства, особенно в период импортозамещения в Российской Федерации. Экспериментальное изучение возможных изменений в организме лабораторных животных после однократного или многократного применения новых кормовых добавок необходимо для токсикологической оценки вновь создаваемых продуктов. Однократное внутрижелудочное введение добавки кормовой Эндофорс Мульти, содержащей живые вегетативные клетки и споры культур: *Bacillus subtilis* В-5449, *Bacillus subtilis* В-1323, *Bacillus subtilis* В-3679 – $5,0 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, в дозе, многократно превышающей рекомендованную, не привело к гибели лабораторных животных, что подтвердило отсутствие её острой токсичности. За весь период наблюдений не отмечали нарушений в поведенческих реакциях и физиологическом состоянии крыс. Определение хронической токсичности проводили в течение 30 дней. Исследуемую суспензию добавки кормовой Эндофорс Мульти с водой крысам опытных групп в дозах: 1-й – 100 мг, 2-й – 150 мг и 3-й – 200 мг на голову. По окончании экспериментального исследования выявили увеличение количества эритроцитов на $2,68\text{--}3,72 \cdot 10^{12}/\text{л}$, гемоглобина – на $41,50\text{--}61,58$ г/л у лабораторных животных опытных групп по сравнению с контрольными, что свидетельствовало об усилении оксигенации крови и организма в целом. Кроме того, у крыс опытных групп зарегистрировали сокращение содержания в крови мочевины до $3,14 \pm 0,53$ – $4,68 \pm 0,41$ ммоль/л и креатинина до $32,26 \pm 5,18$ – $48,13 \pm 6,23$ мкмоль/л. Противоположную тенденцию наблюдали при определении сывороточной активности щелочной фосфатазы, которая увеличилась на $39,0\text{--}52,6\%$ по отношению к интактным особям, что указывало на динамичные процессы роста, формирования и развития костяка. По результатам аутопсии крыс исследуемых групп, независимо от дозы введения добавки кормовой Эндофорс Мульти, не зарегистрировали патологических изменений в цвете, консистенции и размере внутренних органов.

TOXICOLOGICAL STUDIES OF ADDITIVES FEED ENDOFORCE MULTI ON LABORATORY ANIMALS

S.V. Malkov, PhD in Veterinary Sciences, Senior Researcher

A.S. Krasnoperov, PhD in Veterinary Sciences, Senior Researcher

O.Yu. Oparina, PhD in Veterinary Sciences, Senior Researcher

A.I. Belousov, Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher

I.Yu. Vershinina, Researcher

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

E-mail: marafon.86@list.ru

Keywords: feed additive, Endoforce Multi, acute toxicity, chronic toxicity, white laboratory rats, live weight, haematology, biochemistry.

Abstract. The creation of new drugs and feed additives is an urgent task that contributes to the growth of the efficiency of the livestock and poultry industries of agriculture, especially during the period of import substitution in the Russian Federation. An experimental study of possible changes in the body of laboratory animals after single or multiple uses of new feed additives is necessary for the toxicological assessment of newly created products. Single intragastric administration of feed additive Endoforce Multi containing live vegetative cells and spores of cultures: *Bacillus subtilis* B-5449, *Bacillus subtilis* B-1323, *Bacillus subtilis* B-3679 - 5.0×10^9 CFU / ml, at a dose many times higher than recommended, did not lead to the death of laboratory animals, which confirmed the absence of its acute toxicity. Over the entire observation period, the authors did not note any disturbances in the rats' behavioural reactions and physiological states. Determination of chronic toxicity was carried out for 30 days. The studied suspension of the feed additive was given with water to rats of the experimental groups at doses: 1st - 100 mg, 2nd - 150 mg and 3rd - 200 mg per head. At the end of the empirical study, an increase in the number of erythrocytes by $2.68\text{--}3.72 \times 10^{12}/\text{l}$, haemoglobin - by $41.50\text{--}61.58$ g/l in laboratory animals of the experimental groups compared with the control ones was revealed, which indicated an increase in blood oxygenation and the organism as a whole. In addition, in the rats of the experimental groups, a decrease in the content of urea in the blood to 3.14 ± 0.53 - 4.68 ± 0.41 mmol / l and creatinine to 32.26 ± 5.18 - 48.13 ± 6.23 $\mu\text{mol/l}$. The opposite trend was observed when determining the serum activity of alkaline phosphatase, which increased by 39.0–52.6% in intact individuals, which indicated dynamic processes of growth, formation and development of the skeleton. According to the results of the autopsy of the rats of the studied groups, regardless of the dose of the introduction of the feed additive Endoforce Multi, no pathological changes in the colour, consistency and size of the internal organs were registered.

В настоящее время все более широкое применение находят препараты и кормовые добавки, в состав которых входят представители семейств спорообразующих аэробных бактерий рода *Bacillus* [1–3], обладающие свойствами нормализации микрофлоры желудочно-кишечного тракта и формирования микробных биоценозов [4, 5].

В рамках импортозамещения в нашей стране активно разрабатываются новые отечественные лекарственные средства и пробиотические кормовые добавки на основе живой микрофлоры [6–9], способные повышать прирост живой массы сельскохозяйственных животных и птицы, предотвращать желудочно-кишечные заболевания и быть безопасными для организма.

Для внедрения новых кормовых добавок в промышленное животноводство требуется детальное изучение их специфической эффективности и функциональной биобезопасности в экспериментальных исследованиях как при одномоментном, так и при длительном поступлении в организм лабораторных животных.

Цель исследования – оценить острую и хроническую токсичность добавки кормовой Эндофорс Мульти на белых лабораторных крысах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемая добавка кормовая Эндофорс Мульти – микробиологический продукт, содержащий живые вегетативные клетки и споры культур: *Bacillus subtilis* B-5449, *Bacillus subtilis*

B-1323, *Bacillus subtilis* B-3679 – $5,0 \times 10^9$ КОЕ/мл, а также среду культивирования бактерий. Представляет собой суспензию светло-коричневого цвета с оттенками разной насыщенности, растворяющуюся в воде в любых соотношениях. Разработчик и производитель – ООО «СХП «Нива», Республика Крым.

Исследования проводили в 2021–2022 гг. на базе отдела экологии и незаразной патологии животных Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках государственного задания в соответствии с Программой ФНИ государственных академий наук по направлению 4.2.1.5 «Разработка технологий прижизненного управления качеством животноводческого сырья для получения высококачественных и безопасных продуктов питания».

Доклинические испытания добавки кормовой Эндофорс Мульти – определение острой токсичности ($n = 6$), хронической токсичности ($n = 40$) проводили на клинически здоровых самках нелинейных белых лабораторных крыс. Животных отбирали здоровых, половозрелых, небеременных и ранее не рожавших. Возраст на начало эксперимента – 8–9 недель, живая масса 185–200 г.

Исследования проводили в соответствии с учебным пособием «Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте» [10], Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ [11] и ГОСТ 32644-2014 Методы испытания по воздействию

химической продукции на организм человека [12].

Лабораторных животных ранее не использовали в опытах, содержали согласно ГОСТ 33216-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами [13] и ГОСТ 33215-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур [14].

Комбикорма использовали полнорационные гранулированные для лабораторных животных (ГОСТ 34566-2019) [15], изготовленные на Богдановичском комбикормовом заводе. Поение производилось из стандартных поилок водопроводной водой, соответствующей ГОСТ Р 51232-98 [16].

Условия содержания и кормления соответствовали зоогигиеническим нормам. Животных содержали в помещениях с искусственным освещением, которое достигалось посредством люминесцентных ламп (режим: 12 ч – свет, 12 ч – темнота), и контролируемым микроклиматом: температура воздуха в помещении 20–22°C; относительная влажность 50–60%.

Для проведения экспериментальных исследований отбирали клинически здоровых белых лабораторных крыс, прошедших 7-дневное карантинирование. Разница в массе тела по группе не превышала 10%. Взвешивание осуществляли на весах CAS SW-10 (Южная Корея). Формирование групп крыс и их маркировку проводили за 5 дней до начала эксперимента. Перед назначением тестируемого продукта животных выдерживали на голодной диете в течение 12 ч, но со свободным доступом к воде.

При исследовании *острой токсичности* суспензию испытуемой добавки кормовой Эндофорс Мульти перемешивали и задавали особям опытных групп: 1-й – в дозе 2000 мг/кг массы тела, 2-й – 5000 мг/кг массы тела согласно методическим указаниям в постоянной концентрации (т.е. неразбавленную) внутрижелудочно с помощью зонда. Животным контрольной группы вместо добавки кормовой вводили дистиллированную воду. После этого осуществляли наблюдение за крысами в течение 30 мин, затем каждый час в течение 4 ч, после чего давали корм. В последующие 14 дней оценивали состояние животных один раз в сутки. Взвешивание животных проводили на 7-й и 14-й день эксперимента.

Острую токсичность оценивали по каждому животному индивидуально на основании признаков токсичности, времени появления,

их обратимости. Регистрировали возможные изменения физиологических параметров, поведенческих реакций, гематологических и биохимических показателей.

По окончании исследования острой токсичности лабораторных животных подвергли аутопсии с целью морфометрической верификации внутренних органов.

Определение *хронической токсичности* добавки кормовой Эндофорс Мульти осуществляли в течение календарного месяца с введением в корм грызунов трех опытных групп по 10 голов в каждой исследуемой суспензии в дозах 1/10, 1/7,5 и 1/5 от максимально переносимой, полученной при анализе острой токсичности исследуемого продукта – 100; 150 и 200 мг на голову соответственно. Животные контрольной группы добавку не получали.

При ежедневном наблюдении за экспериментальными животными учитывали пищевые и поведенческие реакции, изменения цвета слизистых оболочек и шерстного покрова. С целью изучения прироста живой массы тела проводили еженедельные взвешивания. Перед опытом и по его окончании отбирали пробы крови для изучения динамики гематологических и биохимических показателей. После завершения исследований по определению хронической токсичности всех особей подвергали эвтаназии для макроскопического анализа внутренних органов и определения их массовых коэффициентов.

В составе гематологических исследований проводилось определение количества эритроцитов, лейкоцитов, концентрации гемоглобина при помощи ветеринарного гематологического анализатора Abacus Junior Vet фирмы Diatron (Австрия) с использованием стандартных реактивов фирмы Diatron (Австрия); лейкоцитарную формулу подсчитывали в мазках крови, окрашенных по Романовскому-Гимза. Учет результатов проводили визуально на микроскопе Olympus BX 43 (Olympus, Япония).

Исходя из полученных данных гемограммы крови рассчитывали интегральные лейкоцитарные индексы как более чувствительные маркеры возможной интоксикации и адаптивного потенциала резервов организма: лимфоцитарный индекс (ЛИ); лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу (ЛИИ в упрощенной модификации 1950 г.); ядерный индекс Г.Д. Даштаянца (ЯИ); индекс сдвига лейкоцитов крови (ИСЛК) [17–21].

Биохимические исследования сыворотки крови проводили с применением кинетических, колориметрических и турбиметрических методов на автоматическом биохимическом

анализаторе Chem Well-2910 Combi фирмы Awaveness Technology (USA) с использованием стандартных наборов реактивов фирм Vital Diagnostics Spb (Россия), DIALAB GmbH (Австрия). Достоверность выполнения измерений подтверждена контрольными материалами, рекомендованными производителями реактивов.

В качестве объективных показателей токсического действия использовали специфические биохимические маркеры сыворотки крови: определяли активность аспартатаминотрансферазы (АСТ), что позволяет выявить органоспецифическое токсическое действие на печень, почки и сердце; содержание мочевины и креатинина как показатели функции почек; уровень глюкозы – маркера состояния поджелудочной железы; активность щелочной фосфатазы – маркера для диагностики заболеваний костной системы, печени, желчевыводящих путей и почек; содержание общего белка для определения состояния белкового обмена.

Статистическая обработка данных проведена на PC Pentium с помощью программы Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При определении *острой токсичности* добавки кормовой Эндофорс Мульти в течение первых 4 ч после введения наблюдали 100%-ю сохранность крыс, отсутствие изменений в потреблении корма и воды, частоты и глубины дыхательных движений, цвета видимых слизистых оболочек, тонуса скелетной мускулатуры и активность согласно физиологическому возрасту. Цвет и консистенция фекалий соответствовали норме.

При дозах 2000 и 5000 мг/кг массы тела отклонений в физиологическом состоянии и поведенческих реакциях грызунов не зарегистрировано. Контроль живой массы тела испытуемых животных на 7-й и 14-й дни показал, что масса увеличивалась в 1-й опытной группе на 3,6 и 7,4%, а во 2-й на 3,6 и 6,4% соответственно по отношению к фоновым значениям, что соответствовало физиологическим нормам развития. По результатам аутопсии исследуемых крыс, независимо от дозы введения добавки кормовой Эндофорс Мульти, не выявили патологических изменений в цвете, консистенции и размере внутренних органов. Следовательно, добавка кормовая Эндофорс Мульти не обладает острой токсичностью.

Для определения *хронической токсичности* проводили длительное (30 дней) скормливание добавки кормовой Эндофорс Мульти, которое

не выявило существенных изменений в активности, физиологическом состоянии, поведенческих и пищевых реакциях между животными контрольной и опытных групп.

По истечении одного месяца наблюдений зарегистрировали положительную динамику основных клеток крови у лабораторных крыс. В опытных группах к концу эксперимента количество эритроцитов, как одного из наиболее важных показателей общего анализа крови, возросло на 38,0–48,2%, гемоглобина – на 37,4–39,9% по отношению к животным контрольной группы, что указывало на увеличение транспорта кислорода от лёгких к клеткам всех органов и выведения углекислого газа в обратном направлении. Зарегистрированный относительный эритроцитоз, как адаптивный механизм, возможно, явился следствием частичного нарушения дыхания и незначительной дегидратации организма белых крыс, а повышение концентрации гемоглобина указывало на некоторую дисфункцию организма (гипоксию). У животных контрольной группы была отмечена аналогичная динамика вариаций этих показателей, но в меньшей степени. Локомоции показателей крови грызунов всех групп не превышали референсных значений.

В крови крыс опытных групп выявили повышение уровня гематокрита на 37,4–39,9% по отношению к фоновым значениям, которое было неразрывно связано с увеличением количества эритроцитов как одной из особенностей физиологической «подстройки» организма для сохранения равновесия внутренних процессов с включением компенсаторных механизмов.

Наряду с этим было зарегистрировано незначительное повышение количества тромбоцитов как в интактной, так и в опытных группах, на 48,3 и 27,8–53,8% соответственно. Данные локомоции связаны с физиологическими циклическими колебаниями тромбоцитарной активности у здоровых животных.

Анализ изменений абсолютных значений пулов лейкоцитов и лимфоцитов в крови экспериментальных животных выявил тенденцию к увеличению значений во всех исследуемых группах, но не превышающих референсных цифр.

Показатели метаболического профиля в сыворотке крови лабораторных животных до введения испытуемой добавки кормовой Эндофорс Мульти были в пределах физиологической нормы. Содержание общего белка, глюкозы, креатинина, щелочной фосфатазы, мочевины и холестерина у крыс опытных и контрольной групп не имело статистически значимых различий.

После окончания экспериментального периода регистрировали изменения показателей остаточного азота у крыс опытных групп, выражающиеся в снижении содержания в крови мочевины до $3,14 \pm 0,53 - 4,68 \pm 0,41$ ммоль/л и креатинина до $32,26 \pm 5,18 - 48,13 \pm 6,23$ мкмоль/л. Сывороточная активность щелочной фосфатазы у этих животных была выше, чем у интактных особей, на 39,0–52,6%, что указывало на более активные процессы роста, формирования и развития костяка. Кроме того, было установлено снижение активности аспаратаминотрансферазы у крыс 3-й опытной группы – $143,40 \pm 13,07$ ед/л, что на 33,9% ниже значений первичного скрининга.

Биохимическими исследованиями сыворотки крови было установлено, что введение добавки кормовой Эндофорс Мульти, независимо от дозы, оказало позитивное влияние на функциональное состояние внутренних органов – снижение активности АСТ и нормализацию обменных процессов у опытных животных.

По завершении исследовательского периода животных подвергли эвтаназии с анализом дизайна патолого-анатомического вскрытия. Видимых изменений во внутренних органах не регистрировали. Отсутствие негативного эффекта при длительном применении добавки кормовой Эндофорс Мульти подтверждается полученными массовыми коэффициентами внутренних органов белых крыс (табл. 1).

Таблица 1

Массовые коэффициенты внутренних органов белых лабораторных крыс при изучении хронической токсичности добавки кормовой Эндофорс Мульти

Mass coefficients of the internal organs of white laboratory rats in the study of chronic toxicity of the feed additive Endoforce Multi

Группа	Масса, г	Сердце	Легкое	Печень	Почки	Селезенка
Контрольная	$200,44 \pm 5,34$	$0,38 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,06$	$4,26 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,02$
1-я опытная	$217,47 \pm 8,41$	$0,34 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,05$	$4,36 \pm 0,06$	$0,75 \pm 0,03$	$0,18 \pm 0,01$
2-я опытная	$214,33 \pm 7,77$	$0,37 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,03$	$4,33 \pm 0,03$	$0,78 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,01$
3-я опытная	$217,00 \pm 9,56$	$0,36 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,03$	$4,21 \pm 0,08$	$0,72 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,01$

При анализе динамики набора живой массы тела грызунов выявлено, что к концу эксперимента она была выше у животных опытных

групп на 6,9–8,5% по сравнению с контрольной группой (рис. 1).

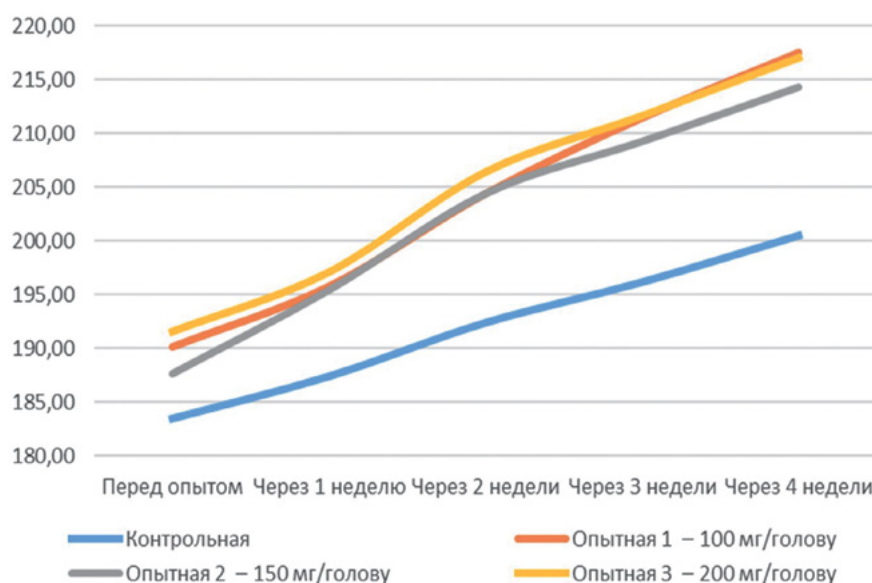


Рис. 1. Прирост живой массы тела лабораторных животных при изучении хронической токсичности добавки кормовой Эндофорс Мульти

Fig. 1. Increase in live body weight of laboratory animals in the study of chronic toxicity of feed additive Endoforce Multi

Подтверждением отсутствия токсичности исследуемой добавки кормовой Эндофорс Мульти послужило определение индексов интоксикации (рис. 2).

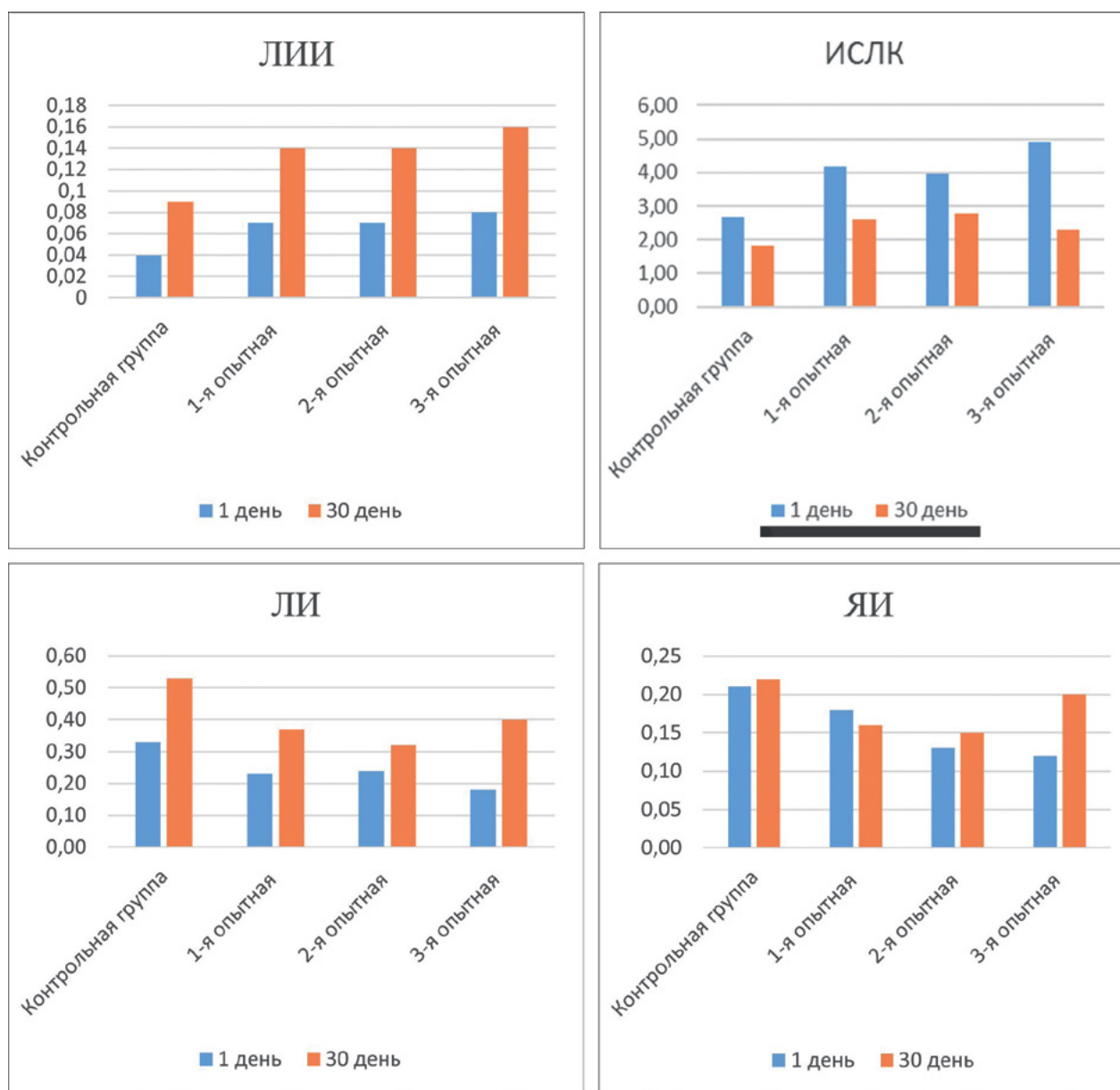


Рис. 2. Интегральные лейкоцитарные индексы при изучении хронической токсичности добавки кормовой Эндофорс Мульти

Fig. 2. Integral leukocyte indices in the study of chronic toxicity of feed additive Endoforce Multi

На протяжении опытного периода определения хронической токсичности добавки кормовой Эндофорс Мульти лейкоцитарная формула в контрольной и опытных группах не показывала картины хронического воспаления. Интенсификация синтеза палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов отразилась на значении лейкоцитарных индексов, кроме ядерного индекса (ЯИ). При расчёте индекса ЛИИ, отражающего процессы тканевой дегенерации и уровня эндогенной интоксикации, выявили незначительное увеличение нейтрофильных лейкоцитов и метамиелоцитов на фоне мини-

мального снижения количества лимфоцитов, моноцитов, эозинофилов как в интактной, так и в опытных группах. Следовательно, незначительный рост значений ЛИИ и ЛИ не является клиническим показателем хронического воспаления. Вариации изменений этих дефляторов в опытных группах лабораторных животных были тождественны таковым контрольных особей.

В завершение исследований выявили тенденцию изменения пула агранулоцитов. На 30-е сутки регистрировали снижение количества лимфоцитов на фоне увеличения клеток моно-

цитарного ряда, которое привело к дигрессии значений индекса ИСЛК в группах лабораторных животных с применением и без применения тестируемой добавки кормовой. Данные изменения подтверждают отсутствие в организме воспалительных процессов и нарушений иммунологической реактивности.

Определяя значения индекса ЯИ, отражающего скорость регенерации и продолжительность циркуляции в кровяном русле моноцитов и нейтрофилов, достоверных отличий по всем группам крыс не зарегистрировали.

ВЫВОДЫ

1. На основании динамики изменений гематологических, биохимических показателей

крови крыс, интенсивности прироста живой массы тела, доли массовых коэффициентов внутренних органов и подсчета интегральных лейкоцитарных индексов установлено, что применяемая в течение длительного времени добавка кормовая Эндофорс Мульти не оказала отрицательного влияния на общее состояние животных.

2. Испытуемая добавка кормовая Эндофорс Мульти не обладает токсигенными свойствами, относится к IV классу опасности «вещества малоопасные» по ГОСТ 12.1.007-76 и может быть рекомендована для клинических испытаний на сельскохозяйственных животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пробиотики* на основе спорообразующих микроорганизмов рода *Bacillus* и их использование в ветеринарии / Л.Ф. Бакулина, И.В. Тимофеев, Н.Г. Перминова [и др.] // Биотехнология. – 2001. – № 2. – С. 48–56.
2. *Осипова И.Г., Сорокулова И.Б., Васильева Е.А.* Споровые пробиотики // Микробиология, эпидемиология и иммунобиология. – 2003. – № 3. – С. 113–119.
3. *Похиленко В.Д., Перелыгин В.В.* Пробиотики на основе спорообразующих бактерий и их безопасность // Химическая и биологическая безопасность. – 2007. – № 32–33 (2–3). – С. 20–41.
4. *Акчурин С.В.* Оценка функционального состояния клеток железистого желудка цыплят при кишечных инфекциях // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2013. – № 2 (18). – С. 13–16.
5. *Улитко В.Е., Лифанова С.П., Ерисанова О.Е.* Повышение стрессоустойчивости коров, их продуктивности и пищевой ценности молока при использовании в рационах антиоксидантных добавок // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2(46). – С. 197–200.
6. *Дежаткина С.В., Зялалов Ш.Р., Мухитов А.З.* Получение органической продукции в молочном скотоводстве путём скармливания натуральных кремнийсодержащих добавок // Аграрная наука. – 2021. – № 2. – С. 45–49.
7. *Дежаткина С.В., Зялалов Ш.Р., Дежаткин М.Е.* Физиологобиохимический статус коров при введении в их рацион кремнийсодержащей добавки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1(53). – С. 170–174.
8. *Влияние аминокислотного комплекса «ВИТААМИН» на биохимические показатели крови мышей* / Ш.Р. Зялалов, М.А. Ильинская, Н.В. Шаронина [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2021. – Т. 246, № 2. – С. 88–93.
9. *Повышение качества молока путём скармливания активированных кремнийсодержащих добавок* / Ю.А. Романова, И.М. Дежаткин, С.В. Дежаткина [и др.] // Проблемы и пути развития ветеринарной и зоотехнической наук: материалы Междунар. науч.-практ. конф. обучающихся, аспирантов и молодых ученых. – Саратов, 2021. – С. 762–768.
10. *Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте: учеб. пособие* / И.П. Западнюк, В.И. Западнюк, Е.А. Захария [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1983. – 383 с.
11. *Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ* / под общ. ред. чл.-корр. РАМН, проф. Р.У. Хабриева. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2005. – 832 с.

12. *ГОСТ 32644-2014* Методы испытания по воздействию химической продукции на организм человека. – М., 2014.
13. *ГОСТ 33216-2014* Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами. – М., 2014.
14. *ГОСТ 33215-2014* Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. – М., 2014.
15. *ГОСТ 34566-2019* Комбикорма полнорационные для лабораторных животных. Технические условия. – М., 2019.
16. *ГОСТ Р 51232-98* Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – М., 2019.
17. Донник И.М., Шкуратова И.А. Молекулярно-генетические и иммуно-биохимические маркеры оценки здоровья сельскохозяйственных животных // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 4. – С. 362–366.
18. Ломако В.В. Влияние разных режимов охлаждения (краниocereбральной и иммерсионной гипотермии, поверхностных ритмических и экстремальных холодовых воздействий) на лейкоцитарные показатели крови крыс // Проблемы криобиологии и криомедицины. – 2018. – № 28 (4). – С. 293–310.
19. Островский, В.К. Мащенко А.В., Янголенко Д.В. Показатели крови и лейкоцитарного индекса интоксикации в оценке тяжести и определении прогноза при воспалительных, гнойных и гнойно-деструктивных заболеваниях // Клиническая лабораторная диагностика. – 2006. – № 6. – С. 128–132.
20. Сидельникова В.И., Черницкий А.Е., Рецкий М.И. Эндогенная интоксикация и воспаление: последовательность реакций и информативность маркеров (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 2. – С. 152–161.
21. Харлап С.Ю., Дерхо М.А., Середа Т.И. Особенности лейкограммы цыплят в ходе развития стресс-реакции при моделированном стрессе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (52). – С. 103–105.

REFERENCES

1. Bakulina L.F., Timofeev I.V., Perminova N.G., Polushkina A.F., Pechorkina N.I., *Biotekhnologiya*, 2001, No. 2, pp. 48–56. (In Russ.)
2. Osipova I.G., Sorokulova I.B., Vasil'eva E.A., *Mikrobiologiya, epidemiologiya i immunobiologiya*, 2003, No. 3, pp. 113–119. (In Russ.)
3. Pokhilenko V.D., Perelygin V.V., *Khimicheskaya i biologicheskaya bezopasnost'*, 2007, No. 32–33 (2–3), pp. 20–41. (In Russ.)
4. Akchurin S.V., *Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii*, 2013, No. 2 (18), pp. 13–16. (In Russ.)
5. Ulit'ko V.E., Lifanova S.P., Erisanova O.E., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2019, No. 2 (46), pp. 197–200. (In Russ.)
6. Dezhatkina S.V., Zyalalov Sh.R., Mukhitov A.Z., *Agrarnaya nauka*, 2021, No. 2, pp. 45–49. (In Russ.)
7. Dezhatkina S.V., Zyalalov Sh.R., Dezhatkin M.E., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 1 (53), pp. 170–174. (In Russ.)
8. Zyalalov Sh.R., Il'inskaya M.A., Sharonina N.V., Dezhatkina S.V., Mukhitov A.Z., *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Bauman*, 2021, Vol. 246, No. 2, pp. 88–93. (In Russ.)
9. Romanova Yu.A., Dezhatkin I.M., Dezhatkina S.V., Akhmetova V.V., *Problemy i puti razvitiya veterinarnoi i zootekhnicheskoi nauk*, (Problems and Ways of Development of Veterinary and Zootechnical Sciences), Conference materials, Saratov, 2021, pp. 762–768. (In Russ.)
10. Zapadnyuk I.P., Zapadnyuk V.I., Zakhariya E.A., Zapadnyuk B.V., *Laboratornye zhivotnye. Razvedenie, soderzhanie, ispol'zovanie v eksperimente* (Laboratory animals. Breeding, maintenance, use in the experiment), Kyiv: Vishcha shkola, 1983, 383 p.

11. *Rukovodstvo po eksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv* (Guidelines for the experimental (preclinical) study of new pharmacological substances), Moscow: Meditsina, 2005, 832 p.
12. *GOST 32644-2014 Metody ispytaniya po vozdeistviyu khimicheskoi produktsii na organizm cheloveka* (Test methods for the effects of chemical products on the human body). (In Russ.)
13. *GOST 33216-2014 Rukovodstvo po sodержaniyu i ukhodu za laboratornymi zhivotnymi. Pravila sodержaniya i ukhoda za laboratornymi gryzunami i krolikami* (Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules for the maintenance and care of laboratory rodents and rabbits). (In Russ.)
14. *GOST 33215-2014 Rukovodstvo po sodержaniyu i ukhodu za laboratornymi zhivotnymi. Pravila oborudovaniya pomeshchenii i organizatsii protsedur* (Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules for equipping premises and organizing procedures). (In Russ.)
15. *GOST 34566-2019 Kombikorma polnoratsionnye dlya laboratornykh zhivotnykh. Tekhnicheskie usloviya* (Complete feed for laboratory animals. Specifications). (In Russ.)
16. *GOST R 51232-98 Voda pit'evaya. Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva* (Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control). (In Russ.)
17. Donnik I.M., Shkuratova I.A., *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2017, Vol. 87, No. 4, pp. 362–366. (In Russ.)
18. Lomako V.V., *Problemy kriobiologii i kriomedsiny*, 2018, No. 28 (4), pp. 293–310. (In Russ.)
19. Ostrovskii V.K., Mashchenko A.V., Yangolenko D.V., *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, 2006, No. 6, pp. 128–132. (In Russ.)
20. Sidel'nikova V.I., Chernitskii A.E., Retskii M.I., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2015, Vol. 50, No. 2, pp. 152–161. (In Russ.)
21. Kharlap S.Yu., Derkho M.A., Sereda T.I., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 2 (52), pp. 103–105. (In Russ.)

РЕЗУЛЬТАТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ ПОЧЕК ДОМАШНИХ КОШЕК НА ТЕРРИТОРИИ СТОЛИЧНОГО МЕГАПОЛИСА

¹**Н.С. Петрова**, практикующий ветеринарный врач

²**В.В. Глебов**, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник

¹*Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, Москва, Россия*

²*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия*

E-mail: rec75@mail.ru

Ключевые слова: хроническая заболеваемость почек, почечная недостаточность, домашние кошки, ультразвуковые исследования, столичный мегаполис.

Реферат. Заболевания почек домашних питомцев – наиболее частая проблема, с которой владельцы обращаются в ветеринарную клинику. С возрастом вероятность заболевания почечными болезнями у домашних кошек повышается. Установлено, что от 20 до 50% домашних кошек старше 15 лет страдают от хронической почечной недостаточности. Изучение хронической болезни почек домашних кошек на территории столичного мегаполиса проводилось нами на базе ветеринарной клиники «Монино». Общая выборка составила 85 кошек, из которых после уточнения диагноза (биохимических анализов) были сформированы экспериментальная ($n = 37$) и контрольная группы ($n = 37$). Последняя по клиническому анализу была отнесена к условно-здоровой группе. Средний возраст здоровых кошек, которые входили в контрольную группу, составил $4,95 \pm 0,22$ года (медиана – 5 лет), а кошек экспериментальной группы с почечной недостаточностью – $8,92 \pm 0,53$ (медиана – 9 лет). Ультразвуковое исследование почек домашних кошек с хронической почечной недостаточностью выявило такие заболевания, как нефрит с частотой встречаемости 32,4%, гломерулонефрит – 27,1, мочекаменная болезнь – 21,6 и пиелонефрит – 18,9%. Частыми клиническими симптомами у домашних кошек были: снижение или отсутствие аппетита – 54,1%, рвота – 32,4, поллакиурия в сочетании со странгурией – 10,8, вялость – 10,8%. Таким образом, УЗИ-диагностика показала высокую информативность по выявлению почечной недостаточности у домашних кошек. Эффективность диагностики достигала 97%. УЗИ-метод зарекомендовал себя как безопасный, безболезненный и комфортный для домашнего питомца при исследовании органов брюшной полости.

RESULTS OF ULTRASONIC STUDY OF CHRONIC KIDNEY DISEASE IN DOMESTIC CATS IN THE TERRITORY OF THE CAPITAL MEGAPOLIS

¹**N.S. Petrova**, Practising veterinarian

²**V.V. Glebov**, PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher

¹*Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia*

²*Institute of Management Problems. V.A. Trapeznikov RAS, Moscow, Russia*

E-mail: rec75@mail.ru

Keywords: chronic kidney disease, renal failure, domestic cats, ultrasound, metropolitan metropolis

Abstract. Kidney disease in pets is the most common problem that pet owners come to the veterinary clinic for. With age, the likelihood of kidney disease in domestic cats increases. It has been found that 20 to 50% of household cats older than 15 suffer from chronic renal failure. The authors studied chronic kidney disease of domestic cats in the metropolitan metropolis at the Monino veterinary clinic. The total sample consisted of 85 cats, of which, after clarification of the diagnosis (biochemical tests), experimental ($n = 37$) and control groups ($n = 37$) were formed. According to clinical analysis, the latter was assigned to a conditionally healthy group. The mean age of healthy cats in the control group was 4.95 ± 0.22 years (median five years), and that of cats in the experimental group with renal insufficiency was 8.92 ± 0.53 (median nine years). Ultrasound examination of the kidneys of domestic cats with chronic renal failure revealed diseases such as nephritis with a frequency of 32.4%, glomerulonephritis - 27.1, urolithiasis - 21.6 and pyelonephritis - 18.9%. Frequent clinical symptoms in domestic cats were: loss or lack of appetite - 54.1%, vomiting - 32.4%, pollakiuria with stranguria - 10.8%, and lethargy - 10.8%. Thus, ultrasound diagnostics showed high information content in detecting renal failure in domestic

cats. The diagnostic efficiency reached 97%. The ultrasound method has established itself as safe, painless and comfortable for a pet when examining the abdominal organs.

В поддержании здорового состояния домашней кошки огромную роль играют почки т.к. они осуществляют контроль и регуляцию артериального давления, вырабатывают и поддерживают на необходимом уровне гормональный комплекс и, наконец, выводят из крови продукты метаболизма [1].

Заболевания почек – наиболее частая проблема, с которой обращаются владельцы со своими питомцами в ветеринарную клинику [2].

Нарушение функции почек (почечная недостаточность) – это один из проблемных аспектов в жизнедеятельности домашних кошек любого возраста. В ветеринарной практике различают острую и хроническую почечную недостаточность (ХПН) [2].

С возрастом вероятность заболевания ХПН у домашних кошек возрастает. Установлено, что от 20 до 50% домашних кошек старше 15 лет страдают от ХПН разной степени. Скорость нарастания изменений ХПН у каждой кошки меняется в широких пределах [2].

ХПН часто возникают при несбалансированном кормлении, нарушении условий содержания кошек, под влиянием генетических факторов и аллергических реакций. Большое значение имеет также активизация условно-патогенной микрофлоры при снижении общей резистентности организма животных [2].

Исследования также показывают, что кошки со свободным выходом на улицу (как это бывает в частных домах и деревнях) имеют более высокие риски развития заболевания как из-за потенциально повышенного воздействия токсинов, поступающих из окружающей среды (близость дороги, заводы, предприятия), так и из-за различных опасных токсичных веществ, которые кошка случайно может съесть [3, 4].

Поэтому вопросы комплексной диагностики, лечения и профилактики почечной недостаточности у мелких домашних животных вызывают значительный интерес исследователей и практикующих ветеринарных врачей. В современной научной литературе встречаются работы, посвященные ранней диагностике и дифференциальной диагностике разных форм почечной недостаточности [5]. В то же время сведения о возрастных и породных особенностях распространения болезней почек у домашних животных в современных условиях городской среды достаточно противоречивы и требуют уточнения и дополнения [6].

Цель исследования – провести ультразвуковое исследование хронической почечной недостаточности домашних кошек на территории столичного мегаполиса и выявить эффективность использования данного метода в клинической практике диагностики почечных заболеваний мелких животных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение хронической болезни почек домашних кошек на территории столичного мегаполиса проводилось на базе ветеринарной клиники «Монино», которая является членом Национальной ветеринарной палаты. Клиника обеспечена самым современным оборудованием, необходимым для оказания квалифицированной помощи домашним животным. В ветеринарной клинике есть свой лабораторный комплекс IDEXX, позволяющий в течение 10–30 мин выполнить практически любой анализ на месте.

Общая выборка исследованных домашних кошек составила 85 особей. После уточнения диагноза (с помощью биохимического анализа) домашние кошки были разделены на экспериментальную группу, куда вошли кошки с заболеваниями почек ($n = 37$), и контрольную группу ($n = 37$), животные которой по клиническим анализам были отнесены к условно-здоровым.

Ультразвуковые исследования проводили на аппарате высокого класса Mindray Vetus 7 (аппаратный комплекс экспертного уровня, в которой встроена технология iFusion – совмещение УЗ-изображения и соответствующего ему среза КТ/МРТ для дальнейшей навигации при интервенционных вмешательствах).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении ХПН домашних кошек обращали внимание на симптомы, отмеченные владельцами, данные о начальных проявлениях заболевания, его продолжительности, характере расстройства мочеотделения и мочеиспускания, уточнялись условия содержания, структура рациона и кратность кормления. Выясняли, наблюдались ли ранее расстройства мочеиспускания.

Таким образом, для диагностики заболеваний домашних кошек проводили сбор анамнеза, пальпацию и осмотр мочевыделительной системы, УЗИ почек и биохимический анализ крови и мочи [7].

Средний возраст здоровых кошек, которые входили в контрольную группу, составил $4,95 \pm 0,22$ года (медиана – 5 лет). Средний возраст домашних кошек на момент постановки диагноза ХБП – $8,92 \pm 0,53$ года (медиана – 9 лет). Таким образом, статистический сравнительный анализ показал значимые различия в

возрасте между животными с ХБП и здоровыми животными ($p < 0,05$), (рис. 1).

Из рисунка видно, что в контрольной группе 17 самцов и 20 самок, а в экспериментальной – 21 самец и 16 самок.

Проведенный статистический сравнительный анализ результатов УЗИ (табл. 1) показал значимые различия между двумя исследуемыми группами.

Анализ карт посещения позволил установить половое распределение животных контрольной и экспериментальной групп (рис. 2).

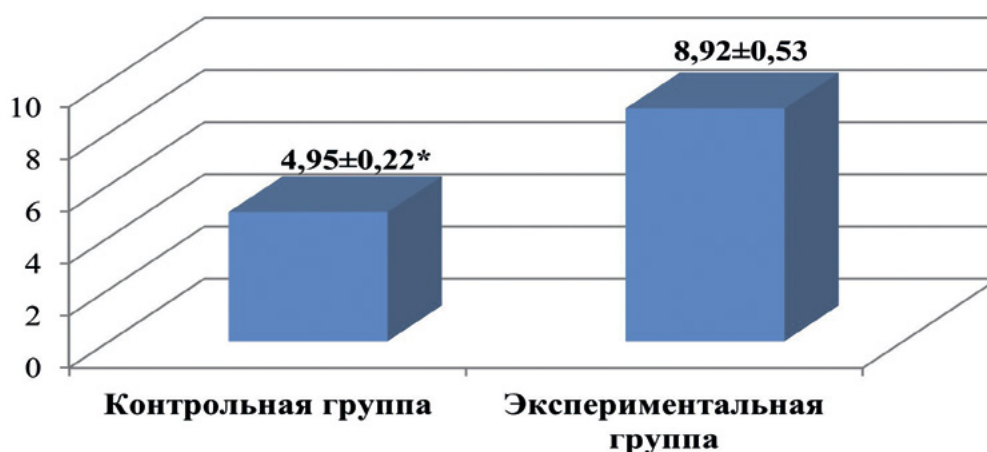


Рис. 1. Распределение по среднему возрасту в контрольной и экспериментальной группах (* $p < 0,05$)

Fig. 1. Distribution by average age in the control and experimental groups (* $p < 0.05$)

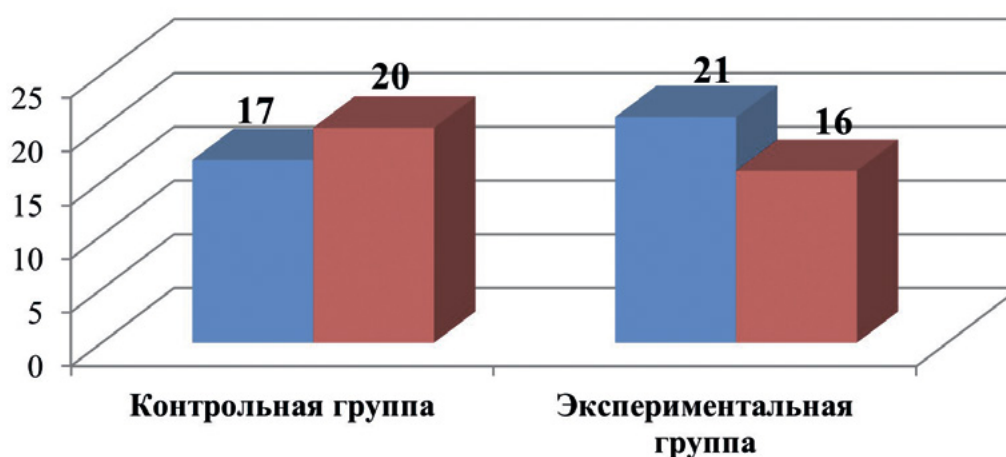


Рис. 2. Распределение домашних кошек по половой принадлежности в экспериментальной и контрольной группах (абсолютные значения)

Fig. 2. Distribution of domestic cats by sex in the experimental and control groups (absolute values)

Таблица 1

Статистический сравнительный анализ данных УЗИ исследуемых групп домашних кошек
Statistical Comparative Analysis of Ultrasound Data from Study Groups of Domestic Cats

Параметры	Референсные значения	Контрольная группа	Экспериментальная группа
Размеры, мм	38–45	40,13±0,13	30,10±0,15*
Толщина паренхимы, мм	3–5	4,71±0,13	4,96±0,15*
Структура паренхимы	Мелкозернистая однородная	Мелкозернистая однородная	Безэховая масса
Почечная кора	Гипоэхогенная и тонкозернистая	Гипоэхогенная и тонкозернистая	Безэховая масса

* $p < 0,05$.

Важно отметить, что ультразвуковое исследование является одним из наиболее эффективных методов выявления почечной недостаточности у кошки. УЗИ – это самый безопасный, безболезненный и точный способ исследования органов брюшной полости (мочевыводящих путей, пищеварительной и репродуктивной си-

стем). Он не причиняет питомцу дискомфорта или стресса [8].

УЗИ-исследование контрольной группы домашних кошек (условно-здоровые) показало на мониторе УЗИ-аппарата нормальную структуру почек (рис. 3).

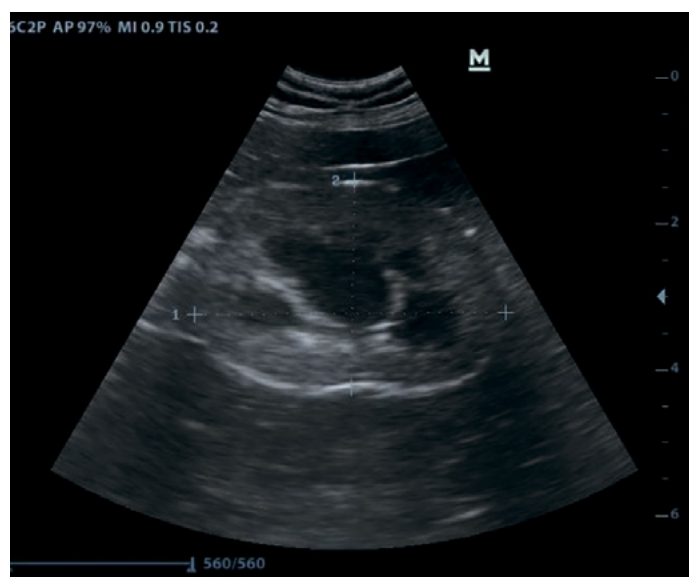


Рис. 3. Нормальная почка домашней кошки

Fig. 3. Normal kidney of a domestic cat

Здоровая почка домашнего животного имеет правильную форму, с четким ровным контуром, кортико-медуллярная дифференциация органа выражена в пределах нормы, исследуемый корковый слой не имеет утолщений, пирамиды органа, лоханка не расширены и не уплотнены, мочеточники не визуализируются [9–11].

При УЗИ экспериментальной группы домашних кошек у 13 (35,14%) домашних кошек выявлена киста (рис. 4).

У 5 (13,5%) домашних кошек этой группы наблюдались структурные изменения в паренхиме почек. У 2 (5,4%) животных обнаружены признаки нефросклероза (рис. 5).

ЭХО-признаки нефрита фиксировали у 12 (32,4%) домашних кошек (рис. 6).

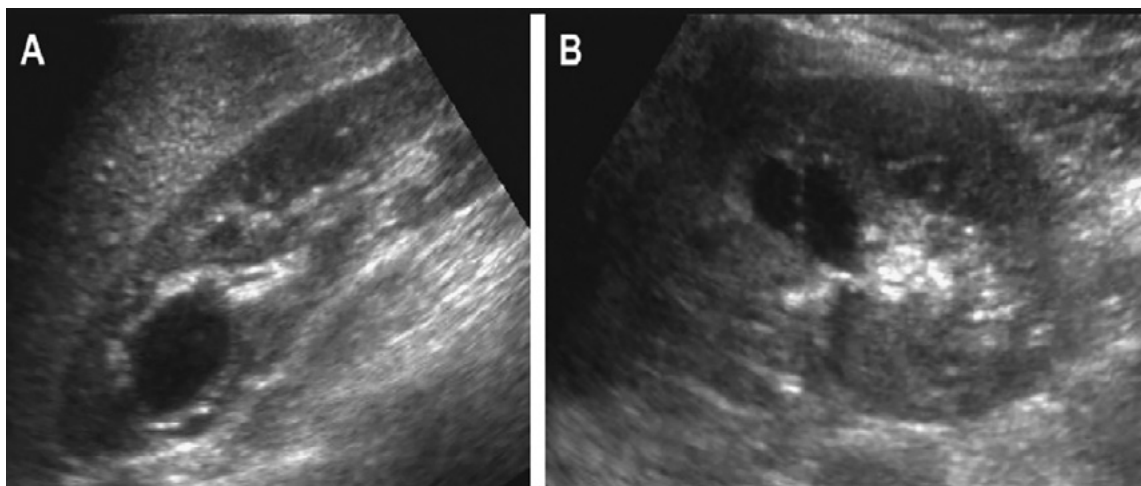


Рис. 4. ЭХО-признаки кисты в почках домашних кошек
Fig. 4. ECHO signs of a cyst in the kidneys of domestic cats



Рис. 5. ЭХО-признаки нефросклероза в почке домашней кошки
Fig. 5. ECHO signs of nephrosclerosis in the kidney of a domestic cat

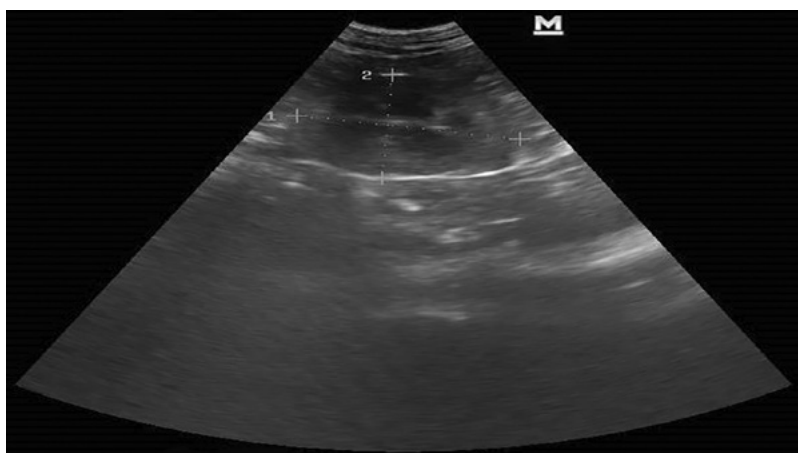


Рис. 6. ЭХО-признаки хронического нефрита у домашней кошки
Fig. 6. ECHO signs of chronic nephritis in a domestic cat

Проведенный анализ данных клинических исследований экспериментальной группы с симптомами ХПН показал высокую диагностическую полезность и информативность УЗИ, эффективность которого, по представленным

результатам и экспертным оценкам, составляет при выявлении почечных болезней у животных до 97%, что подтверждается другими исследователями [12-16]. Общая картина заболеваемости домашних кошек представлена в табл. 2.

Таблица 2

Анализ данных клинических исследований экспериментальной группы домашних кошек с симптомами ХПН
Analysis of data from clinical studies of an experimental group of domestic cats with symptoms of CRI (chronic renal insufficiency)

Болезнь	Клиническая картина, симптомы	Количество особей (%)
Нефрит	Высокая температура тела, снижение аппетита, появление жажды. Давление на область почек и пальпация их в области поясницы вызывают у кошки беспокойство. При осмотре отмечаются отеки живота, межжелудочного пространства, бедер, век. Видимые слизистые оболочки бледные	12 (32,4)
Гломерулонефрит	Болезненность в области спины и поясницы с обеих сторон живота, повышение температуры тела до 40°C и выше, олигурия, красный цвет мочи, протеинурия, появление в моче цилиндров, эпителиальных клеток, повышение содержания в крови альфа- и гамма-глобулинов	10 (27,1)
Мочекаменная болезнь	Кровь в моче, частые позывы к мочеиспусканию, беспокойство, отсутствие аппетита, появление рвоты, область живота при пальпации болезненная	8 (21,6)
Пиелонефрит	Учащение дыхания и пульса, потеря аппетита, истощение, повышение температуры тела. При пальпации в области почек отмечается повышенная чувствительность, при мочеиспускании кошка испытывает боль. Моча содержит серовато-желтоватые, слизисто-гнойные сгустки и кровь	7 (18,9)

Из 37 исследуемых животных экспериментальной группы кошек с симптомами ХПН у 12 кошек установлен нефрит, 10 – гломерулонефрит, 8 – мочекаменная болезнь и 7 – пиелонефрит.

Анамнез владельцев животных экспериментальной группы с ХБП выявил следующие клинические симптомы и их частоту, %:

Снижение или отсутствие аппетита	54,1
Рвота	32,4
Поллакиурия в сочетании со странгурией	10,8
Вялость	10,8
Поллакиурия	5,4
Анурия	5,4
Диарея	5,4
Странгурия	2,7
Затрудненная дефекация	2,7
Полидипсия	2,7
Беспокойство	2,7

Наиболее частыми клиническими симптомами у кошек были (%): снижение или отсутствие аппетита (54,1), рвота (32,4), поллакиурия в сочетании со странгурией (10,8), вялость (10,8). Частота рвоты, со слов владельцев, также была разной: 1 раз в неделю; 1 раз в день; 2 раза в день; до 5 раз в день.

Таким образом, УЗИ почечной системы домашних кошек является важным звеном в диагностике её патологий. Несомненное преимущество УЗИ-метода – это визуализация почек и высокоэффективное определение нормы / патологии. Представленный метод является также безопасным и безболезненным, не причиняющим пациентам дискомфорт и стресс.

ВЫВОДЫ

1. Ультразвуковое исследование является безопасным, безболезненным, комфортным для домашнего питомца и высокоточным методом исследования органов брюшной полости животного. Эффективность диагностики может достигать 97%.

2. Ультразвуковое исследование почек домашних кошек с хронической почечной недостаточностью выявило такие заболевания, как нефрит – с частотой встречаемости 32,4%, гломерулонефрит – 27,1, мочекаменная болезнь – 21,6 и пиелонефрит – 18,9%.

3. Наиболее частыми клиническими симптомами у домашних кошек ХПН были (%): снижение или отсутствие аппетита – 54,1, рвота – 32,4, поллакиурия в сочетании со странгурией – 10,8, вялость – 10,8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Болезнь почек у кошек: симптомы и лечение.* [Электронный ресурс] // Круглосуточная ветеринарная клиника в Москве #вДобрыеРуки: [сайт]. – 2021. – URL: <https://goodhands.vet/blog/stati-po-nefrologii/bolezni-pochek-u-koshek-simptomy-i-lechenie/> (дата обращения: 29.03.2023).
2. *Заболевания почек у кошек.* [Электронный ресурс] // Хиллс Пет Нутришн: [сайт]. – 2020. – URL: <https://www.hillspet.ru/health-conditions/cat/kidney> (дата обращения: 29.03.2023).
3. *Глебов В.В., Плющиков В.Г.* Урбоэкология и мониторинг городской среды. – М., 2021. – 112 с.
4. *Ерофеева В.В., Глебов В.В., Яблочников С.Л.* Экология: учеб. пособие. – Саратов, 2020. – 148 с.
5. *Шамсутдинова Н.В.* Болезни мочевыделительной системы кошек: монография. – Казань: ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ, 2019. – 93 с.
6. *Кирк Р., Бонагура Д.* Современный курс ветеринарной медицины: пер. с англ. – М.: Аквариум-Принт, 2005. – 1376 с.
7. *Рекомендации IRIS по лечению хронической болезни почек (ХБП) у кошек.* [Электронный ресурс] // ООО «Информационно-издательский центр «Зооинформ»: [сайт]. – 2021. – URL: https://zooinform.ru/vete/articles/rekomendatsii_iris_po_lecheniyu_khronicheskoy_bolezni_pochek_khbp_u_koshek/ (дата обращения: 29.03.2023).
8. *УЗИ мочеполовой системы у кошек.* [Электронный ресурс] // ООО «Зоомед»: [сайт]. – 2021. – URL: https://www.zoomed.ru/events_and_training/articles/196/ (дата обращения: 29.03.2023).
9. *Ультразвуковая диагностика (УЗИ).* [Электронный ресурс] // Ветеринарный центр доктора Базилевского: [сайт]. – URL: <https://vet-centre.by/services/ultrasound/ultrazvukovoeissledovanie-pochek/> (дата обращения: 29.03.2023).
10. *Стандартизация ультразвуковых исследований в ветеринарии. УЗИ органов пищеварительной и мочевыделительной систем.* [Электронный ресурс] // Ассоциация практикующих ветеринарных врачей: [сайт]. – 2015–2021. – URL: <https://rsava.org/baza-znaniy/oraznom/standartizaciya-ultrazvukovyh-issledovaniy-v-veterinariy-uzi-organov-pishhevaritelnoj-imochevydelitelnoj-sistem1.html> (дата обращения: 29.03.2023).
11. *Чандлер Э.А., Гаскелл Р.М., Гаскелл К.Дж.* Болезни кошек: Практика ветеринарного врача. – М.: Аквариум-Принт, 2011. – 712 с.
12. *Diagnostic Imaging: Ultrasound of cats with chronic renal disease.* [Electronic resource] // DVM 360: [website]. – URL: <https://www.dvm360.com/view/diagnostic-imaging-ultrasoundcats-with-chronic-renal-disease-not-always-black-and-white> (date of treatment: 29.03.2023).
13. *Chronic Renal Failure / D.J. Polzin, C.A. Osborne, F. Jacobs [et al.] // Ettinger S.J., Feldman E.C., eds. Textbook of Veterinary Internal Medicine Diseases of the Dog and Cat / 5 ed. Philadelphia: W.B. Saunders. 2000. – P. 1634–1661.*
14. *Effect of dietary phosphorus restriction on the kidneys of cats with reduced renal mass / L.A. Ross [et al.] // Am. J. Vet. Res. – 1982. – N 43. – P. 1023–1026.*
15. *Worwag S., Langston C.E.* Acute intrinsic renal failure in cats: 32 cases (1997 – 2004) // J. Am. Vet. Med. Assoc. – 2008. – N 2. – P. 728–732.
16. *Ленкова Н.В., Бабкина Т.Н., Вольф А.В.* Ультрасонографические и патоморфологические изменения при алиментарной лимфоме у кошек // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4. – С. 132–139. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-132-139>.

REFERENCES

1. *Bolezn' pochek u koshek: simptomy i lechenie* (Kidney disease in cats: symptoms and treatment): <https://goodhands.vet/blog/stati-po-nefrologii/bolezn-pochek-u-koshek-simptomy-i-lechenie/> (date of treatment: 29.03.2023). (In Russ)
2. *Zabolevaniya pochek u koshek* (Kidney diseases in cats): <https://www.hillspet.ru/health-conditions/cat/kidney> (date of treatment: 29.03.2023). (In Russ)
3. Glebov V.V., Plushikov V.G., *Urboekologiya i monitoring gorodskoj sredy* (Urban ecology and monitoring of the urban environment), Moscow, 2021, 112 p.
4. Erofeeva, V.V., Glebov, V.V., Yablochnikov S.L., *Ekologiya* (Ecology), Saratov, 2020, 148 p.
5. Shamsutdinova N.V., *Bolezni mochevydelitel'noj sistemy kotov* (Diseases of the urinary system of cats), Kazan': FGBOU VO Kazanskaya GAVM, 2019, 93 p.
6. Kirk R., Bonagura D., *Sovremennyj kurs veterinarnoj mediciny* (Modern course of veterinary medicine), Moscow: Akvarium-Print, 2005, 1376 p.
7. *Rekomendacii IRIS po lecheniyu hronicheskoy bolezni pochek u koshek* (IRIS recommendations for the treatment of chronic kidney disease in cats): https://zooinform.ru/vete/articles/rekomendatsii_iris_po_lecheniyu_khronicheskoy_bolezni_pochek_khbp_u_koshek/ (date of treatment: 29.03.2023). (In Russ)
8. *UZI mocheopolovoj sistemy u koshek* (Ultrasound of the genitourinary system in cats): https://www.zoomed.ru/events_and_training/articles/196/ (date of treatment: 29.03.2023). (In Russ)
9. *Ul'trazvukovaya diagnostika* (Ultrasound diagnostics): <https://vet-centre.by/services/ultrasound/ul'trazvukovoeissledovanie-pochek/> (date of treatment: 29.03.2023). (In Russ)
10. *Standartizaciya ul'trazvukovyh issledovanij v veterinarii. UZI organov pishchevaritel'noj i mochevydelitel'noj sistem* (Standardization of ultrasound examinations in veterinary medicine. Ultrasound of the digestive and urinary systems): <https://rsava.org/baza-znaniy/oraznom/standartizaciya-ul'trazvukovyh-issledovanij-v-veterinarij.-uzi-organov-pishhevaritelnoj-imochevydelitelnoj-sistem1.html> (date of treatment: 29.03.2023). (In Russ)
11. Chandler Je.A., Gaskell R.M., Gaskell K.Dzh., *Bolezni koshek: Praktika veterinarnogo vracha* (Diseases of cats: The practice of a veterinarian), Moscow: Akvarium-Print, 2011, 712 p.
12. Diagnostic Imaging: Ultrasound of cats with chronic renal disease: <https://www.dvm360.com/view/diagnostic-imaging-ultrasoundcats-with-chronic-renal-disease-not-always-black-and-white> (date of treatment: 29.03.2023).
13. Polzin D.J., Osborne C.A., Jacobs F. et al., Chronic Renal Failure, *Ettinger S.J., Feldman E.C., eds. Textbook of Veterinary Internal Medicine Diseases of the Dog and Cat / 5 ed.*, Philadelphia: W.B. Saunders, 2000, pp. 1634–1661.
14. Ross L.A. et al., Effect of dietary phosphorus restriction on the kidneys of cats with reduced renal mass, *Am. J. Vet. Res.*, 1982, No. 43, pp. 1023–1026.
15. Worwag S., Langston C.E., Acute intrinsic renal failure in cats: 32 cases (1997 – 2004), *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2008, No. 2, pp. 728–732.
16. Lenkova N.V., Babkina T.N., Wolf A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, Vol. 4, pp. 132–139. (In Russ.)

МЕЖПОРОДНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХОЛЕСТЕРИНОВОГО ПРОФИЛЯ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

¹Т.В. Коновалова, старший преподаватель

¹О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор

¹В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

²А.Н. Себежко, студент

¹О.А. Зайко, кандидат биологических наук, доцент

¹Е.И. Тарасенко, аспирант

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

E-mail: sebezkonok@ngs.ru

Ключевые слова: липопротеиды высокой плотности (ЛПВП), липопротеиды низкой плотности (ЛПНП), крупный рогатый скот, порода.

Реферат. Изучены основные показатели холестерина профиля липопротеидов высокой плотности (ЛПВП-ХС), липопротеидов низкой плотности (ЛПНП-ХС) и общего холестерина (ОХ) у коров черно-пестрой, красной степной и голштинской пород второй-третьей лактации, разводимых в условиях крупных животноводческих комплексов на территории Западной Сибири. Метаболизм и концентрация липидных комплексов холестерина статуса играют кардинальную роль в гомеостазе клеточных метаболических процессов. Ключевая роль сыровоточных липопротеинов в обмене холестерина общепризнана, как и их роль в качестве предикторов сердечно-сосудистых заболеваний. При этом атерогенное действие ЛПНП-ХС ассоциировано с переносом жирных кислот, выступающих энергетическими субстратами для синтеза АТФ. ЛПВП-ХС характеризуется не только антиатерогенными свойствами, но и оказывают антиоксидантное и противовоспалительное действие. Концентрацию ЛПВП-ХС определяли методом осаждения фосфорновольфрамовой кислотой с хлористым магнием; уровень ЛПНП-ХС – ферментативным колориметрическим прямым методом, общий холестерин – методом ферментативного гидролиза и окисления CHOD-PAP с помощью наборов реактивов «ЛВП-Холестерин-Ново», «ЛНП-Холестерин-Ново-А», «Холестерин-Ново» («Вектор-Бест», Россия). Содержание ОХ и ХС-ЛПНП в сыворотке крови коров в возрасте второй-третьей лактации, разводимых на территории Западной Сибири, выше общепринятых нормативных значений, что отражает разную степень адаптации к климатическим условиям. Ранжированный ряд пород ($p < 0,05$) по ХС-ЛПНП: черно-пестрая → голштинская → красная степная, медианы составили 4,91; 2,77 и 2,24 ммоль/л соответственно. Установлены различия между показателями ХС-ЛПВП и ХС-ЛПНП у коров черно-пестрой, красной степной и голштинской пород, что свидетельствует о генетической детерминации уровня липопротеидов в сыворотке крови. Сила влияния фактора породной принадлежности коров на уровень содержания ХС-ЛПВП в сыворотке крови составила 29 %, ХС-ЛПНП – 17%.

INTERBREED DIFFERENCES IN THE CHOLESTEROL PROFILE IN CATTLE IN WESTERN SIBERIA

¹O.I. Sebezko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

¹T.V. Konovalova, Senior Lecturer

¹O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor

¹V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

²A.N. Sebezko, Student

¹O.A. Zaiko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

¹E.I. Tarasenko, PhD student

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

E-mail: sebezkonok@ngs.ru

Keywords: high-density lipoproteins (HDL), low-density lipoproteins (LDL), cattle, breed.

Abstract. The authors studied the leading indicators of the cholesterol profile of high-density lipoproteins (HDL-C), low-density lipoproteins (LDL-C) and total cholesterol (TC) in Black-and-White, Red Steppe and Holstein breeds of the second or third lactation, bred in large livestock farms—complexes on the territory of Western Siberia. Metabolism and concentration of lipid complexes of cholesterol status play a cardinal role in the homeostasis of cellular metabolic processes. The critical role of serum lipoproteins in cholesterol metabolism is well recognised, as is their role as predictors of cardiovascular disease. At the same time, the atherogenic effect of LRN-C is associated with the transfer of fatty acids, which act as energy substrates for ATP synthesis. Anti-atherogenic properties characterise HDL-C and have an antioxidant and anti-inflammatory effect. The concentration of HDL-C - was determined by the precipitation method of phosphotungstic acid with magnesium chloride; the level of LDL-C - by the enzymatic colourimetric direct method, total cholesterol - by the process of enzymatic hydrolysis and oxidation of CHOD-PAP using reagent kits “HDL-Cholesterol-Novo”, “LDL-Cholesterol-Novo-A”, “Cholesterol-Novo” (“Vector-Best, Russia. The content of OH and LDL-C in the blood serum of cows at the age of the second or third lactation bred in Western Siberia is higher than the generally accepted standard values, which reflects a different degree of adaptation to climatic conditions. Ranked series of breeds ($p < 0.05$) according to LDL-C: black-and-white → Holstein → red steppe, medians were 4.91; 2.77 and 2.24 mmol/l, respectively. Differences between the indicators of HDL-C and LDL-C in Black-and-White, Red Steppe and Holstein cows were established, which indicates the genetic determination of the level of lipoproteins in the blood serum. The strength of the influence of the cow breed factor on the level of HDL-C in blood serum was 29%, LDL-C - 17%.

Показатели липидов, такие как общий холестерин (ОХ), липопротеиды низкой плотности (ХС-ЛПНП) и липопротеиды высокой плотности (ХС-ЛПВП), отражают холестериновый компонент липопротеиновых частиц и представляют собой сложные смеси фосфолипидов, сфинголипидов, свободного холестерина, эфиров холестерина и триглицеридов [1–3].

Реакции обмена холестерина являются составной частью поддержания гомеостаза организма и имеют общебиологическое значение [4–6]. Холестерин выступает в роли важнейшего структурного компонента всех биомембран, предшественником желчных кислот, стероидных гормонов надпочечников, половых гормонов, витамина D₃ [7–10]. Особую роль играет холестерин в обменных процессах нервной системы [11]. Продукция холестерина выступает лимитирующим фактором роста нервных отростков [12]. При этом все аспекты обмена липидов холестеринового профиля являются социально значимыми, поскольку выступают независимыми предикторами риска сердечно-сосудистых заболеваний [13–16].

Липиды транспортируются через плазму в виде липопротеинов для обмена между печенью, кишечником и периферическими тканями [17–19]. Их состав и количество отражают основные метаболические процессы, на которые влияют паратипические и генетические факторы [20–22]. Данные, полученные в результате эпидемиологических, популяционных, в том числе групповых семейных исследований и исследований близнецов, дают убедительные доказательства вклада генетической компоненты

в вариативность показателей холестеринового профиля [23–25].

Ещё в 1997 г. в работе Н. Knoblauch et al. [23] на 172 парах близнецов была показана наследуемость концентраций липидов крови от 58 до 66 %. В более поздних работах на близнецах Е. L. Goode et al. [24], J. J. Hottenga et al. [25] продемонстрировано влияние наследственности от 46 до 64 %.

Оценки наследуемости фенотипов, ассоциированных с показателями холестеринограммы, варьируют от 20 до 70% при предполагаемом общем генетическом эффекте в зависимости от пола [26–28] и породы крупного рогатого скота [29].

Многочисленные научные публикации последних лет, посвящённые изучению липидома у человека, отражают высокую степень его наследуемости. В исследовании американцев мексиканского происхождения с сердечно-сосудистыми заболеваниями из 42 больших семей показано, что 319 видов липидов в значительной степени наследуются со средним значением наследуемости 0,37 [30]. В более поздней работе на 2181 человеке R. Tabassum et al. [31] оценили наследуемость на основе SNP для 141 вида липидов в диапазоне от 0,10 до 0,54. Кроме того, А. Demirkan et al. [32], сосредоточив своё внимание на 90 видах липидов плазмы, в генетическом корреляционном анализе на нидерландской популяции показали возможность классификации липидов по двум категориям: группа молекул, которые генетически коррелируют как с ЛПНП-ХС, так и с ЛПВП-ХС, и вторая группа молекул, которые

специфически коррелируют только с ЛПНП-ХС.

В области зоотехнии основные вопросы, посвященные оценке содержания и изменчивости липидов, сосредоточены на проблемах синдрома дефицита холестерина у голштинов [33–41], состава и наследуемости жирных кислот в жировой ткани или молоке [42–44] у мясных или молочных пород крупного рогатого скота [45–47], а также различий в липидных профилях между эмбрионами крупного рогатого скота с разной кинетикой развития, полученными *in vivo* [48, 49].

Метаболизм глюкозы и липидов у крупного рогатого скота отличается от метаболизма животных с моногастрием, таких как хорошо изученные лабораторные животные или человек, а роль генетических факторов в регуляции уровня липидов крови у коров изучена недостаточно. Поэтому исследования, направленные как на уточнение, так и на расширение нашего понимания генетических детерминант уровней циркулирующих в крови липидных метаболитов, имеют актуальное значение.

Целью нашей работы была оценка межпородных различий основных показателей холестерина профиля у коров разных пород, разводимых в условиях Западной Сибири. Для этого было необходимо рассчитать средние значения, рассмотреть изменчивость и оценить влияние фактора породы на содержание липопротеидов высокой плотности, липопротеидов низкой плотности и общего холестерина у черно-пестрых, красных степных и голштинских коров.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования были коровы черно-пестрой, голштинской и красной степной пород второй лактации, разводимые в условиях крупных животноводческих комплексов, расположенных на территории Западной Сибири.

Условием включения в экспериментальные группы было отсутствие заболеваний у животных. Скот находился в надлежащих условиях согласно Ветеринарным правилам содержания крупного рогатого скота в целях его воспроизводства, выращивания и реализации (приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21.10.2020 № 622).

Концентрацию ЛПВП определяли методом осаждения фосфорно-вольфрамовой кислотой с хлористым магнием; уровень ЛПНП – ферментативным колориметрическим прямым методом, общий холестерин – методом ферментативного гидролиза и окисления CHOD-

РАР с использованием холестеролэстеразы, холестеролоксидазы и пероксидазы с помощью наборов реактивов «ЛВП-Холестерин-Ново», «ЛНП-Холестерин-Ново-А», «Холестерин-Ново», («Вектор-Бест», Россия). Измерение абсорбции проводилось на фотометре Photometer 5010V5+ (ROBERTRIELE GmbH & Co KG, Германия).

В районах разведения животных при длительном мониторинге почв, воды, кормов а также тканей и органов крупного рогатого скота не выявлено превышения ПДК по содержанию макро- и микроэлементов, тяжёлых металлов и радионуклидов [30–33].

Распределения полученных данных по концентрации изучаемых показателей холестерина профилей были оценены на нормальность с использованием графического метода QQ-Plots и теста Шапиро-Уилка. При нормальном распределении применяли параметрические статистические методы. В иных случаях проводилась предварительная обработка данных логарифмированием. При получении нормальных распределений расчёт средних величин и показателей изменчивости проводили с обратным log-трансформированием. Если после логарифмирования нормальные распределения не были получены, использовали медиану (Me), квартили (Q1 и Q3), межквартильный интервал (IQR), вариационный размах. Гомоскедастичность дисперсий подтверждали с помощью теста Бартлетта.

При оценке межпородных различий в зависимости от характера распределения признака применялся однофакторный дисперсионный анализ или критерий Краскела-Уоллеса как альтернативный непараметрический аналог. В качестве теста для оценки величины эффекта использовали η^2 , рассчитываемый при нормальном распределении по формуле $\eta^2 = SS_{\text{в}} / SS_{\text{т}}$, где $SS_{\text{в}}$ – межгрупповая сумма квадратов; $SS_{\text{т}}$ – общая сумма квадратов; при распределении отличным от нормального – по формуле $\eta^2 = (H - k + 1) / (n - k)$, где H – статистика Краскела-Уоллеса; k – количество групп сравнения. Апостериорные сравнения проводили с помощью критерия Тьюки после дисперсионного анализа, тест Данна с поправкой Холма – после применения критерия Краскела-Уоллеса. Вычисления производили в среде анализа данных R studio.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка характера распределения изучаемых показателей холестеринаограммы пока-

зала, что содержание ЛПВП, ЛПНП и общего холестерина у коров черно-пестрой породы и общего холестерина и ЛПНП у коров голштинской породы соответствовало нормальному

распределению Гаусса. В остальных случаях распределения признаков отличались от нормального (рисунок).

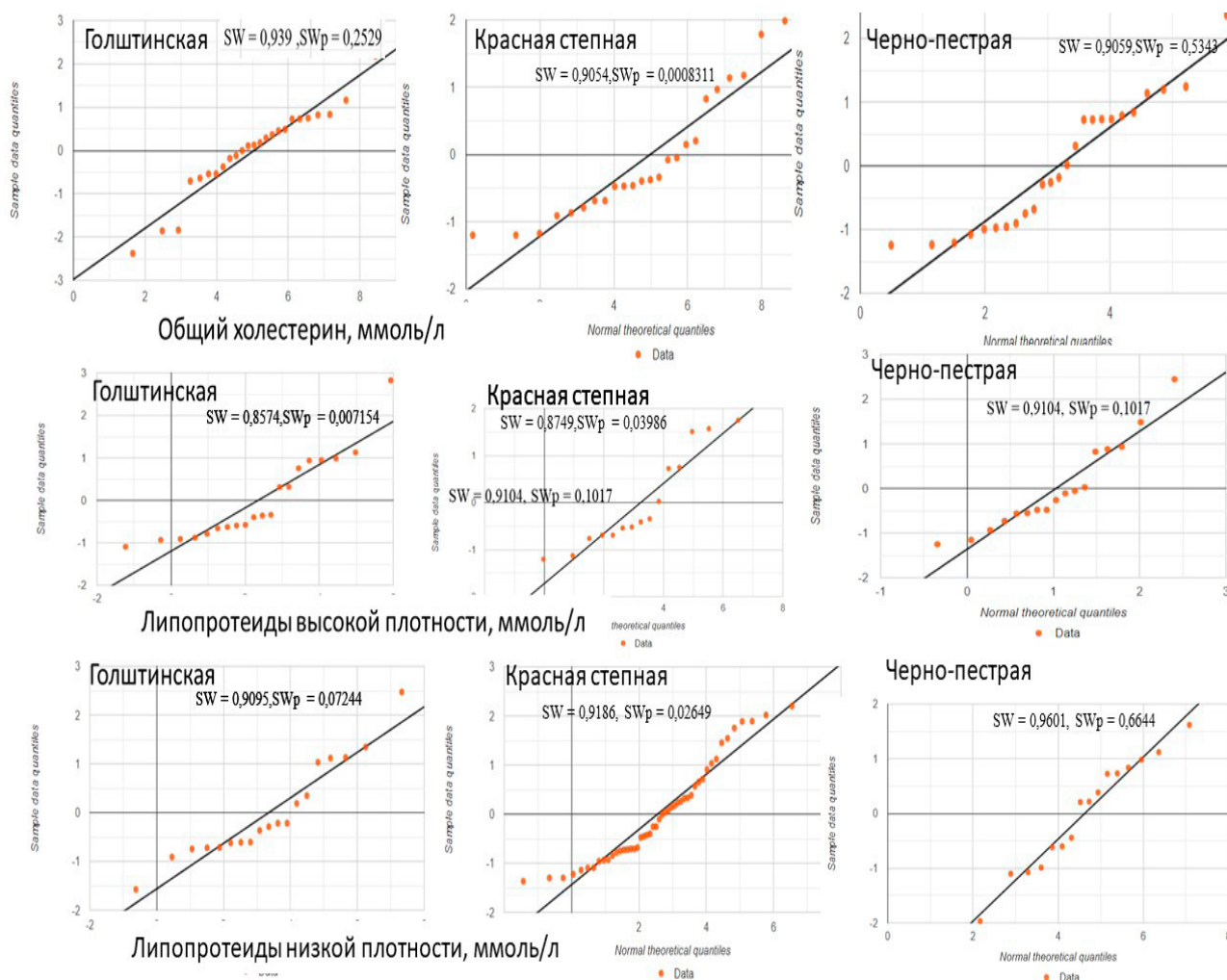


Диаграмма квантильного распределения QQ-Plots показателей холестерограммы у коров разных пород Западной Сибири:

SW – критерий Шапиро-Уилка; SWp – уровень значимости критерия Шапиро-Уилка (при SWp > 0,05 распределение признака нормальное)

QQ-Plots diagram of the quantile distribution of cholesterologram indicators in cows of different breeds of Western Siberia:

SW - Shapiro-Wilk test; SWp - significance level of the Shapiro-Wilk test (when SWp > 0.05, the distribution of the trait is normal)

На этапе предварительной обработки данных проводили логарифмическое преобразование, которое позволило добиться нормального распределения для всех показателей, кроме содержания ЛПНП у коров красной степной и голштинской пород (табл. 1).

В табл. 2 представлены результаты анализа содержания ЛПВП, ЛПНП и общего холестерина у коров. Для данных, полученных в выборках с ненормальным распределением и подвергавшимся логарифмированию, было проведено обратное log-трансформирование.

Таблица 1

Результаты тестирования на нормальность распределения логарифмированных значений показателей холестеринogramмы коров
The results of testing for the normality of the distribution of logarithmic values of cows' cholesterologram indicators

Показатель	ЛПВП	ЛПНП	ОХ
<i>Черно-пестрая порода</i>			
Критерий Шапиро-Уилка	0,9516	0,9207	0,9566
p-value	0,4822	0,1731	0,06887
<i>Красная степная порода</i>			
Критерий Шапиро-Уилка	0,9767	0,9361	0,9389
p-value	0,4348	0,01716	0,229
<i>Голитинская порода</i>			
Критерий Шапиро-Уилка	0,9644	0,7748	0,9591
p-value	0,6341	0,0005039	0,5266

Примечание. При p-value $\geq 0,05$ – нормальное распределение признака.

Note. With a p-value ≥ 0.05 , the trait is usually distributed.

Таблица 2

Содержание и изменчивость показателей холестеринogramмы у коров разных пород Западной Сибири, ммоль/л
Content and variability of cholesterol parameters in cows of different breeds of Western Siberia, mmol/l

Показатель	$\bar{x} \pm Sx$	Me	Lim	σ	Q1	Q3	IQR	Cv, %
<i>Черно-пестрая порода</i>								
ЛПВП	1,03 $\pm$ 0,18	0,84	0,12–2,81	0,73	0,62	1,63	1,01	70,87
ЛПНП	4,63 $\pm$ 0,33	4,91	2,03–6,76	1,32	3,56	5,66	2,1	28,51
ОХ	5,69 $\pm$ 0,22	5,91	3,86–7,78	0,29	4,93	6,31	1,38	5,09
<i>Красная степная порода</i>								
ЛПВП	2,31 $\pm$ 0,42	2,42	0,48–6,35	1,68	1,66	3,29	1,63	72,1
ЛПНП		2,24	0,19–6,35		1,24	3,61	2,37	
ОХ	4,69 $\pm$ 0,22	4,48	2,17–10,05	1,52	3,38	6,89	3,51	32,41
<i>Голитинская порода</i>								
ЛПВП	1,76 $\pm$ 0,50	1,65	0,35–7,51	2,25	1,01	3,89	2,88	12,78
ЛПНП	3,35 $\pm$ 0,47	2,77	0,12–8,42	2,05	1,98	4,76	2,79	61,19
ОХ	5,62 $\pm$ 0,47	4,88	2,14–10,46	2,23	3,78	8,85	3,07	39,68

Примечание. $\bar{x}$ – средняя арифметическая; Sx – ошибка средней арифметической; Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q3 – третий квартиль; IQR – межквартильный размах; Cv – коэффициент вариации.

Note. $\bar{x}$ – arithmetic mean; Sx – is the error of the arithmetic mean; Me – is the median; Q1 – is the first quartile; Q3 – is the third quartile; IQR – interquartile range; Cv – is the coefficient of variation.

Поскольку логарифмирование данных позволило получить нормальное распределение для ЛПВП у всех оцениваемых пород крупного рогатого скота, межпородные различия по данному показателю были оценены с помо-

щью однофакторного дисперсионного анализа (табл. 3).

Равенство дисперсий подтверждали с помощью теста Бартлетта. Статистика $B = 5,62677$, $p\text{-value} = 0,06000$ (при $p < 0,05$ дисперсии неоднородны).

Таблица 3

Влияние фактора породы на уровень ЛПВП в крови коров
Influence of the breed factor on the level of HDL in the blood of cows

Вариация признака	SS	df	Средний квадрат	F	p-value
Между группами	14,6923	2	7,3461	16,6961	0,0000008 *
Внутри групп	36,5194	83	0,4400		
Итого	51,2117	85	0,6025		

Примечание. df – степени свободы; SS – сумма квадратов; F – критерий Фишера.

* $p < 0,05$ – статистически значимые различия.

Note. df - is the degree of freedom; SS - is the sum of squares; F – is the Fisher criterion.

* $p < 0.05$ – statistically significant differences.

Рассчитанная величина $\eta^2 = 0,29$ отражает силу влияния фактора породы на содержание ЛПВП в сыворотке крови коров.

Уровень ЛПВП в сыворотке крови коров

черно-пестрой породы был на 0,77 ммоль/л ниже в сравнении с коровами голштинской породы и на 1,53 ммоль/л – в сравнении с коровами красной степной породы (табл. 4).

Таблица 4

Попарные сравнения уровня ЛПВП и ЛПНП у коров разных пород
Pairwise comparisons of HDL and LDL levels in cows of different breeds

Сравниваемые породы	Статистика теста Тьюки для ЛПВП	p теста Тьюки	Статистика теста Дана для ЛПНП	p теста Дана
Голштинская – красная степная	0,42	0,26960000	15.0813	0,2203
Голштинская – черно-пестрая	0,5222	0,00120200*	18.641	0,026*
Красная степная – черно-пестрая	0,4456	0,00000038 *	16.0384	0,000184*

* $p < 0,05$ – статистически значимые различия.

* $p < 0.05$ - statistically significant differences.

В связи с тем, что логарифмирование данных не привело к нормальному распределению по содержанию уровня ЛПНП в сыворотке крови коров красной степной и голштинской пород (см. табл. 1), было принято решение оценить влияние породного фактора на уровень ЛПНП с помощью непараметрического однофакторного дисперсионного анализа – Kruskal-Wallis test ($N = 15,8368$, $df = 2$, $p = 0,000364^*$).

При использовании Kruskal-Wallis test установлено, что на концентрацию ЛПНП в сыворотке крови коров влияет породная принадлежность ($p\text{-value} < 0,05$). Рассчитанная величина эффекта η^2 достаточно велика и составляет

0,17. Это указывает на то, что наблюдаемая разница между исследуемыми породами коров по уровню ЛПНП в крови достаточно велика.

Попарные апостериорные сравнения с помощью post-hoc теста Дана позволяют установить, между животными каких пород существуют различия по уровню ЛПНП в сыворотке крови (см. табл. 4). Уровень ЛПНП был выше у коров черно-пестрой породы на 1,68 ммоль/л в сравнении с животными голштинской породы ($p < 0,05$) и на 2,39 ммоль/л в сравнении с красной степной породой ($p < 0,05$).

Установленные нами средние значения ХС-ЛПВП у коров исследованных пород соотно-

сится с данными многих других научных групп [53, 54]. При этом во всех исследуемых нами популяционных группах средние показатели ХС-ЛПНП значительно выше, чем отмечают другие исследователи [53–60].

В отличие от жирных кислот, концентрация которых в большинстве случаев обусловлена наследственными механизмами, наблюдаемая изменчивость уровня общего холестерина и его фракций связана со множеством паратипических и генетических факторов. Влиянию паратипических факторов на оцениваемые показатели холестеринотраграммы посвящено достаточное количество исследований. В большинстве случаев авторы указывают на заболелания, возраст животных, физиологический

период [53, 55, 56]. Так, С.В. Васильева [57], описывает взаимосвязь содержания ОХ, ЛПНП, ЛПВП с периодом лактации. Другие авторы указывают на стельность [58].

Возможно, в силу превалирования перечисленных причин нами не установлено влияние фактора породы на уровень ОХ. При проведении однофакторного дисперсионного анализа по оценке межпородных различий по содержанию ОХ равенство дисперсий подтверждали с помощью теста Бартлетта. Статистика $B = 0,32797$, $p\text{-value} = 0,84875$ (при $p < 0,05$ дисперсии неоднородны). Статистически значимых различий по данному показателю не установлено (табл. 5).

Таблица 5

Влияние фактора породы на уровень общего холестерина в крови коров
Influence of the breed factor on the level of total cholesterol in the blood of cows

Вариация признака	SS	df	Средний квадрат	F	p-value
Между группами	0,5874	2	0,2937	2,0334	0,1371
Внутри групп	12,4215	86	0,1444		
Итого	13,0089	88	0,1478		

Примечание. df – степени свободы; SS – сумма квадратов; F – критерий Фишера.

* $p < 0,05$ – статистически значимые различия.

Note. df is the degree of freedom; SS - is the sum of squares; F – is the Fisher criterion.

* $p < 0.05$ - statistically significant differences.

Большинство отечественных и зарубежных авторов [53–61] при исследовании ОХ в сыворотке крови крупного рогатого скота указывают более низкие значения в сравнении с полученными нами у коров черно-пестрой породы в динамике лактации. Так, в работе А.П. Курдеко, Е.А. Сологуб [56] у коров черно-пестрой породы в динамике лактации уровень ОХ возрастал от $2,050 \pm 0,101$ до $3,930 \pm 0,189$ ммоль/л. В.И. Еременко [58] представлены данные об уровне ОХ на уровне от $3,00 \pm 0,20$ ммоль/л у монбельярдоров до $3,30 \pm 0,28$ ммоль/л у скота породы джерси, $3,30 \pm 0,30$ и $3,10 \pm 0,25$ ммоль/л у красно-пестрой породы. В работе С.В. Васильевой [57] у лактирующих коров голштинской породы показано, что уровень ОХ варьировал от $2,60 \pm 0,20$ до концентраций, схожих с нашими, – $5,09 \pm 0,36$ ммоль/л, при этом отмечено повышение ОХ по ходу лактации с максимумом на 5-м месяце [57]. Н.Ю. Сафина и др. [59] описывают уровень ОХ у коров голштинской породы отечественной селекции, разводимых на территории Республики Татарстан, в диапазоне от $4,02 \pm 0,04$ до $4,72 \pm 0,06$ ммоль/л. И.Ф. Горлов и др. [60] отмечают у быков калмыцкой и монгольской пород ОХ на уровне

$4,03 \pm 0,59$ и $4,53 \pm 0,76$ ммоль/л соответственно. Т. Mock et al. [61] указывают в качестве нормативных концентраций холестерина диапазон $1,20\text{--}3,84$ ммоль/л. Таким образом, для исследуемых коров, разводимых на территории Западной Сибири, формируются достаточно специфические холестеринотраграммы, характеризующиеся повышенным содержанием ОХ и ХС-ЛПНП. Вероятно, активация нейро-эндокринной системы под влиянием климатических условий Западной Сибири активирует ферменты липолиза, что ведёт к увеличению в сыворотке крови холестерина и его фракций, что носит адаптационный характер, поскольку ЛПНП переносят жирные кислоты, выступающие субстратом для выработки клетками энергии и синтеза АТФ.

Концентрации таких сложных молекулярных классов липидов, как ХС-ЛПНП, ХС-ЛПВП, ОХ, содержащих в своём составе множество отдельных молекулярных видов, чувствительны и специфичны к нескольким факторам, которые могут влиять на риск дислипидемии, таким как генетическая изменчивость, воздействие окружающей среды, физиологический период, возраст, функция

иммунной системы и стресс самой различной этиологии. Измерение уровней циркулирующих липопротеидов у разных пород, с учётом климато-географических и экологических условий разведения, даёт большие возможности для характеристики взаимодействий организма животного и окружающей среды и сложных фенотипов, таких как порода.

ВЫВОДЫ

1. Установлены различия между показателями ЛПВП-ХС и ЛПНП-ХС у коров черно-пестрой, красной степной и голштинской пород, что свидетельствует о генетической детерминации уровня липопротеидов в сыво-

ротке крови. Сила влияния фактора породной принадлежности коров на уровень содержания ХС-ЛПВП в сыворотке крови составила 29 %, ХС-ЛПНП – 17%.

2. Содержание ОХ и ХС-ЛПНП в сыворотке крови коров в возрасте 2-3-й лактации, разводимых на территории Западной Сибири, выше общепринятых нормативных значений, что отражает разную степень адаптации к климатическим условиям. Ранжированный ряд пород ($p < 0,05$) по ХС-ЛПНП: черно-пестрая → голштинская → красная степная, медианы которого составили 4,91; 2,77 и 2,24 ммоль/л соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mundra P. A., Shaw J. E., Meikle P. J.* Lipidomic analyses in epidemiology // *International journal of epidemiology*. – 2016. – Vol. 45, N 5. – P. 1329–1338.
2. *Plasma lipid profiling in a large population-based cohort [S] / J.M. Weir [et al.]* // *Journal of lipid research*. – 2013. – Vol. 54, N 10. – P. 2898–2908.
3. *Glucagon attenuates lipid accumulation in cow hepatocytes through AMPK signaling pathway activation / Y. Li [et al.]* // *Journal of Cellular Physiology*. – 2019. – Vol. 234, N 5. – P. 6054–6066.
4. *Evolution of the cholesterol biosynthesis pathway in animals / Tingting Zhang, Dongwei Yuan, Jun Xie [et al.]* // *Molecularly Biology and Evolution*. – 2019. – Vol. 36, N 11. – P. 2548–2556.
5. *Alphonse P.A., Jones P.J.* Revisiting Human Cholesterol Synthesis and Absorption: The Reciprocity Paradigm and its Key Regulators // *Lipids*. – 2016. – N 51. – P. 519–536.
6. *Липидный статус овцематок романовской породы на юге Западной Сибири / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, Е.И. Тарасенко, Е.А. Климанова* // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36, N 7. – С. 71–76. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71.
7. *Cholesterol sensing, trafficking, and esterification / T. Chang, C. Chang, N. Ohgami [et al.]* // *The Annual Review of Cell and Developmental Biology*. – 2006. – N 22. – P. 129–157.
8. *Метаболизм холестерина в макрофагах / А.В. Хотина, В.Н. Сухоруков, Д.А. Каширских [и др.]* // *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. – 2020. – Т. 9, N 2. – С. 91–101.
9. *Иванченкова Р.А., Гаценко В.П., Атькова Е.Р.* Генетические аспекты желчеобразования // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. – 2009. – N 3. – С. 56–63.
10. *Референсные интервалы показателей холестеринного профиля у овцематок романовской породы в условиях Кемеровской области / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, А.Н. Себежко [и др.]* // *Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 7–8 дек. 2022 г.* – Кемерово: Кузбас. гос. с.-х. акад., 2022. – С. 273–279.
11. *George K.S., Wu S.* Lipid raft: A floating island of death or survival // *Toxicology and applied pharmacology*. – 2012. – Vol. 259. – P. 311–309.
12. *Петров А.М., Касимов М.Р., Зефирова А.Л.* Метаболизм холестерина мозга и его нарушения: связь с нейродегенерацией и синаптической дисфункцией // *Acta Naturae* (русскоязычная версия). – 2016. – Т. 8, № 1 (28). – С. 64–80.
13. *Low-density lipoproteins cause atherosclerotic cardiovascular disease. 1. Evidence from genetic, epidemiologic, and clinical studies. A consensus statement from the European Atherosclerosis Society Consensus Panel / B.A. Ference [et al.]* // *European heart journal*. – 2017. – Vol. 38, N 32. – С. 2459–2472.

14. *Plasma lipidomic profiles improve on traditional risk factors for the prediction of cardiovascular events in type 2 diabetes mellitus* / Z.H. Alshehry [et al.] // *Circulation*. – 2016. – Vol. 134, N 21. – P. 1637–1650.
15. *Plasma ceramides, Mediterranean diet, and incident cardiovascular disease in the PREDIMED trial (Prevencion con Dieta Mediterranea)* / D.D. Wang [et al.] // *Circulation*. – 2017. – Vol. 135, N 21. – P. 2028–2040.
16. *Rudel L.L., Lee R.G., Parini P. ACAT2 Is a Target for Treatment of Coronary Heart Disease Associated With Hypercholesterolemia* // *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. – 2005. – N 25. – P. 1112–1118.
17. *Современные аспекты метаболизма холестерина у крупного рогатого скота* / О.И. Себежко, К.Н. Нарожных, О.С. Короткевич [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 2 (59). – С. 91–105. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-91-105.
18. *Хапалюк А.В. Атеросклероз и статины* // *Лечебное дело: научно-практический терапевтический журнал*. – 2021. – № 3. – С. 13–23.
19. *Особенности метаболического статуса коров голштинской породы с высоким уровнем продуктивности в период лактации* / Д.А. Александрова, О.И. Себежко, А.В. Ковалев, И.Н. Морозов // *Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. VI Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 20 дек. 2021 г.* – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 249–251.
20. *Comprehensive genetic analysis of the human lipidome identifies loci associated with lipid homeostasis with links to coronary artery disease* / G. Cadby [et al.] // *Nature communications*. – 2022. – Vol. 13, N 1. – P. 3124.
21. *Efficacy and safety of low levels of low-density lipoprotein cholesterol: trans-ancestry linear and non-linear Mendelian randomization analyses* / H. Liu [et al.] // *European Journal of Preventive Cardiology*. – 2023. – Vol. 09. – P. zwad111.
22. *Изменчивость некоторых биохимических показателей у голштинизированных черно-пестрых коров Западной Сибири* / О.И. Себежко, Д.А. Александрова, А.В. Ковалев, И.Н. Морозов // *Модернизация аграрного образования: сб. науч. тр. по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф., Томск, 14 дек. 2021 г.* – Томск; Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 1135–1138.
23. *Heritability analysis of lipids and three gene loci in twins link the macrophage scavenger receptor to HDL cholesterol concentrations* / H. Knoblauch [et al.] // *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* – 1997. – Vol. 17. – P. 2054–2060.
24. *Heritability of longitudinal measures of body mass index and lipid and lipoprotein levels in aging twins* / E.L. Goode [et al.] // *Twin Res Hum Genet.* – 2007. – Vol. 10, N 5. – P. 703–711. – DOI: 10.1375/twin.10.5.703.
25. *Heritability and stability of resting blood pressure* / J.J. Hottenga, D.I. Boomsma, N. Kupper [et al.] // *Twin Res Hum Genet.* – 2005. – Vol. 8, N 5. – P. 599–508. – DOI: 10.1375/183242705774310123.
26. *Distribution and heritability of BMI in Finnish adolescents aged 16y and 17y: a study of 4884 twins and 2509 singletons* / K.H. Pietiläinen, J. Kaprio, A. Rissanen [et al.] // *Int J Obes Relat Metab Disord.* – 1999. – Vol. 23, N 2. – P. 107–115. – DOI: 10.1038/sj.ijo.0800767.
27. *Heritability of death from coronary heart disease: a 36-year follow-up of 20 966 Swedish twins* / S. Zdravkovic, A. Wienke, N.L. Pedersen [et al.] // *J Intern Med.* – 2002. – Vol. 252, N 3. – P. 247–254. – DOI: 10.1046/j.1365-2796.2002.01029.x.
28. *Differential expression of genes associated with lipid metabolism in longissimus dorsi of Korean bulls and steers* / J.J. Bong, J.Y. Jeong, P. Rajasekar [et al.] // *Meat Sci.* – 2012. – Vol. 91, N 3. – P. 284–293. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.02.004.
29. *Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle - A review* / S.J. Park, S.H. Beak, D.J.S. Jung, [et al.] // *Asian-Australas J Anim Sci.* – 2018. – Vol. 31, N 7. – P. 1043–1061. – DOI: 10.5713/ajas.18.0310.

30. *Human plasma lipidome is pleiotropically associated with cardiovascular risk factors and death* / C. Bellis, H. Kulkarni, M. Mamtani, [et al.] // *Circ Cardiovasc Genet.* – 2014. – Vol. 7, N 6. – P. 854–863. – DOI: 10.1161/CIRCGENETICS.114.000600.
31. *Genetic architecture of human plasma lipidome and its link to cardiovascular disease* / R. Tabasum [et al.] // *Nature communications.* – 2019. – Vol. 10, N 1. – P. 4329.
32. *Genome-wide association study of plasma triglycerides, phospholipids and relation to cardio-metabolic risk factors* / A. Demirkan [et al.] // *BioRxiv.* – 2019. – P. 621334. – DOI: <https://doi.org/10.1101/621334>.
33. *Уровень встречаемости носителей гаплотипов фертильности HH4, HH5, HCD у быков производителей и коров голштинской породы* / Y. Ussenbekov, M. Шорманова, Р. Нурпейсова, А. Махмутов, С. Сиябеков // *GBJ.* – 2023. – Т. 1, N 70. – С. 65–77.
34. *The Holstein Friesian Lethal Haplotype 5 (HH5) Results from a Complete Deletion of TBF1M and Cholesterol Deficiency (CDH) from an ERV-(LTR) Insertion into the Coding Region of APOB* / E. Schütz, C. Wehrhahn, M. Wanjek [et al.] // *PLoS One.* – 2016. – Vol. 11, N 4. – P. e0154602. – DOI: 10.1371/journal.pone.0154602.
35. *A transposable element insertion in APOB causes cholesterol deficiency in Holstein cattle* / N. Besuchet-Schmutz, M. Fragnière, S. Hofstetter [et al.] // *Anim Genet.* – 2016. – Vol. 47, N 2. – P. 253–257. – DOI: 10.1111/age.12410.
36. *The cholesterol-deficiency associated mutation in APOB segregates at low frequency in Chinese Holstein cattle* / Yanhua Li, Lingzhao Fang, Lin Liu [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 2018. – Vol. 99, N 2. – P. 332–335. – <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0108>.
37. *Rapid Communication: Cholesterol deficiency-associated APOB mutation impacts lipid metabolism in Holstein calves and breeding bulls* / J.J. Gross, A.-C. Schwinn, F. Schmitz-Hsu [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 2016. – N 94. – P. 1761–1766.
38. *The APOB loss-of-function mutation of Holstein dairy cattle does not cause a deficiency of cholesterol but decreases the capacity for cholesterol transport in circulation* / J.J. Gross [et al.] // *Journal of dairy science.* – 2019. – N 11. – P. 10564–10572. – <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16852>.
39. *A retrospective study of clinical and laboratory features and treatment on cats highly suspected of feline infectious peritonitis in Wuhan, China* / Y. Yin, T. Li, C. Wang [et al.] // *Sci Rep.* – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 5208. – DOI: 10.1038/s41598-021-84754-0.
40. *Basiel B.L., Macrina A.L., Dechow C.D. Cholesterol deficiency carriers have lowered serum cholesterol and perform well at an elite cattle show* // *JDS communications.* – 2020. – Vol. 1, N 1. – P. 6–9.
41. *Identification of a haplotype associated with cholesterol deficiency and increased juvenile mortality in Holstein cattle* / S. Kipp, D. Segelke, S. Schierenbeck [et al.] // *J Dairy Sci.* – 2016. – Vol. 99, N 11. – P. 8915–8931. – DOI: 10.3168/jds.2016-11118.
42. *Characterization and comparison of lipids in bovine colostrum and mature milk based on UH-PLC-QTOF-MS lipidomics* / M. Li [et al.] // *Food Research International.* – 2020. – Vol. 136. – P. 109490.
43. *MacGibbon A.K.H. Composition and structure of bovine milk lipids* // *Advanced Dairy Chemistry.* – 2020. – Vol. 2. – P. 1–32.
44. *mTORC2 Regulates lipogenic gene expression through PPAR γ to control lipid synthesis in bovine mammary epithelial cells* / Z. Guo [et al.] // *BioMed research international.* – 2019. – Vol. 2019.
45. *Whole-genome association study of fatty acid composition in a diverse range of beef cattle breeds* / M.J. Kelly, R.K. Tume, M. Fortes, J.M. Thompson // *J Anim Sci.* – 2014. – Vol. 92, N 5. – P. 1895–1901. – DOI: 10.2527/jas.2013-6901.
46. *Diet and Genetics Influence Beef Cattle Performance and Meat Quality Characteristics* / F.W. Mwangi, E. Charmley, C.P. Gardiner [et al.] // *Foods.* – 2019. – Vol. 8, N 12. – P. 648. – DOI: 10.3390/foods8120648.
47. *Eslam M, George J. Genetic contributions to NAFLD: leveraging shared genetics to uncover systems biology.* *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* – 2020. – Vol. 17. – № 1. – P. 40–52. – DOI: 10.1038/s41575-019-0212-0.

48. *Lipid characterization of in vitro-produced bovine embryos with distinct kinetics of development* / K. Annes [et al.] // *Zygote*. – 2019. – Vol. 27, N 6. – P. 413–422.
49. *Desorption electrospray ionization mass spectrometry reveals lipid metabolism of individual oocytes and embryos* / A.F. González-Serrano, V. Pirro, C.R. Ferreira [et al.] // *PLoS One*. – 2013. – Vol. 8, N 9. – P. e74981. – DOI: 10.1371/journal.pone.0074981.
50. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian journal of ecology*. – 2017. – Vol. 44, N 3. – P. 662–666.
51. *Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, N.I. Shishin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.
52. *Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia* / K.N. Narozhnykh, O.I. Sebezhko, T.V. Konovalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 149. – EDN: CKIJF.
53. *Васильева С.В. Динамика фракций холестерина у коров в транзитный период* // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. – 2021. – № 4. – С. 142–146. – DOI: 10.52419/issn2072-6023.2021.4.142; EDN: NAYGPF.
54. *Зависимость восприимчивости крупного рогатого скота к лейкозу от биохимических показателей крови* / М.Л. Малинин, А.Е. Кузнецова, М.А. Шибеева [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–8. – С. 1758–1761. – EDN: RKPTFD.
55. *Мотузко И.С., Хвостова О.В. Возрастная динамика липопротеидов сыворотки крови крупного рогатого скота* // *Вестник ВГМУ*. – 2003. – Т. 2, N 4. – С. 116–118.
56. *Курдеко А.П., Сологуб Е.А. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у коров в динамике лактации* // *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена „Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины»: научно-практический журнал*. – Витебск, 2019. – Т. 55, Вып. 3. – С. 38–41.
57. *Васильева С.В. Динамика общего холестерина и его фракций в составе липопротеинов различной плотности в сыворотке крови коров в различных фазах физиологического цикла* // *Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 24 дек. 2019 г.* – Уфа: Вестник науки, 2019. – С. 16–20. – EDN: VDEUWI.
58. *Еременко В.И., Сидоров А.Е. Динамика общих липидов и холестерина в крови нетелей разных пород* // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2022. – N 1. – С. 56–60. – EDN: FHWGIK.
59. *Влияние полиморфизма гена PON1 на уровень параоксоназы-1 и биохимические показатели сыворотки крови крупного рогатого скота голштинской породы* / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // *Аграрный научный журнал*. – 2022. – № 8. – С. 61–65. – DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp61-65; EDN: BJYWFC.
60. *Сравнительный анализ липидного и аминокислотного обмена у бычков калмыцкой и монгольской пород* / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Е.В. Карпенко [и др.] // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2020. – Т. 103, № 2. – С. 82–92. – DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-82; EDN: AJFHAZ.
61. *Clinicopathological Phenotype of Autosomal Recessive Cholesterol Deficiency in Holstein Cattle* / T. Mock [et al.] // *J. of Veterinary Internal* – 2016. – Vol. 30 (4). – P. 1369–1375.

REFERENCES

1. Mundra P.A., Shaw J.E., Meikle P.J., Lipidomic analyses in epidemiology, *International journal of epidemiology*, 2016, Vol. 45, No. 5, pp. 1329–1338.
2. Weir J.M. et al., Plasma lipid profiling in a large population-based cohort [S], *Journal of lipid research*, 2013, Vol. 54, No. 10, pp. 2898–2908.
3. Li Y. et al., Glucagon attenuates lipid accumulation in cow hepatocytes through AMPK signaling pathway activation, *Journal of Cellular Physiology*, 2019, Vol. 234, No. 5, pp. 6054–6066.

4. Tingting Zhang, Dongwei Yuan, Jun Xie et al., Evolution of the cholesterol biosynthesis pathway in animals, *Molecularly Biology and Evolution*, 2019, Vol. 36, No. 11, pp. 2548–2556.
5. Alphonse P.A., Jones P.J., Revisiting Human Cholesterol Synthesis and Absorption: The Reciprocity Paradigm and its Key Regulators, *Lipids*, 2016, No. 51, pp. 519–536.
6. Morozov I.N., Sebezhko O.I., Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, T. 36, No. 7, pp. 71–76. (In Russ.)
7. Chang T., Chang C., Ohgami N. et al., Cholesterol sensing, trafficking, and esterification, *The Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 2006, No. 22, pp. 129–157.
8. Khotina V.A., Sukhorukov V.N., Kashirskikh D.A., Sobenin I.A., Orekhov A.N., *Kompleksnye problem serdechno-sosudistykh zabolevanii*, 2020, Vol. 9, No. 2, pp. 91–101. (In Russ.)
9. Ivanchenkova R.A., Gatsenko V.P., At'kova E.R., *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*, 2009, No. 3, pp. 56–63. (In Russ.)
10. Morozov I.N., Sebezhko O.I., Sebezhko A.N., Yazikov I.K., Kovalev A.V., *Sovremennye tendentsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva v mirovoi ekonomike* (Modern trends in agricultural production in the World economy) Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, December 07-08, 2022, Kemerovo, Kuzbass State Agricultural Academy, 2022, pp. 273–279. (In Russ.)
11. George K.S., Wu S., Lipid raft: A floating island of death or survival, *Toxicology and applied pharmacology*, 2012, Vol. 259, pp. 311–309.
12. Petrov A.M., Kasimov M.R., Zefirov A.L., *Acta Naturae (russkoyazychnaya versiya)*, 2016, T. 8, No. 1 (28), pp. 64–80. (In Russ.)
13. Ference B.A. et al., Low-density lipoproteins cause atherosclerotic cardiovascular disease. 1. Evidence from genetic, epidemiologic, and clinical studies. A consensus statement from the European Atherosclerosis Society Consensus Panel, *European heart journal*, 2017, Vol. 38, No. 32, pp. 2459–2472.
14. Alshehry Z.H. et al., Plasma lipidomic profiles improve on traditional risk factors for the prediction of cardiovascular events in type 2 diabetes mellitus, *Circulation*, 2016, Vol. 134, No. 21, pp. 1637–1650.
15. Wang D.D. et al., Plasma ceramides, Mediterranean diet, and incident cardiovascular disease in the PREDIMED trial (Prevencion con Dieta Mediterranea), *Circulation*, 2017, Vol. 135, No. 21, pp. 2028–2040.
16. Rudel L.L., Lee R.G., Parini P., ACAT2 Is a Target for Treatment of Coronary Heart Disease Associated With Hypercholesterolemia, *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 2005, No. 25, pp. 1112–1118.
17. Sebezhko O.I., Narozhnykh K.N., Korotkevich O.S., Alexandrova D.A., Morozov I.N., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 2 (59), pp. 91–105. (In Russ.)
18. Khapalyuk A.V., *Lechebnoe delo*, 2021, No. 3, pp. 13–23. (In Russ.)
19. Aleksandrova D.A., Sebezhko O.I., Kovalev A.V., Morozov I.N., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razvitii sel'skikh territorii* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), Collection of the VI All-Russian (National) Scientific Conference with international participation, Novosibirsk, December 20, 2021, Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2021, pp. 249–251. (In Russ.)
20. Cadby G. et al., Comprehensive genetic analysis of the human lipidome identifies loci associated with lipid homeostasis with links to coronary artery disease, *Nature communications*, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 3124.
21. Liu H. et al., Efficacy and safety of low levels of low-density lipoprotein cholesterol: trans-ancestry linear and non-linear Mendelian randomization analyses, *European Journal of Preventive Cardiology*, 2023, Vol. 09, pp. zwad111.
22. Sebezhko O.I., Aleksandrova D.A., Kovalev A.V., Morozov I.N., *Modernizatsiya agrarnogo obrazovaniya* (Modernization of agricultural education), A collection of scientific papers based on the materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Tomsk, December 14, 2021. Tomsk-Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2021, pp. 1135–1138. (In Russ.)
23. Knoblauch H. et al., Heritability analysis of lipids and three gene loci in twins link the macrophage scavenger receptor to HDL cholesterol concentrations, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 1997, Vol. 17, pp. 2054–2060.

24. Goode E.L., Cherny S.S., Christian J.C., Jarvik G.P., de Andrade M., Heritability of longitudinal measures of body mass index and lipid and lipoprotein levels in aging twins, *Twin Res Hum Genet*, 2007, Vol. 10, No. 5, pp. 703–711, DOI: 10.1375/twin.10.5.703.
25. Hottenga J.J., Boomsma D.I., Kupper N., Posthuma D., Snieder H., Willemsen G., de Geus E.J., Heritability and stability of resting blood pressure, *Twin Res Hum Genet*, 2005, Vol. 8, No. 5, pp. 599–508, DOI: 10.1375/183242705774310123.
26. Pietiläinen K.H., Kaprio J., Rissanen A., Winter T., Rimpelä A., Viken R.J., Rose R.J., Distribution and heritability of BMI in Finnish adolescents aged 16y and 17y: a study of 4884 twins and 2509 singletons, *Int J Obes Relat Metab Disord*, 1999, Vol. 23, No. 2, pp. 107–115, DOI: 10.1038/sj.ijo.0800767.
27. Zdravkovic S., Wienke A., Pedersen N.L., Marenberg M.E., Yashin A.I., De Faire U., Heritability of death from coronary heart disease: a 36-year follow-up of 20 966 Swedish twins, *J Intern Med*, 2002, Vol. 252, No. 3, pp. 247–54, DOI: 10.1046/j.1365-2796.2002.01029.x.
28. Bong J.J., Jeong J.Y., Rajasekar P., Cho Y.M., Kwon E.G., Kim H.C., Paek B.H., Baik M., Differential expression of genes associated with lipid metabolism in longissimus dorsi of Korean bulls and steers, *Meat Sci*, 2012, Vol. 91, No. 3, pp. 284–293, DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.02.004.
29. Park S.J., Beak S.H., Jung D.J.S., Kim S.Y., Jeong I.H., Piao M.Y., Kang H.J., Fassah D.M., Na S.W., Yoo S.P., Baik M., Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle - A review, *Asian-Australas J Anim Sci*, 2018, Vol. 31, No. 7, pp. 1043–1061, DOI: 10.5713/ajas.18.0310.
30. Bellis C., Kulkarni H., Mamtani M. et al., Human plasma lipidome is pleiotropically associated with cardiovascular risk factors and death, *Circ Cardiovasc Genet*, 2014, Vol. 7, No. 6, pp. 854–863, DOI: 10.1161/CIRCGENETICS.114.000600.
31. Tabassum R. et al., Genetic architecture of human plasma lipidome and its link to cardiovascular disease, *Nature communications*, 2019, Vol. 10, No. 1, pp. 4329.
32. Demirkan A. et al., Genome-wide association study of plasma triglycerides, phospholipids and relation to cardio-metabolic risk factors, *BioRxiv*, 2019, pp. 621334, DOI: <https://doi.org/10.1101/621334>.
33. Ussenbekov Y., Шорманова М., Нурпейсова Р., Махмутов А., Сябеков С., *GBJ*, 2023, Т. 1, No. 70, pp. 65–77. (In Russ.)
34. Schütz E., Wehrhahn C., Wanjek M., Bortfeld R., Wemheuer W.E., Beck J., Brenig B., The Holstein Friesian Lethal Haplotype 5 (HH5) Results from a Complete Deletion of TBF1M and Cholesterol Deficiency (CDH) from an ERV-(LTR) Insertion into the Coding Region of APOB, *PLoS One*, 2016, Vol. 11, No. 4, pp. e0154602, DOI: 10.1371/journal.pone.0154602.
35. Besuchet-Schmutz N., Fragnière M., Hofstetter S., et al., A transposable element insertion in APOB causes cholesterol deficiency in Holstein cattle, *Anim Genet*, 2016, Vol. 47, No. 2, pp. 253–257, DOI: 10.1111/age.12410.
36. Yanhua Li, Lingzhao Fang, Lin Liu, Shengli Zhang, Zhu Ma, Dongxiao Sun, The cholesterol-deficiency associated mutation in APOB segregates at low frequency in Chinese Holstein cattle, *Can. J. Anim. Sci*, 2018, Vol. 99, No. 2, pp. 332–335, <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0108>.
37. Gross J.J., Schwinn A.-C., Schmitz-Hsu F. et al., Rapid Communication: Cholesterol deficiency-associated APOB mutation impacts lipid metabolism in Holstein calves and breeding bulls, *J. Anim. Sci*, 2016, No. 94, pp. 1761–1766.
38. Gross J.J. et al., The APOB loss-of-function mutation of Holstein dairy cattle does not cause a deficiency of cholesterol but decreases the capacity for cholesterol transport in circulation, *Journal of dairy science*, 2019, No. 11, pp. 10564–10572, <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16852>.
39. Liu X., Ouyang H., Ji W. et al., A retrospective study of clinical and laboratory features and treatment on cats highly suspected of feline infectious peritonitis in Wuhan, China, *Sci Rep*, 2021, Vol. 11, No. 1, pp. 5208, DOI: 10.1038/s41598-021-84754-0.
40. Basiel B.L., Macrina A.L., Dechow C.D., Cholesterol deficiency carriers have lowered serum cholesterol and perform well at an elite cattle show, *JDS communications*, 2020, Vol. 1, No. 1, pp. 6–9.
41. Kipp S., Segelke D., Schierenbeck S., et al., Identification of a haplotype associated with cholesterol deficiency and increased juvenile mortality in Holstein cattle, *J Dairy Sci*, 2016, Vol. 99, No. 11, pp. 8915–8931, DOI: 10.3168/jds.2016-11118.

42. Li M. et al., Characterization and comparison of lipids in bovine colostrum and mature milk based on UHPLC-QTOF-MS lipidomics, *Food Research International*, 2020, Vol. 136, pp. 109490.
43. MacGibbon A.K.H., Composition and structure of bovine milk lipids, *Advanced Dairy Chemistry*, 2020, Vol. 2, pp. 1–32.
44. Guo Z. et al., mTORC2 Regulates lipogenic gene expression through PPAR γ to control lipid synthesis in bovine mammary epithelial cells, *BioMed research international*, 2019, Vol. 2019.
45. Kelly M.J., Tume R.K., Fortes M., Thompson J.M., Whole-genome association study of fatty acid composition in a diverse range of beef cattle breeds, *J Anim Sci*, 2014, Vol. 92, No. 5, pp. 1895–1901, DOI: 10.2527/jas.2013-6901.
46. Mwangi F.W., Charmley E., Gardiner C.P., Malau-Aduli B.S., Kinobe R.T., Malau-Aduli A.E.O., Diet and Genetics Influence Beef Cattle Performance and Meat Quality Characteristics, *Foods*, 2019, Vol. 8, No. 12, pp. 648, DOI: 10.3390/foods8120648.
47. Eslam M., George J., Genetic contributions to NAFLD: leveraging shared genetics to uncover systems biology, *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2020, Vol. 17, No. 1, pp. 40–52, DOI: 10.1038/s41575-019-0212-0.
48. Annes K. et al., Lipid characterization of in vitro-produced bovine embryos with distinct kinetics of development, *Zygote*, 2019, Vol. 27, No. 6, pp. 413–422.
49. González-Serrano A.F., Pirro V., Ferreira C.R. et al., Desorption electrospray ionization mass spectrometry reveals lipid metabolism of individual oocytes and embryos, *PLoS One*, 2013, Vol. 8, No. 9, pp. e74981, DOI: 10.1371/journal.pone.0074981.
50. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. et al., Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia, *Indian journal of ecology*, 2017, Vol. 44, No. 3, pp. 662–666.
51. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. et al., Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
52. Narozhnykh K.N., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Tarasenko E.I., *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 149. (In Russ.)
53. Vasil'eva S.V., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2021, No. 4, pp. 142–146. (In Russ.)
54. Malinin M.L., Kuznecova A.E., Shibaeva M.A., Karablin P.M., Tihomirova E.I., Laskavyj V.N., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, No. 10–8, pp. 1758–1761, EDN: RKPTFD. (In Russ.)
55. Motuzko I.S., Hvostova O.V., *Vestnik VGMU*, 2003, T. 2, No. 4, pp. 116–118. (In Russ.)
56. Kurdeko A.P., Sologub E.A., *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaja ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny": nauchno-prakticheskij zhurnal*, Vitebsk, 2019, T. 55, No. 3, pp. 38–41.
57. Vasil'eva S.V., *Strukturnye preobrazovaniya jekonomiki territorij: v poiske social'nogo i jekonomicheskogo ravnovesija* (Structural transformations of the economy of territories: in search of social and economic balance), A collection of articles based on the materials of the International scientific and practical conference, Ufa, December 24, 2019. Volume Part 1, Ufa: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center "Bulletin of Science", 2019, pp. 16–20. (In Russ.)
58. Eremenko V.I., Sidorov A.E., *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2022, No. 1, pp. 56–60. (In Russ.)
59. Safina N.Ju., Shakirov Sh.K., Gajnutdinova Je.R., Fattahova Z.F., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2022, No. 8, pp. 61–65. (In Russ.)
60. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Karpenko E.V. i dr., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2020, T. 103, No. 2, pp. 82–92. (In Russ.)
61. Mock T., Clinicopathological Phenotype of Autosomal Recessive Cholesterol Deficiency in Holstein Cattle, *J. of Veterinary Internal*, 2016, Vol. 30 (4), pp. 1369–1375.

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА ХИТОЗАН-SS-ЦИКЛОДЕКСТРИН С ЛЕВОФЛОКСАЦИНОМ НА МИКРОФЛОРУ РАН И ТОЛСТОГО КИШЕЧНИКА ОСЕТРА

¹Г.Т. Урядова, ассистент

¹Н.А. Фокина, кандидат сельскохозяйственных наук

¹И.В. Поддубная, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Л.В. Карпунина, доктор биологических наук, профессор

¹О.А. Гуркина, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹О.Н. Руднева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

²Е.В. Кудряшова, доктор химических наук, профессор

²И.Д. Злотников, студент

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: poddubnayaiv@yandex.ru

Ключевые слова: осетр, циклодекстрины, левофлоксацин, микрофлора кишечника, микрофлора ран, молочнокислые бактерии, общее микробное число.

Реферат. Представлены результаты определения эффективности применения комплекса хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином в заживлении механических ран ценных промысловых рыб – осетров и их кормлении. Эксперимент проводили на базе научно-исследовательской лаборатории «Прогрессивные биотехнологии в аквакультуре» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова. Исследовалась микрофлора резаных ран и толстого кишечника сеголетков осетров под действием фторхинолона, представленного левофлоксацином на основе циклодекстрина, включенного в оболочку высокомолекулярного хитозана. Исследуемые микробиологические показатели были выбраны для определения на том основании, что изменения общего количества микроорганизмов показывают характер течения воспалительного/патологического процесса, способствующего развитию микроорганизмов (в т.ч. условно-патогенных) и молочнокислых бактерий в кишечнике, поэтому являются важными физиологическими показателями формирования «кишечного иммунитета». Было обнаружено, что применение при лечении резаных ран у осетров циклодекстрина с левофлоксацином приводит к значительному уменьшению общего микробного числа (ОМЧ) на их поверхности (в 10 тыс. раз по сравнению с группой без лечения). Показано, что использование в кормлении осетров циклодекстрина с левофлоксацином также снижает общее микробное число в толстом кишечнике. Данный комплекс характеризуется хорошей растворимостью и биодоступностью для рыб. Результаты исследования в перспективе могут найти применение в аквакультуре при лечении механических травм, полученных при перевозке и сортировке в процессе выращивания, у рыб.

INFLUENCE OF THE COMPLEX OF CHITOSAN-SS-CYCLODEXTRIN WITH LEVOFLOXACIN ON THE MICROFLORA OF THE WOUNDS AND THE COLON INTESTINE OF THE STURGEON

¹G.T. Uryadova, Assistant

¹N.A. Fokina, PhD in Agricultural Sciences

¹I.V. Poddubnaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

¹L.V. Karpunina, Doctor of Biological Sciences, Professor

¹O.A. Gurkina, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

¹O.N. Rudneva, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

²E.V. Kudryashova, Doctor of Chemical Sciences, Professor

²I.D. Zlotnikov, Student

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Lomonosov Moscow State University, M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

E-mail: poddubnayaiv@yandex.ru

Keywords: sturgeon, cyclodextrins, levofloxacin, intestinal microflora, wound microflora, lactic acid bacteria, total microbial count.

Abstract. The authors in the article presented the results of determining the effectiveness of using the chitosan- β -cyclodextrin complex with levofloxacin in the healing of mechanical wounds of valuable commercial fish sturgeons and their feeding. The experiment was conducted based on the “Progressive biotechnologies in aquaculture” research laboratory of the Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering. N.I. Vavilov. The microflora of incised wounds and the large intestine of sturgeon fingerlings under the influence of fluoroquinolone, represented by levofloxacin based on cyclodextrin, included in the shell of high-molecular chitosan, was studied. The studied microbiological indicators were chosen to determine that changes in the total number of microorganisms show the nature of the course of the inflammatory/pathological process, which contributes to the development of microorganisms (including opportunistic pathogens) and lactic acid bacteria in the intestine. Therefore, they are essential physiological indicators of the formation of “intestinal immunity. It was found that the use of cyclodextrin with levofloxacin in the treatment of incised wounds in sturgeons leads to a significant decrease in the total microbial number (TMC) on their surface (by 10 thousand times compared to the group without treatment). It has been shown that using cyclodextrin with levofloxacin in feeding sturgeons reduces the total microbial number in the large intestine. This complex is characterised by good solubility and bioavailability for fish. The future study results can be used in aquaculture to treat mechanical injuries received during transportation and sorting in the rearing process in fish.

В последние 10–15 лет ведется разработка комплексов циклодекстринов (ЦД) [1] для создания новых лекарственных форм антимикробных препаратов. Циклодекстрины широко применяются в фармацевтике в качестве комплексобразующих агентов, которые повышают растворимость лекарственных субстанций, увеличивают их биодоступность и стабильность [2, 3]. Почти 85% лекарственных препаратов применяются перорально [4], поэтому научные изыскания по увеличению растворимости лекарственных средств являются актуальными. Ведутся работы по созданию комплексов ЦД с антибиотиками [5, 6]. Антибиотики широкого спектра действия, эффективные по отношению к множеству различных бактерий, к которым относится и левофлоксацин, могут поражать до 30% бактерий, в норме заселяющих желудочно-кишечный тракт [7]. Известно, что антибиотики применяются в комплексной терапии и для профилактики инфекционных заражений резаных, ожоговых и других видов ранений и повреждений наружных покровов [8, 9]. У рыб, как и других живых организмов, также могут возникать механические травмы наружных покровов, например, имеет место быть травматизация при перевозке, сортировке в процессе выращивания [10]. Имеются многочисленные сведения о применении пробиотиков и антибиотиков для лечения ран [10] и паразитарных язв [11] на коже рыб.

Целью настоящей работы явилось исследование состава микрофлоры резаных ран и тол-

стого кишечника сеголетков осетров под действием комплексного препарата фторхинолона левофлоксацина на основе циклодекстрина, включенного в оболочку высокомолекулярного хитозана. Комплексный препарат представлял собой порошок светло-желтого цвета, который добавляли в корм осетрам. Важными физиологическими показателями микрофлоры кишечника являются изменения общего количества микроорганизмов и молочнокислых бактерий, участвующих в формировании «кишечного иммунитета» [12].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперимент проводили на базе научно-исследовательской лаборатории «Прогрессивные биотехнологии в аквакультуре» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова. Лечебные свойства комплекса циклодекстринов с левофлоксацином в отношении резаных ран определяли на сеголетках гибрида русского и сибирского осетров при добавлении в корм комплекса хитозан- β -циклодекстрина с левофлоксацином в концентрации 23 %. Профилактические свойства комплексов с левофлоксацином изучались при введении этого вещества в концентрации 15 %. Были сформированы 4 группы: 1-я группа – контрольная; 2-я – рыбы с раной без лечения; 3-я – профилактическая, рыбы которой получали хитозан-

β-циклодекстрин с антибиотиком с целью предотвращения развития возможных заболеваний кожи и нарушений в желудочно-кишечном тракте; 4-я группа – рыбы с ранами, для заживления которых были применены хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином. Корм с препаратом рыбы получали ежедневно (3 раза в день). Раны моделировали, делая дорсальные надрезы (длиной 2 см) кожных покровов. Общее микробное число (ОМЧ) в смывах с ран, ОМЧ и количество молочнокислых бактерий в кишечнике рыб определяли методом последовательных разведений [13] на мясо-пептонном агаре (МПА) и на MRS-агаре соответственно.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли по стандартным методам [14] с использованием параметрического t-критерия Стьюдента (достоверными считали различия при вероятности ошибки $p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследований было показано, что комплекс хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином оказывал значительное влияние на микрофлору ран и толстого кишечника рыб. В 4-й опытной группе с лечением комплексом хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином, как видно из табл. 1, к концу эксперимента (10-е сутки) наблюдали уменьшение общего микробного числа в ранах в 10 тыс. раз по сравнению с группой без лечения, в то время как у рыб без лечения к 10-м суткам ОМЧ не уменьшалось, а возрастало в 10 раз по сравнению с 1-ми сутками.

В табл. 2 представлены данные по изучению влияния данного комплекса на микрофлору толстого кишечника осетров.

Таблица 1

Влияние комплекса хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином на микрофлору резаных ран осетров, КОЕ/г
Study of the effect of the complex of chitosan-β-cyclodextrin with levofloxacin on the microflora of sturgeon incised wounds

Группа	Сутки		
	1-е	5-е	10-е
2-я	$4,0 \cdot 10^5 \pm 0,4$	$1,7 \cdot 10^5 \pm 0,7$	$1,0 \cdot 10^6 \pm 0,2^{*•}$
4-я	$3,0 \cdot 10^5 \pm 1,5$	$1,0 \cdot 10^4 \pm 0,6^{\bullet}$	$1,0 \cdot 10^2 \pm 0,7^{*•\blacksquare}$

Примечание. $p \leq 0,05$: * относительно значения 1-х суток в своей же группе; • относительно значения 5-х суток в своей же группе (для 10-х суток); ■ относительно значения в группе без лечения в эти же сутки.

Note. $p \leq 0,05$: * relative to the value of the 1st day in the same group; • relative to the value of the 5th day in its group (for the 10th day); ■ relative to the value in the group without treatment on the same day.

Таблица 2

Влияние комплекса хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином на микрофлору толстого кишечника осетров, КОЕ/г
Study of the effect of the complex of chitosan-β-cyclodextrin with levofloxacin on the microflora of the large intestine of sturgeons

Группа	Сутки					
	1-е		5-е		10-е	
	ОМЧ	МКБ	ОМЧ	МКБ	ОМЧ	МКБ
1-я	$1,0 \cdot 10^6 \pm 0,4$	$1,0 \cdot 10^5 \pm 0,4$	$1,8 \cdot 10^6 \pm 0,5$	$1,5 \cdot 10^5 \pm 0,3$	$1,2 \cdot 10^6 \pm 0,4$	$1,0 \cdot 10^5 \pm 0,3$
2-я	-	-	$1,0 \cdot 10^6 \pm 0,3$	$1,0 \cdot 10^2 \pm 0,1$	$2,0 \cdot 10^6 \pm 0,8$	$1,0 \cdot 10^3 \pm 0,2^{*•\blacksquare}$
3-я	-	-	-	-	$1,0 \cdot 10^5 \pm 0,1^{\bullet}$	$5,0 \cdot 10^3 \pm 0,8^{\bullet\blacksquare}$
4-я	-	-	$1,0 \cdot 10^6 \pm 0,3$	$1,0 \cdot 10^3 \pm 0,1$	$1,6 \cdot 10^5 \pm 0,4^{*•\blacksquare}$	$1,0 \cdot 10^2 \pm 0,1^{*•\blacksquare}$

Примечания. 1. $p \leq 0,05$ • относительно значения 1-х суток в контрольной группе;

* относительно значения 5-х суток в своей же группе; ■ относительно значения 10-х суток в контрольной группе. 2. «-» – исследование не проводилось. 3. МКБ – молочнокислые бактерии.

Notes. 1. $p \leq 0,05$ • relative to the value of the 1st day in the control group;

* Relative to the value of 5 days in their group; ■ relative to the value of the 10th day in the control group. 2. «-» - the study was not conducted. 3. LAB - lactic acid bacteria.

Во 2-й группе (без лечения) на 10-е сутки ОМЧ было таким же, как в контроле. Число молочнокислых бактерий к концу эксперимента уменьшалось по сравнению с 1-ми сутками в 100 раз и начинало восстанавливаться к 10-м суткам – увеличивалось в 10 раз по сравнению с 5-ми сутками.

В 3-й группе, рыбы которой получали лечебный комплекс профилактически, к концу эксперимента наблюдали снижение ОМЧ и молочнокислых бактерий в 10 и 100 раз соответственно по сравнению с контролем (1-я группа).

Как видно из табл. 2, в 4-й группе рыб с лечением происходило снижение ОМЧ к 10-м суткам в 10 раз сравнению с группой рыб без лечения. Уменьшение молочнокислых бактерий к 10-м суткам в этой группе по сравнению с другими группами, возможно, объясняется хорошей растворимостью и биодоступностью данного комплекса.

Изменения в контроле на протяжении всего эксперимента были незначительны и недостоверны. Можно предположить, что такой выраженный антимикробный и заживляющий эффект достигался не только за счет левоф-

локсацина, но и за счет хитозана, который, как известно, обладает антимикробной, антимикотической и иммуномодулирующей активностью [15, 16].

ВЫВОДЫ

1. Использование в заживлении резаных ран у осетров комплексом хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином значительно снижает обсемененность поверхности ран по сравнению с группой без лечения.

2. Комплекс хитозан-β-циклодекстрин с левофлоксацином снижает общее микробное число и количество молочнокислых бактерий в толстом кишечнике в опытных группах осетров по сравнению с контролем. При этом у осетров, получавших профилактическую концентрацию препарата, к концу эксперимента наметилась тенденция к восстановлению числа молочнокислых бактерий в отличие от группы рыб с лечением. Полученные результаты в перспективе могут найти применение в аквакультуре при лечении механических травм рыб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Очистка β-циклодекстрина от комплексообразователя* / Н.Г. Гулюк, Т.С. Пучкова, Д.М. Пихало, Ю.И. Комаров // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – Т. 28, № 10. – С. 72–73.
2. *Дейген И.М., Егоров А.М., Кудряшова Е.В.* Структура и стабильность комплексов фторхинолонов с гидроксипропил-β-циклодекстрином для создания новых лекарственных форм противотуберкулезных препаратов // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2015. – Т. 56, № 6. – С. 387–392.
3. *Циклодекстрины и их применение в фармацевтической промышленности (обзор)* / С.А. Кедик, А.В. Панов, В.С. Тюкова, М.С. Золотарева // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2016. – № 3. – С. 68–75.
4. *Душкин А.В., Сунцова Л.П., Халиков С.С.* Механохимическая технология растворимости лекарственных веществ // Pharmaceutical sciences. – 2013. – N 1. – P. 448–457.
5. *Исследование влияния способа получения комплексов включения грамицидина С и β-циклодекстрина на их технологические показатели* / А.А. Дранников [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2022. – Т. 11, № 2. – С. 102–108.
6. *Наноструктуры, включающие пероксидазу редьки черной, антибиотики и циклодекстрины для создания различных фармацевтических композиций [Электронный ресурс]* / А.Н. Серкова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–3. – С. 518–522. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36845> (дата обращения: 10.11.2022).
7. *Long-term ecological impacts of antibiotic administration on the human intestinal microbiota* / C. Jernberg, S. Löfmark, C. Edlund, J.K. Jansson // The ISME journal. – 2007. – Vol. 1, N 1. – P. 56–66.
8. *Алексеев А.А., Крутиков М.Г., Яковлев В.П.* Антибактериальная терапия в комплексном лечении и профилактике инфекционных осложнений при ожогах // Российский медицинский журнал. – 1997. – № 5. – С. 24–30.

9. Привольнев В.В., Каракулина Е.В. Основные принципы местного лечения ран и раневой инфекции // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2011. – Т. 13, № 3. – С. 214–222.
10. Шульга Е.А., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Лечебные свойства пробиотика «Субтилис» при репарации кожных покровов осетровых рыб // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 86–89.
11. Ихтиопатологические исследования производителей судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) в период нерестовой кампании в прудовом хозяйстве / В.Н. Хорошельцева [и др.] // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: сб. тр. IX науч.-практ. конф. молодых учёных с междунар. участием, посвящ. 140-летию ВНИРО. – М., – ВНИРО, 2021. – С. 194–196.
12. Данилевская Н.В. Физиологическая роль основных представителей нормальной микрофлоры мелких домашних животных // Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные. – 2008. – № 1. – С. 28–31.
13. Лабинская А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований. – М.: Медицина. – 1978. – 394 с.
14. Воробьев В.Я., Елсуков А.И. Теория и эксперимент. – Минск: Высшая школа, 1989. – 109 с.
15. Куликов С.Н., Хайруллин Р.З., Тюрин Ю.А. Антибактериальная активность хитозана в отношении энтеробактерий и стафилококков, выделенных у пациентов с дисбактериозом кишечника // Казанский медицинский журнал. – 2010. – № 5. – С. 656–660.
16. Топурия Л.Ю., Топурия Г.М. Эффективность применения хитозана в качестве иммуностимулятора для сельскохозяйственных животных и птиц // Ветеринарное дело. – 2010. – № 1. – С. 61–68.

REFERENCES

1. Gulyuk N.G., Puchkova T.S., Pihalo D.M., Komarov YU.I., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2014, T. 28, No. 10, pp. 72–73. (In Russ.)
2. Deigen I.M., Egorov A.M., Kudryashova E.V., *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Khimiya*, 2015, T. 56, No. 6, pp. 387–392. (In Russ.)
3. Kedik S.A., Panov A.V., Tyukova V.S., Zolotareva M.S., *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2016, No. 3, pp. 68–75. (In Russ.)
4. Dushkin A.V., Suntsova L.P., Khalikov S.S., *Pharmaceutical sciences*, 2013, No. 1, pp. 448–457. (In Russ.)
5. Drannikov A.A. i dr., *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2022, T. 11, No. 2, pp. 102–108. (In Russ.)
6. Serkova A.N. i dr., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, No. 2–3, pp. 518–522, URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36845> (data obrashcheniya: 10.11.2022). (In Russ.)
7. Jernberg C., Löfmark S., Edlund C., Jansson J.K. Long-term ecological impacts of antibiotic administration on the human intestinal microbiota, *The ISME journal*, 2007, Vol. 1, No. 1, pp. 56–66.
8. Alekseev A.A., Krutikov M.G., Yakovlev V.P., *Rossiiskii meditsinskii zhurnal*, 1997, No. 5, pp. 24–30. (In Russ.)
9. Privol'nev V.V., Karakulina E.V., *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya*, 2011, T. 13, No. 3, pp. 214–222. (In Russ.)
10. Shul'ga E.A., Grozesku Yu.N., Bakhareva A.A., *Vestnik AGTU. Seriya: Rybnoe khozyaistvo*, 2009, No. 1, pp. 86–89. (In Russ.)
11. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaistvennogo kompleksa*, Sbornik trudov IX nauchno-prakticheskoi konferentsii, 2021, pp. 194–196. (In Russ.)
12. Danilevskaya N.V., *Rossiiskii veterinarnyi zhurnal. Melkie domashnie i dkie zhivotnye*, 2008, No. 1, pp. 28–31. (In Russ.)
13. Labinskaya A.S., *Mikrobiologiya s tekhnikoi mikrobiologicheskikh issledovaniy* (Microbiology with the technique of microbiological research), Moscow: Meditsina, 1978, 394 p. (In Russ.)

14. Vorob'ev V.YA., Elsukov A.I., *Teoriya i eksperiment* (Theory and experiment), Minsk: Vysshaya shkola, 1989, 109 p. (In Russ.)
15. Kulikov S.N., Khairullin R.Z., Tyurin Yu.A., *Kazanskii meditsinskii zhurnal*, 2010, No. 5, pp. 656–660. (In Russ.)
16. Topuriya L.Yu., Topuriya G.M., *Veterinarnoe delo*, 2010, No.1, pp. 61–68. (In Russ.)

