ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский государственный аграрный университет

Научный журнал

№ 2(71)2024

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

Russian Science Citation Index

Электронная версия журнала на сайте: www.elibrary.ru

Адрес редакции и издателя:
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., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, главный редактор (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)

Будажапов 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)

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)

Добротворская 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)

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, профессор кафедры технологии и управления качеством с.-х. продукции 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 Тэера, 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 Будеевице, 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 водообеспечением, Институт сельскохо- зяйственных 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, ведущий науч. сотрудник ИПА СО 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.*
Редакторы *Мжельская Н.А., Коробкова Т.К.*
Компьютерная верстка *Колбин В.С.*
Дата выхода в свет 1 июля 2024 г. Свободная цена.
Формат 60 × 84 $^{1}/_{8}$. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2745.

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

© ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», 2024

VESTNIK NGAU

Novosibirsk State Agrarian University

Scientific journal

No. 2(71)2024

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)
Vyshegurov S.Kh. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Botanics 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 of 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)
Zhuchaev K.V. – Dr. of Biological Sc., Professor, 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. tof 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. – Leading Recearoher at the 1Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (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.*
Editors *Mzhelskaya M.A., Korobkova T.K.*
Desktop publishing: *Kolbin V.S.*
Date of publication July 1 2024. 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. 2745.

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

© FSSFEI HE "Novosibirsk State Agrarian University", 2024

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Байкалова Л.П., Серебренников Ю.И. Хозяйственно-биологическая оценка сортов яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи. **5**

Baikalova L.P., Serebrennikov Yu. I. Qualitative indicators of spring wheat varieties in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. **5**

Бакшаев Д.Ю., Кашеваров Н.И. Способы разделки пласта старовозрастного посева многолетних трав. **15**

Bakshaev D.Y., Kashevarov N.I. Methods of cutting the layer of old-age sowing of perennial grasses. **15**

Галеева Л.П. Влияние минеральных удобрений на фосфатный фонд чернозёмов выщелоченных и продуктивность зерновых культур. **25**

Galeeva L.P. The effect of mineral fertilizers on the phosphate stock of leached chernozems and the productivity of grain crops. **25**

Гарафутдинова Л.В., Каличкин В.К., Федоров Д.С. Объектно ориентированная классификация изображений дистанционного зондирования земли с использованием машинного обучения. **37**

Garafutdinova L.V., Kalichkin V.K., Fedorov D.S. Object-oriented classification of remote sensing earth images using ma-chine. **37**

Гревцова С.А., Рехвиашвили Э.И., Айлярова М.К., Кабулова М.Ю., Гагиева Л.Ч. Характеристика терпенов, входящих в состав некоторых представителей семейства Crassulaceae, DC. рода Sedum S.l. произрастающих в условиях РСО–Алания. **48**

Grevtsova S.A., Rekhviashvili E.I., Aylarova M.K., Kabulova M.Y., Gagieva L.Ch. Characteristics of some biologically active substances of a number of terpenes for representatives of the Crassulaceae DC family the Genus sedum S.l., growing in the RSO–Alania. **48**

Кожухова Е.В. Влияние ГТК вегетационного периода на высоту растений гороха и их устойчивость к полеганию. **55**

Kozhukhova E.V. Influence of HTC of the growing period on the height of peas plants and their resistance to logining. **55**

Коновалова Н.Ю., Коновалова С.С. Перспективные бобово-злаковые травосмеси для агроклиматических условий Европейского Севера России. **63**

Konovalova N.Y., Konovalova S.S. Promising legume-cereal grass mixtures for agroclimatic conditions of the European North of Russia. **63**

Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г., Пендер П.Э. Изучение устойчивости к полеганию у образцов гороха овощного разного морфотипа в условиях Западной Сибири. **74**

Kuzmina S.P., Kazydub N.G., Pender P.E. Studying resistance to deposition in samples vegetable peas of different morphotype in Western Siberia. **74**

Кураченко Н.Л., Колесников А.С. Изменение плотности сложения чернозема в севообороте при минимизации основной обработки. **86**

Kurachenko N.L., Kolesnikov A.S. Changes in the density of chernozem in crope rotation with minimization of basic tillage. **86**

Лебедев Д.В., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., Дубровина О.А. Агрономическая эффективность выращивания подсолнечника и ярового рапса с применением гербицидов имидазолиноновой группы. **94**

Lebedev D.V., Zubkova T.V., Vinogradov D.V., Dubrovina O.A. Agronomic efficiency of sunflower and spring rapeseed cultiva-tion with the use of imidazolinone group herbicides. **94**

Лепехов С.Б. Доноры аллеля Ppd-D1a для селекции яровой мягкой пшеницы на скороспелость. **102**

Lepekhov S.B. Ppd-D1a allele donors for spring soft wheat for earliness. **102**

Малиновских А.А. Эколого-ценотический подход при зонировании лесного фонда пригородных лесов города Барнаула. **111**

Malinovskikh A.A. Ecological and cenotic approach to zoning of the forest fund of suburban forests of Barnaul. **111**

Мартынов М.А., Полухин А.А., Кирюхин С.В. Изучение показателей чистой продуктивности фотосинтеза, нитрогеназной активности и полевой всхожести для различных генотипов сои и их корреляционные связи с основными вегетацинонными индексами. **120**

Martynov M.A., Polukhin A.A., Kiryukhin S.V. Study of net photosynthetic productivity, nitrogenase activity and field germina-tion for different soybean genotypes and their correlations with the main vegetacinon indices. **120**

Мурзин А.И., Галеев Р.Р., Потапов П.Н., Потапов Н.А., Потапова С.С. Особенности использования элементов технологии ускоренного семеноводства оздоровленного картофеля в лесостепи Приобья. **132**

Murzin A.I., Potapov P.N., Galeev R.R., Potapov N.A., Potapova S.S. Special aspect of usage of elements of forced seed pro-duction of healthy potato in Forest-steppe of Priobye. **132**

Острошенко Л.Ю., Несмачный М.А. Медовая продуктивность лесов Комиссаровского участкового лесничества Уссурийского филиала КГКУ «Приморское лесничество». **139**

Ostroshenko L.Yu., Nesmachny M.A. Honey productivity of forests of the Komissarovsky district forestry of the Ussuri branch of the KSKU "Primorskoye forestry". **139**

Скороходов В.Ю. Продуктивность кормовых культур в системе севооборота и при бессменном возделывании в степной зоне Южного Урала. **147**

Skorokhodov V.Yu. Productivity of forage crops in the system crop rotation and permanent cultivation in the steppe zone of the Southern Urals. **147**

Фещенко Е.С., Торопова Е.Ю. Особенности развития корневых гнилей в зависимости от элементов технологии возделывания яровой пшеницы в условиях лесостепи Приобья. **157**

Feshchenko E.S., Toropova E.Yu. Features of root rot incidence depending on elements of spring wheat cultivation technol-ogy in the Ob region Forest-steppe. **157**

Шарков И.Н., Колбин С.А., Самохвалова Л.М. Урожайность сортов яровой пшеницы разных сроков районирования при выращивании по интенсивной технологии в лесостепи Новосибирского Приобья. 168

Sharkov I.N., Kolbin S.A., Samokhvalova L.M. Yield of spring wheat varieties of different dates of zoning when grown under intensive technology in the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. 168

Яковлев Д.А., Прокопчук Р.Е., Кузнецов В.Н., Мороз А.А., Гребенюк Д.П. Эффективность пневмосепарирования при подготовке семян яровой пшеницы. 177

Iakovlev D.A., Prokopchuk R.E., Kuznetsov V.N., Moroz A.A., Grebenyuk D.P. Efficiency of spring wheat seeds preparation by air separation. 177

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

VETERINARY, ANIMAL SCIENCES AND BIOTECHNOLOGY

Веснина Л.В., Безматерных Д.М., Веснин Ю.А., Лассый М.В. Продукционный потенциал жаброногого рачка артемии в гипергалинных озерах равнины Алтайского края. 189

Vesnina L.V., Bezmaternyh D.M., Vesnin Yu.A., Lassyi M.V. Production potential of the brine shrimp artemia in hypersaline lakes of the plain of the Altai territory. 189

Владимиров Л.Н., Мачахтырова В.А., Мачахтыров Г.Н., Шадрина Я.Л., Заровняев С.И., Лукин В.Н., Слепцова М.Г. Генетическое разнообразие популяции аборигенного якутского скота по микросателлитным локусам. 199

Vladimirov L.N., Machakhtyrova V.A., Machakhtyrov G.N., Shadrina Y.L., Zarovnyev S.I., Lukin V.N., Sleptsova M.N. Genetic diversity of the population of aboriginal yakut cattle by microsatellite locuses. 199

Климанова Е.А., Александрова Д.А., Кочнев Н.Н. Полиморфизмы гена миостатина у животных (обзор). 209

Klimanova E.A., Alexandrova D.A., Kochnev N.N. Polymorphisms of the myostatin gene in animals (overreview). 209

Кудрявцева Д.Е., Распутина О.В. Видовые особенности архитектоники плаща конечного мозга у плотоядных. 220

Kudryavtseva D.E., Rasputina O.V. Species features of the architectonics pallium of the telencephalon in carnivores. 220

Меньш И.О., Ноздрин Г.А., Новик Я.В., Яковлева Н.С., Ухлова А.В., Ермакова Л.П. О влиянии микробиального препарата на яйценоскоть перепелок. 229

Mensh I.O., Nozdrin G.A., Novik Ja.V., Yakovleva N.S., Ukhlova A.V., Ermakova L.P. About the influence of a microbial preparation on the egg production of quail. 229

Микряков Д.В., Нечаева Т.А., Пронина Г.И., Назаров В.А., Суворова Т.А., Кузьмичева С.В., Ковальчук М.И. Влияние иммуномодулятора Ронколейкин на некоторые показатели неспецифического иммунитета арктического гольца. 235

Mikryakov D.V., Nechaeva T.A., Suvorova T.A., Kuzmicheva S.V., Pronina G.Y., Nazarov V.A., Kovalchuk M.I. Effect of immuno-modulator roncoleukin on some indices of nonspecific immunity of arctic char. 235

Политова М.А., Демин В.А., Черногар И.В. Новая методика оценки работоспособности молодняка верховых пород лошадей спортивного направления. 242

Politova, M.A., Demin V.A., Chernogar I.V. The new methodoly of performance testing for young horses of sport breeds. 242

Реймер В.А., Князев С.П., Лыскова В.Ю. Вывод цыплят кросса «ROSS 308» при различной влажности воздуха в инкубаторе. 251

Reimer V.A., Knyazev S.P., Lyskova V.Yu. Breeding of chickens of the ROSS-308 cross at different air humidity in the incubator. 251

Себежко О.И., Короткевич О.С., Кочнев Н.Н., Петухов В.Л., Коновалова Т.В., Себежко А.Н., Тарасенко Е.И. Особенности гематологического статуса коров разных пород Западной Сибири. 259

Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Kochnev N.N., Sebezhko A.N., Tarasenko E.I. Features of hematological status of cows of different breeds of Western Siberia. 259

Хромова О.Л., Абрамова Н.И., Селимян М.О., Зенкова Н.В. Происхождение и племенная ценность быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью 270

Khromova O.L., Abramova N.I., Selimyan M.O., Zenkova N.V. He origin and breeding value of the breeding bulls from which cows with record productivity were obtained. 270

АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-5-14
УДК 633.111.1+633.112.1

ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

[1]**Л.П. Байкалова,** доктор сельскохозяйственных наук

[2]**Ю.И. Серебренников,** кандидат сельскохозяйственных наук

[1]*Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия*

[2]*Уярский государственный сортоиспытательный участок филиала ФГБУ «Госсорткомиссия» по Красноярскому краю и Республике Хакасия, п. Емельяново Красноярского края, Россия*

E-mail: kos.69@mail.ru

Ключевые слова: яровая пшеница, урожайность, масса 1000 зёрен, устойчивость к полеганию, вегетационный период, содержание белка, содержание клейковины, сорт.

Реферат. *Задачи исследований – изучить критерий надёжности сортов яровой пшеницы по урожайности, массе 1000 зёрен, устойчивости к полеганию, продолжительности периода вегетации и технологическим параметрам – содержанию белка и клейковины. Однобокая селекция, направленная на повышение урожайности, снижает адаптивность сортов. В связи с этим имеется необходимость хозяйственно-биологической оценки сортов, которая позволит в полной мере реализовать адаптивность яровой пшеницы в Красноярском крае. Место проведения исследования – Уярский ГСУ, расположенный в лесостепной зоне Красноярского края. Качественный анализ осуществлялся в зональной Красноярской химико-технологической лаборатории по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур в 2019–2021 гг. Объекты исследования – 21 сорт яровой пшеницы, в том числе 19 сортов яровой мягкой пшеницы различных групп спелости и 2 сорта яровой твёрдой пшеницы. По урожайности лучшие результаты (более 7,0 т/га) получены у сортов мягкой пшеницы Экстра (раннеспелый); Новосибирская 41 (среднеранний); Гонец, Омская 44, Курагинская 2, Предгорная (среднеспелые); Лидер 80, Юнион (среднепоздние); а также у твердой пшеницы Омская степная. Обработка данных по методике, предложенной Д.А. Сапрыгиным, позволила осуществить комплексный анализ сортов яровой пшеницы с использованием урожайности, массы 1000 зёрен, устойчивости к полеганию, продолжительности вегетационного периода, содержанию белка и клейковины в зерне. По итогам такого анализа можно сказать, что критерий надёжности ($К_н$) самый высокий у сортов мягкой пшеницы Новосибирская 15, Новосибирская 16 (раннеспелые), Новосибирская 31, Новосибирская 41, Памяти Вавенкова (среднеранние), Гонец, Омская 44 (среднеспелые), Лидер 80, Белуха, Юнион (среднепоздние сорта) (мягкая пшеница), а также твердой пшеницы Омская степная.*

QUALITATIVE INDICATORS OF SPRING WHEAT VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

[1]**L.P. Baikalova,** Doctor of Agricultural Sciences

[2]**Yu. I. Serebrennikov,** PhD in Agricultural Sciences

[1]*Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia*

[2]*Uyarsky State Variety Testing Station of the branch of the Federal State Budgetary Institution "Gossortkomissiya" for the Krasnoyarsk Region and the Republic of Khakassia, Emelyanovo Krasnoyarsk Region, Russia.*

E-mail: kos.69@mail.ru

Keywords: spring wheat, reliability criterion, yield, weight of 1000 grains, resistance to lodging, the duration of the growing season, protein content, gluten content, variety.

Abstract. *The objectives of the research are to study the reliability criterion of spring wheat varieties in terms of yield, weight of 1000 grains, resistance to lodging, duration of the growing season and technological parameters - protein and gluten content. One-sided selection aimed at increasing productivity reduces the adaptability of varieties. In this regard, there is a need for economic and biological assessment of varieties, which will allow the adaptability of spring wheat to be fully realized in the Krasnoyarsk Territory. The location of the study is the Uyarsky GSU, located in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory. Qualitative analysis was*

carried out in the zonal Krasnoyarsk chemical-technological laboratory for variety testing of agricultural crops in 2019–2021. Objects of study: 21 varieties of spring wheat, incl. 19 varieties of spring soft wheat of different ripeness groups and 2 varieties of spring durum wheat. In terms of yield, the best results (more than 7.0 t/ha) were obtained from the bread wheat varieties Extra (early ripening); Novosibirskaya 41 (mid-early); Gonets, Omskaya 44, Kuraginskaya 2, Predgornaya (mid-season); Leader 80, Union (mid-late); as well as in Omsk steppe durum wheat. Data processing according to the method proposed by D.A. Saprygin, made it possible to carry out a comprehensive analysis of spring wheat varieties using yield, weight of 1000 grains, resistance to lodging, duration of the growing season, protein and gluten content in the grain. Based on the results of this analysis, we can say that the reliability criterion (Kn) is the highest for the bread wheat varieties Novosibirskaya 15, Novosibirskaya 16 (early ripening), Novosibirskaya 31, Novosibirskaya 41, Pamyati Vavenkova (mid-early), Gonets, Omskaya 44 (mid-ripening), Leader 80 , Belukha, Union (mid-late varieties) (soft wheat), as well as durum wheat Omsk steppe.

Яровая пшеница – одна из наиболее распространённых зерновых культур в России. Условия внешней среды оказывают существенное воздействие на качественные признаки и свойства сортов. В неблагоприятных условиях экологическая устойчивость сортов может приобретать повышенное значение [1]. В полевых условиях почти всегда происходит сложное взаимодействие множества факторов, и повышенная продуктивность сорта проявляется за счёт, прежде всего, его устойчивости к целому комплексу таких факторов [2, 3]. Согласно литературным данным [4], «высокая влажность и низкие температуры, как правило, снижают качество клейковины, а тёплые и аридные условия улучшают её». Это в основном проявляется в конце вегетации, что подтверждается исследованиями Прянишникова А.И. [5], Асеевой Т.А. и др. [4], Амелина А.В. и др. [6]. По данным Дёминой И.Ф. на формирование содержания белка и клейковины в зерне пшеницы яровой мягкой повлияли количество осадков в мае–июне, а также температура воздуха в июле–августе, что согласуется с вышеупомянутым утверждением [7]. Л.В. Волкова [8] выражает уверенность в том, что замена в производстве старых сортов новыми, более урожайными, с улучшенными качествами зерна, а также иными хозяйственно полезными признаками, будет способствовать в дальнейшем росту производства зерна пшеницы. В то же время стоит отметить, что однобокая селекция, направленная исключительно на повышение урожайности, может спровоцировать снижение адаптивной способности, ведь факторы среды влияют на формирование урожайности [9]. В связи с этим появляется необходимость «разработки системы сортов, которые по биологическим характеристикам будут взаимодополнять друг друга, что позволит стабилизировать зерновое производство» [10].

Цель исследования – оценить хозяйственно-биологические признаки и свойства сортов яровой пшеницы

Задачи: 1) определить качественные показатели зерна пшеницы – содержание белка и клейковины; 2) изучить критерий надёжности сортов яровой пшеницы по урожайности, массе 1000 зёрен, устойчивости к полеганию, продолжительности периода вегетации и технологическим параметрам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

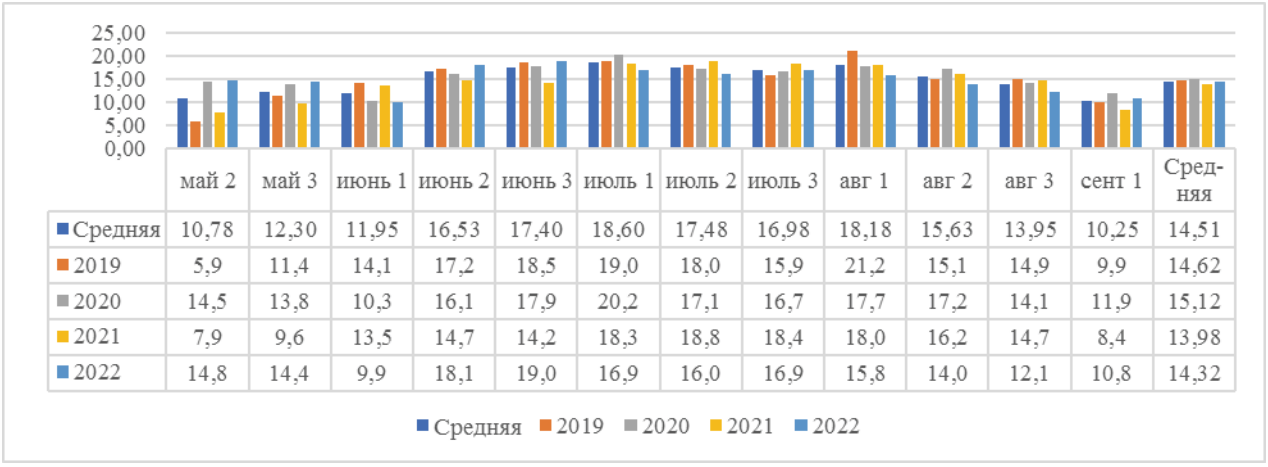
Полевые исследования проводились в 2019–2022 гг. на полях конкурсного сортоиспытания Уярского государственного сортоиспытательного участка в Красноярской лесостепи в соответствии с методиками госсортоиспытания [11, 12]. Почва – выщелоченный чернозём. Предшественник – пар чёрный. Опыты закладывали в четырёхкратной повторности с рендомизацией в пределах каждой повторности. Учётная площадь каждой делянки – 25,0 м^2. Способ посева – рядовой. Норма высева – 4,0 млн всхожих семян на 1 га. Обработку почвы осуществляли в соответствии с агротехническими требованиями, принятыми для данной почвенно-климатической зоны, вносили удобрения: куриный помёт (50 т/га), N (44 кг/га), P_2O_5 (52 кг/га). Посев проводили с помощью сеялки селекционного типа Wintersteiger, уборку – с использованием комбайна селекционного типа «Сампо-500». Качественные анализы проводили в зональной Красноярской химико-технологической лаборатории по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. Содержание белка определяли по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4-2019), клейковины – по ГОСТ Р 54478-2011.

В работе были использованы сорта яровой мягкой пшеницы Новосибирская 15, Канская,

Новосибирская 16, Экстра (раннеспелые); Алтайская 70, Новосибирская 29, Новосибирская 31, Новосибирская 41, Памяти Вавенкова (среднеранние); Алтайская 75, Гонец, Красноярская 12, Курагинская 2, Омская 44, Предгорная (среднеспелые), Лидер 80, Белуха, Свирель, Юнион (среднепоздние); а также сорта яровой твёрдой пшеницы Оазис, Омская степная. Стандартом в раннеспелой группе был сорт Новосибирская 15, в среднеранней – Алтайская 70, в среднеспелой – Алтайская 75, в среднепоздней – Лидер, у твердой пшеницы – сорт Оазис. Сорта-стандарты в табл. 1-4 выделены жирным шрифтом.

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г.Т. Селянинову [13]. Статистическая обработка результатов проведена по методике Б.А. Доспехова методом многофакторного дисперсионного анализа [14].

Климат зоны Красноярской лесостепи резкоконтинентальный. При этом показатели температуры и осадков за 2019–2022 гг. существенно отличались от среднемноголетних значений (рис. 1–3).



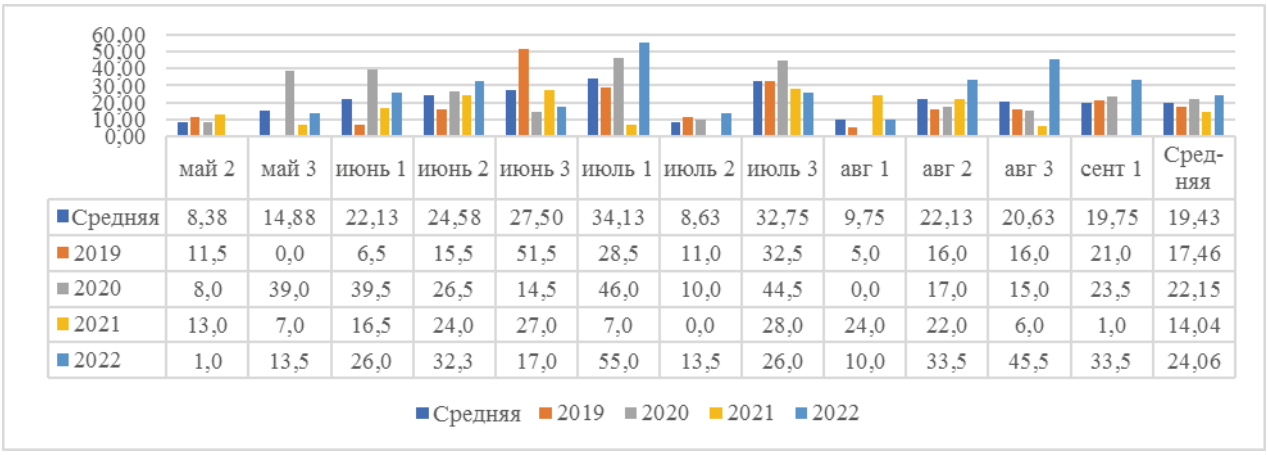
	май 2	май 3	июнь 1	июнь 2	июнь 3	июль 1	июль 2	июль 3	авг 1	авг 2	авг 3	сент 1	Средняя
Средняя	10,78	12,30	11,95	16,53	17,40	18,60	17,48	16,98	18,18	15,63	13,95	10,25	14,51
2019	5,9	11,4	14,1	17,2	18,5	19,0	18,0	15,9	21,2	15,1	14,9	9,9	14,62
2020	14,5	13,8	10,3	16,1	17,9	20,2	17,1	16,7	17,7	17,2	14,1	11,9	15,12
2021	7,9	9,6	13,5	14,7	14,2	18,3	18,8	18,4	18,0	16,2	14,7	8,4	13,98
2022	14,8	14,4	9,9	18,1	19,0	16,9	16,0	16,9	15,8	14,0	12,1	10,8	14,32

Рис. 1. Температура воздуха во второй декаде мая – первой декаде сентября (2019–2022 гг.)

Air temperature in the second ten days of May – the first ten days of September (2019–2022)

Самой прохладной декадой анализируемого периода «со второй декады мая по первую декаду сентября» оказалась первая декада сентября (+10,25 ^{0}C), а самой тёплой – первая декада июля (+18,60 ^{0}C) (см. рис. 1). Осадков меньше всего выпадало во второй декаде мая (8,38 мм), а больше всего – в первой декаде июля (34,13 мм) (см. рис. 2).

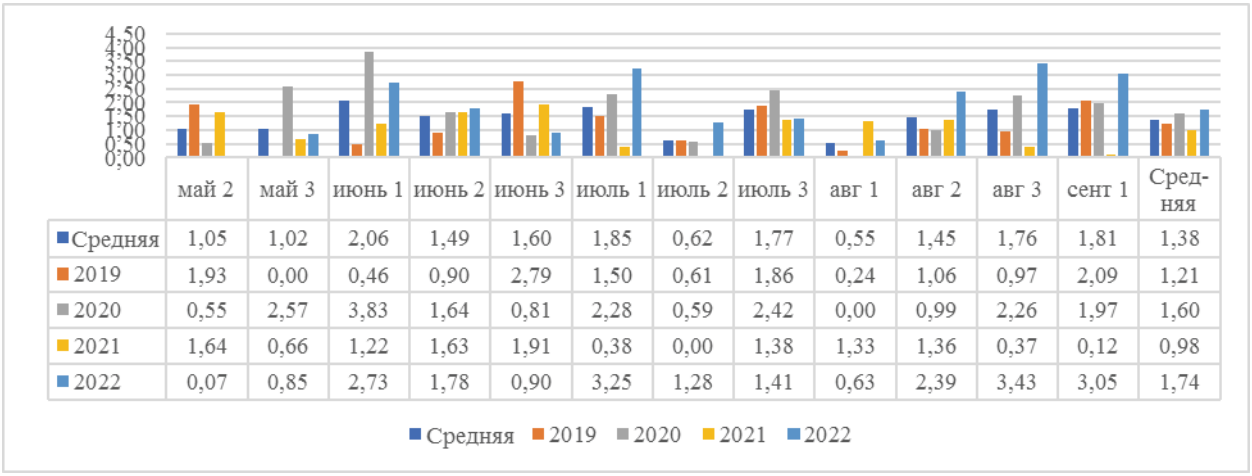
Самый низкий показатель ГТК отмечен в первой декаде августа (0,55), а самый высокий – в первой декаде июня (2,06) (см. рис. 3).



	май 2	май 3	июнь 1	июнь 2	июнь 3	июль 1	июль 2	июль 3	авг 1	авг 2	авг 3	сент 1	Средняя
Средняя	8,38	14,88	22,13	24,58	27,50	34,13	8,63	32,75	9,75	22,13	20,63	19,75	19,43
2019	11,5	0,0	6,5	15,5	51,5	28,5	11,0	32,5	5,0	16,0	16,0	21,0	17,46
2020	8,0	39,0	39,5	26,5	14,5	46,0	10,0	44,5	0,0	17,0	15,0	23,5	22,15
2021	13,0	7,0	16,5	24,0	27,0	7,0	0,0	28,0	24,0	22,0	6,0	1,0	14,04
2022	1,0	13,5	26,0	32,3	17,0	55,0	13,5	26,0	10,0	33,5	45,5	33,5	24,06

Рис. 2. Осадки во второй декаде мая – первой декаде сентября (2019–2022 гг.)

Precipitation in the second ten days of May – the first ten days of September (2019–2022)



	май 2	май 3	июнь 1	июнь 2	июнь 3	июль 1	июль 2	июль 3	авг 1	авг 2	авг 3	сент 1	Средняя
Средняя	1,05	1,02	2,06	1,49	1,60	1,85	0,62	1,77	0,55	1,45	1,76	1,81	1,38
2019	1,93	0,00	0,46	0,90	2,79	1,50	0,61	1,86	0,24	1,06	0,97	2,09	1,21
2020	0,55	2,57	3,83	1,64	0,81	2,28	0,59	2,42	0,00	0,99	2,26	1,97	1,60
2021	1,64	0,66	1,22	1,63	1,91	0,38	0,00	1,38	1,33	1,36	0,37	0,12	0,98
2022	0,07	0,85	2,73	1,78	0,90	3,25	1,28	1,41	0,63	2,39	3,43	3,05	1,74

Рис. 3. Гидротермический коэффициент во второй декаде мая – первой декаде сентября (2019–2022 гг.)
Hydrothermal coefficient in the second ten days of May – the first ten days of September (2019–2022)

По величине ГТК можно с большой долей вероятности охарактеризовать степень увлажнения за определённый период. Засушливым был период «вторая декада мая – первая декада сентября» в 2021 г. В 2019 г. увлажнение было недостаточное, а в 2020 и 2022 гг. – избыточное. Подекадный анализ погодных условий в среднем за годы исследований показал засушливые условия во второй декаде июля и первой декаде августа. Недостаточным было увлажнение во второй–третьей декадах мая. Достаточное увлажнение было во второй–третьей декадах июня, второй декаде августа; избыточное – в первой декаде июня, первой и третьей декадах июля, третьей декаде августа, первой декаде сентября (см. рис. 3).

Индекс условий среды (Ij) со знаком «-» в 2019 г. (-0,263) сменялся Ij со знаком «+» в 2020 г. (0,105). Затем эта рокировка повторялась в 2021 и 2022 гг. В результате наиболее благоприятным оказался 2022 г. (0,545), а 2021 г. – наименее благоприятным (-0,388).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшая урожайность (7,0 т/га и более) получена в среднем за 4 года у сортов Экстра (раннеспелый); Новосибирская 41 (среднеранний); Гонец, Омская 44, Курагинская 2, Предгорная (среднеспелые); Юнион, Лидер 80 (среднепоздние), а среди сортов твёрдой пшеницы лучший результат у сорта Омская степная (5,48 т/га) который, тем не менее, уступает даже худшему результату в наборе сортов мягкой пшеницы (табл. 1).

По массе 1000 зёрен в группе раннеспелых сортов лучшими оказались сорта Экстра и Новосибирская 16. В группе среднеранних сортов такими являются Алтайская 70, Памяти Вавенкова и Новосибирская 29. Курагинская 2, Алтайская 75, Предгорная имеют наибольшую массу 1000 зёрен в группе среднеспелых сортов. Самое крупное зерно в группе среднепоздних сортов – у сортов Лидер 80 и Свирель. Оазис имеет наиболее крупное зерно среди сортов твёрдой пшеницы (см. табл. 1).

Таблица 1

Урожайность и масса 1000 зёрен сортов пшеницы
Productivity and weight of 1000 grains of wheat varieties

Сорт	Урожайность, т/га					Масса 1000 зёрен, г				
	средняя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	средняя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Новосибирская 15	6,45	5,84	6,81	6,10	7,04	39,05	41,3	39,4	37,3	38,2
Канская	5,72	5,63	6,38	4,92	5,93	38,30	30,3	43,7	39,6	39,6

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Новосибирская 16	5,72	5,16	5,98	5,71	6,02	40,00	41,5	39,6	38,7	40,2
Экстра	7,38	7,14	7,43	6,68	8,25	42,75	41,3	47,4	42,3	40,0
Алтайская 70	5,78	5,33	6,15	5,19	6,46	43,25	40,3	47,2	44,0	41,5
Новосибирская 29	6,16	5,74	6,09	5,47	7,33	42,15	38,9	44,0	41,7	44,0
Новосибирская 31	6,88	6,43	7,24	6,59	7,25	38,83	37,0	43,7	38,5	36,1
Новосибирская 41	7,12	6,25	7,22	6,20	8,80	39,25	39,8	41,7	37,9	37,6
Памяти Вавенкова	6,83	6,64	6,17	6,40	8,10	43,03	46,2	41,4	40,5	44,0
Алтайская 75	6,37	6,56	6,21	5,27	7,43	46,08	47,5	49,5	42,5	44,8
Гонец	8,40	7,55	8,42	8,23	9,39	45,05	47,0	42,8	43,5	46,9
Красноярская 12	6,29	5,79	6,72	5,40	7,24	45,50	48,8	49,4	42,3	41,5
Курагинская 2	7,30	7,10	6,89	6,92	8,29	47,83	44,4	54,9	44,3	47,7
Омская 44	7,59	6,83	7,84	7,81	7,89	40,95	38,7	43,9	41,3	39,9
Предгорная	7,14	6,77	7,41	6,66	7,73	45,78	41,3	54,9	43,2	43,7
Лидер 80	8,20	7,81	8,57	7,39	9,01	47,63	51,5	52,9	42,7	43,4
Белуха	7,78	7,56	7,65	8,21	7,70	40,88	36,0	47,0	40,8	39,7
Свирель	6,16	6,89	5,74	6,22	5,79	45,53	48,4	48,8	42,8	42,1
Юнион	8,27	7,59	7,71	9,80	7,97	44,38	40,7	48,5	44,4	43,9
Оазис	4,45	5,60	5,47	2,77	3,95	54,85	54,4	61,3	53,3	50,4
Омская степная	5,48	5,70	5,55	5,35	5,32	45,70	47,4	46,1	45,5	43,8
$НСР_{05}$ А (сорт)	0,89						4,11			
$НСР_{05}$ В (год)	0,39						1,80			

По содержанию белка в числе лучших – сорта Новосибирская 15, Канская, Новосибирская 16 (раннеспелые); Новосибирская 29, Новосибирская 31, Новосибирская 41 (среднеранние); Алтайская 75, Красноярская 12 (среднеспелые); Белуха, Свирель (среднепоздние); Оазис (твёрдая пшеница) (табл. 2).

По содержанию клейковины выделились сорта Новосибирская 15, Канская, Новосибирская 16 (раннеспелые); Новосибирская 29, Новосибирская 31, Новосибирская 41 (среднеранние); Алтайская 75, Красноярская 12 (среднеспелые); Белуха, Свирель (среднепоздние); Омская степная (твёрдая пшеница) (см. табл. 2).

Исследования показали, что сорт в значительно большей степени, чем год, способствовал улучшению качественных показателей сортов яровой пшеницы. Это подтверждает результаты исследований Р.Р. Галеева и др. [15]. Кроме того, по утверждению А.А. Разиной и др. [16], важная роль в повышении показателей качества семян принадлежит их предпосевной обработке, которая может состоять из обработки семян фунгицидами и регуляторами роста растений.

Наиболее устойчивы к полеганию сорта Новосибирская 15, Новосибирская 16 (раннеспелые); Новосибирская 31, Новосибирская 41 (среднеранние); Гонец, Омская 44 (среднеспелые); Лидер 80, Белуха, Юнион (среднепоздние); Омская степная (твёрдая пшеница). При этом сорт Омская степная уступает по этому показателю почти всем представленным сортам мягкой пшеницы (табл. 3).

Таблица 2

Содержание белка и клейковины у сортов пшеницы, %
Protein and gluten content of wheat varieties, %

Сорт	Белок					Клейковина				
	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Новосибирская 15	16,35	16,8	15,5	16,4	16,7	33,78	34,2	32,2	35,0	33,7
Канская	16,10	17,5	15,0	16,9	15,0	32,40	35,4	28,7	35,0	30,5
Новосибирская 16	17,08	18,2	16,7	16,8	16,6	34,70	36,8	33,1	35,3	33,6
Экстра	14,25	14,8	13,8	14,6	13,8	28,18	29,9	28,4	28,6	25,8
Алтайская 70	15,98	16,7	15,4	16,5	15,3	32,35	32,4	32,0	34,0	31,0
Новосибирская 29	17,18	17,2	16,9	17,7	16,9	33,88	34,4	31,5	35,9	33,7
Новосибирская 31	16,70	18,5	15,8	17,0	15,5	33,08	37,3	30,2	33,9	30,9
Новосибирская 41	16,85	18,8	16,2	16,4	16,0	33,50	37,6	31,8	33,5	31,1
Памяти Вавенкова	16,13	17,1	15,2	16,1	16,1	32,35	34,0	30,8	33,4	31,2
Алтайская 75	15,33	15,4	15,8	15,7	14,4	31,00	31,2	30,6	32,4	29,8
Гонец	14,13	14,5	14,5	14,9	12,6	28,28	29,4	28,7	30,0	25,0
Красноярская 12	15,98	17,4	15,7	16,0	14,8	32,38	35,0	32,0	33,3	29,2
Курагинская 2	14,35	15,5	14,3	14,4	13,2	28,75	31,5	27,4	30,3	25,8
Омская 44	14,43	16,1	14,8	14,4	12,4	28,80	32,2	29,6	29,4	24,0
Предгорная	13,65	14,0	14,0	14,2	12,4	26,90	28,1	27,3	29,6	22,6
Лидер 80	13,80	14,9	13,3	14,2	12,8	27,98	29,9	27,4	29,8	24,8
Белуха	15,33	16,5	15,4	15,5	13,9	31,60	34,2	30,7	33,3	28,2
Свирель	14,90	15,8	15,2	13,8	14,8	30,23	33,1	30,4	29,0	28,4
Юнион	13,35	14,4	13,2	13,6	12,2	26,15	29,2	23,8	27,9	23,7
Оазис	15,50	17,1	15,2	14,9	14,8	29,93	35,6	29,6	30,7	23,8
Омская степная	15,10	16,5	14,5	15,2	14,2	30,68	34,8	27,7	31,4	28,8
$НСР_{05}$ А (сорт)					0,84					2,12
$НСР_{05}$ В (год)					0,37					0,93

Наименьшей продолжительностью вегетационного периода характеризуются сорта Новосибирская 15, Новосибирская 16, Экстра (раннеспелые); Новосибирская 31, Памяти Вавенкова (среднеранние); Гонец, Красноярская 12 (среднеспелые); Белуха (среднепоздние); Омская степная (твёрдая пшеница) (см. табл. 3).

Таблица 3

Устойчивость к полеганию и вегетационный период
Resistance to lodging and growing season

Сорт	Устойчивость к полеганию, балл.					Вегетационный период, суток				
	средняя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	средний	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Новосибирская 15	4,33	4,0	4,0	4,8	4,5	75,75	68	78	70	87
Канская	2,83	2,8	2,5	2,5	3,5	80,50	71	79	76	96
Новосибирская 16	4,45	4,0	4,3	5,0	4,5	75,50	70	77	69	86
Экстра	3,95	4,0	4,0	3,8	4,0	77,50	69	79	72	90
Алтайская 70	3,53	2,8	3,8	3,5	4,0	82,00	74	81	76	97

Окончание табд. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Новосибирская 29	3,43	3,3	2,8	3,3	4,3	80,25	73	81	75	92
Новосибирская 31	3,85	3,8	3,3	4,5	3,8	79,50	71	81	75	91
Новосибирская 41	4,03	4,0	3,8	4,3	4,0	80,50	71	81	75	95
Памяти Вавенкова	3,78	3,8	3,5	3,5	4,3	79,75	72	81	77	89
Алтайская 75	3,55	3,8	3,1	3,3	4,0	86,50	76	84	82	104
Гонец	4,78	4,3	5,0	4,8	5,0	85,00	76	82	80	102
Красноярская 12	3,35	3,3	3,5	2,8	3,8	84,00	78	82	77	99
Курагинская 2	3,53	3,8	3,5	2,5	4,3	86,00	80	82	82	100
Омская 44	4,15	3,8	4,5	4,0	4,3	88,50	75	84	92	103
Предгорная	3,35	3,5	3,0	2,5	4,4	89,00	80	83	90	103
Лидер 80	4,45	5,0	4,3	3,5	5,0	90,50	78	88	93	103
Белуха	4,73	5,0	4,5	4,8	4,6	89,25	79	85	91	102
Свирель	2,90	3,0	2,8	2,5	3,3	91,00	81	86	93	104
Юнион	4,50	5,0	3,8	4,8	4,4	91,00	77	87	95	105
Оазис	2,53	3,3	2,8	2,0	2,0	89,75	77	86	92	104
Омская степная	3,23	3,8	2,8	2,8	3,5	84,50	73	81	88	96

По мнению Д.Ф. Федосенко, «особое значение имеют методики, позволяющие оценить образцы по урожайности, массе 1000 зёрен, технологическим показателям, устойчивости к полеганию и продолжительности вегетационного периода» [17]. В конце XX в. эта методика была рекомендована для определения экологической пластичности [18]:

$$Кн = [(X1 * X2) + (X1 * X3) + X4] * X5/X6 * X7,$$

где $К_н$ – критерий надёжности, пластичности сорта;
X_1 – урожайность зерна, т/га;
X_2 – содержание белка, %;
X_3 – содержание клейковины, %;
X_4 – масса 1000 зёрен, г;
X_5 – устойчивость к полеганию, балл.;
X_6 – вегетационный период, дн.;
X_7 – условный коэффициент усиления (равен 5).

Таблица 4

Коэффициент надёжности ($К_н$) сортов яровой пшеницы
Reliability coefficient (Kn) of spring wheat varieties

Сорт	Кн	Сорт	Кн
1	2	3	4
Новосибирская 15	37,350	Красноярская 12	24,611
Канская	19,723	Курагинская 2	26,184
Новосибирская 16	35,367	Омская 44	31,163
Экстра	32,330	Предгорная	22,148
Алтайская 70	24,397	Лидер 80	34,136

Окончание табд. 4

1	2	3	4
Новосибирская 29	27,191	Белуха	39,088
Новосибирская 31	33,532	Свирель	18,007
Новосибирская 41	36,229	Юнион	32,737
Памяти Вавенкова	31,740	**Оазис**	11,676
Алтайская 75	24,590	Омская степная	19,496
Гонец	40,510		

К числу лучших по критерию надёжности $К_н$ следует относить сорта с наибольшим количеством баллов. Такие сорта способны сохранять более высокую урожайность, а также технологические качества в нестабильных условиях вегетации [19]. В группе раннеспелых сортов лучшие результаты показали сорта Новосибирская 15 (37,350) и Новосибирская 16 (35,367). Экстра (32,330) уступила им при этом совсем немного в отличие от Канской (19,723) (табл. 4).

Новосибирская 41, Новосибирская 31 и Памяти Вавенкова проявили намного более высокую устойчивость к нестабильным условиям периода вегетации в группе среднеранних сортов. В группе среднеспелых сортов идентично себя проявили сорта Гонец и Омская 44, у которых $К_н$ был заметно выше, чем у остальных сортов. В группе среднепоздних сортов наиболее устойчивыми к «метеокачелям» в период вегетации оказались Белуха, Лидер 80, Юнион. Из сортов твёрдой пшеницы сорт Омская степная показал чуть большую способность сохранять более высокую урожайность и технологические качества в очень изменчивых условиях вегетации, по сравнению с контрольным сортом Оазис.

ВЫВОДЫ

1. Лучшими по содержанию белка и клейковины среди сортов яровой мягкой пшеницы являются раннеспелые сорта Новосибирская 15, Канская, Новосибирская 16; среднеранние – Новосибирская 29, Новосибирская 31, Новосибирская 41; среднеспелые – Алтайская 75, Красноярская 12; среднепоздние – Белуха, Свирель. По содержанию белка среди сортов твёрдой яровой пшеницы выделяется сорт Оазис, а по содержанию клейковины – Омская степная.

2. По критерию надёжности $К_н$ наибольшей способностью сохранять более высокую урожайность и технологические свойства в отличающихся условиях вегетации обладают раннеспелые сорта: Новосибирская 15, Новосибирская 16; среднеранние Новосибирская 31, Новосибирская 41, Памяти Вавенкова; среднеспелые Гонец, Омская 44; среднепоздние Лидер 80, Белуха, Юнион и твёрдая пшеница Омская степная.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фатыхов И.Ш., Исламова Ч.М., Колесникова Е.Ю.* Экологическая пластичность и стабильность сортов яровой пшеницы на госсортоучастках Удмуртской Республики // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (53). – С. 44–50.
2. *Мозговой С.С., Пантюхов И.В., Келер В.В.* Экологическая пластичность сортов яровой пшеницы в лесостепи Красноярского края // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 9 (162). – С. 121–128.
3. *Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г.* Стекловидность зерна и оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 44–50.
4. *Влияние* погодных условий на формирование урожая и качество зерна яровой пшеницы в среднем Приамурье / Т.А. Асеева [и др.] // Вестник ДВО РАН. – 2016. – № 2 (186). – С. 64–70.
5. *Прянишников А.И.* Научные основы адаптивной селекции в Поволжье. – М.: РАН, 2018. – 96 с.

6. *Биохимические* показатели качества зерна у современных сортов яровой пшеницы / А.В. Амелин, Е.И. Чекалин, В.В. Заикин [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 2 (77). – С. 3–11.
7. *Дёмина И.Ф.* Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 4, Т. 23. – С. 433–440.
8. *Волкова Л.В.* Новые сорта яровой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2022 г.). – Киров, 2022. – С. 47–52.
9. *Чекмарёв В.В.* Погодные условия и урожайность яровой пшеницы // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 1. – С. 46–51.
10. Шаболкина Е.Н., Чичкин А.П. Влияние условий выращивания на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в степном Заволжье // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 1. – С. 102–111.
11. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1: Общая часть. – М., 2019. – 329 с.
12. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. – М., 1989. – 194 с.
13. *Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 169–178.
14. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
15. *Галеев Р.Р., Самарин И.С., Андреева З.В.* Влияние погодных условий на урожайность и качество мягкой яровой пшеницы в интенсивном земледелии лесостепи новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 4 (45). – С. 9–15.
16. *Разина А.А., Бояркин Е.В., Дятлова О.Г.* Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной подготовки семян // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 9. – С. 67–73. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-67–73.
17. *Федосенко Д.Ф.* Сибирские образцы яровой мягкой пшеницы как исходный материал для селекции в условиях Красноярской лесостепи: дис. … канд. с.-х. наук. – Красноярск, 2021. – 145 с.
18. *Метод* функционального критерия надёжности сортов яровой пшеницы для массового производства: метод. рекомендации / Сиб. НИИ растениеводства и селекции. – Новосибирск: ВАСХНИЛ, 1984. – 39 с.
19. *Байкалова Л.П., Серебренников Ю.И.* Пластичность сортов яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 8. – С. 3–11. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-3-11.

REFERENCES

1. Fatyhov I.Sh., Islamova Ch.M., Kolesnikova E.Yu., *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 1 (53), pp. 44–50. (In Russ.)
2. Mozgovoy S.S., Pantyukhov I.V., Keler V.V., *Vestnik KrasGAU*, 2020, No. 9 (162), pp. 121–128. (In Russ.)
3. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 2 (67), pp. 44–50. (In Russ.)
4. Aseeva T.A. [i dr.], *Vestnik DVO RAN*, 2016, No. 2 (186), pp. 64–70. (In Russ.)
5. Prjanishnikov A.I., *Nauchnyje osnovy adaptivnoj selekcii v Povolzhyje* (Scientific foundations of adaptive breeding in the Volga region), Moscow: RAN, 2018, 96 p.
6. Amelin A.V., Chekalin E.I., Zaikin V.V., Mazalov V.I., Gorodov V.T., Ikusov R.A., *Vestnik agrarnoj nauki*, 2019, No. 2 (77), pp. 3–11. (In Russ.)
7. Djomina I.F., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 4 (23), pp. 433–440. (In Russ.)
8. Volkova L.V., *Metody i tehnologii v selekcii rastenij i rastenievodstve* (Methods and technologies in plant breeding and crop production), Proceeding of bthe Conference Title, Kirov, 2022, pp. 47–52. (In Russ.)
9. Chekmarjov V.V., *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2012, No. 1, pp. 46–51. (In Russ.)
10. Shabolkina E.N., Chichkin A.P., *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2012, No. 1, pp. 102–111. (In Russ.)
11. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytanija selskohozjajstvennyh kultur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Vyp. 1, Obshchaja chast, Moscow, 2019, 329 s.

12. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytanija selskohozjajstvennyh kultur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Vyp. 2. Zernovyje, krupjanyje, zernobobovyje, kukuruza i kormovyje kultury, Moscow, 1989, 194 p.
13. Seljaninov G.T., *Trudy o selskohozjajstvennoj meteorologii*, 1928, Vyp. 20, pp. 169–178. (In Russ.)
14. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
15. Galeev R.R., Samarin I.S., Andreeva Z.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universtet)*, 2017, No. 4 (45), pp. 9–15. (In Russ.)
16. Razina A.A., Boyarkin E.V., Dyatlova O.G., *Vestnik KrasGAU*, 2022, No. 9, pp. 67–73, DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-67-73. (In Russ.)
17. Fedosenko D.F., *Sibirskie obraztsy yarovoy myagkoy pshenitsy kak iskhodnyy material dlya selektsii v usloviyakh Krasnoyarskoy lesostepi* (Siberian samples of spring soft wheat as source material for selection in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe), dis. ... candidate of Agricultural Sciences, Krasnoyarsk, 2021, 145 p.
18. *Metod funktsional'nogo kriteriya nadezhnosti sortov yarovoy pshenitsy dlya massovogo proizvodstva* (Method of functional criterion of reliability of spring wheat varieties for mass production), Sib. Research Institute of Crop Production and Breeding, Novosibirsk: VASHNIL, 1984, 39 p.
19. Baykalova L.P., Serebrennikov Yu.I., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 8, pp. 3–11, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-3-11. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-15-24
УДК 631.5:633.2.031

СПОСОБЫ РАЗДЕЛКИ ПЛАСТА СТАРОВОЗРАСТНОГО ПОСЕВА МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Д.Ю. Бакшаев, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.И. Кашеваров, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: bakshaevd@mail.ru

Ключевые слова: дернина, многолетние травы, обработка, вспашка, гербицид, дискование, урожайность.

Реферат. *Представлены результаты исследований за 2014–2016 гг. по эффективности способов основной обработки дернины старовозрастных посевов многолетних трав в условиях лесостепной зоны Западной Сибири на чернозёме выщелоченном среднемощном среднегумусном среднесуглинистом. Цель исследований – оптимизировать приёмы основной обработки дернины, установить их влияние на запасы продуктивной влаги в почве и продуктивность пластовой культуры. Установлено, что максимальная урожайность пластовой культуры получена при вспашке травостоев в осенние сроки. Сбор зелёной массы пластовой культуры – овса на следующий год составил 173 ц/га, зерна 22,7 ц/га и был обеспечен за счёт улучшения влагообеспеченности посевов (31–51 % в слое почвы 0–20 см), более высокой всхожести (21–35 %) и высоты растений овса (4–23%). Затраты на получение продукции составили 6 429 руб./га, рентабельность – 253 %. Осенняя обработка гербицидом сплошного действия Торнадо (изопропиламинная соль, 360 г/л кислоты, норма внесения 2 л/га) с последующим дискованием в два следа весной снижает урожайность зелёной массы на 17 %, зерна на 8 % и может быть рекомендована при доминировании в исходном травостое злостных корнеотпрысковых сорняков – пырея, видов осота и т.д. После обработки доля сорняков в посевах пластовой культуры не превышала 2 % (однолетние виды). Затраты на обработку составили 8 859 руб./га, рентабельность 135 %. Весенняя разделка дернины БДТ-3 в два следа снижает сбор зелёной массы по сравнению с осенней вспашкой на 42 %, зерна на 48 % за счёт понижения влажности почвы в корнеобитаемом слое (0–20 см) весной на 31–51 %, полевой всхожести на 30 %, высоты растений на 23 % при максимальных в опыте показателях засорённости – 14–24 шт./м2, или 5,6 %. Затраты составили 4 698 руб./га, рентабельность – 151 %.*

METHODS OF CUTTING THE LAYER OF OLD-AGE SOWING OF PERENNIAL GRASSES

D.Y. Bakshaev, Candidate of Agricultural Sciences

N.I. Kashevarov, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

E-mail: bakshaevd@mail.ru

Keywords: sod, perennial grasses, processing, plowing, herbicide, disking, yield.

Summary: *The results of research for 2014–2016 on the effectiveness of methods of basic sod processing of old-age crops of perennial grasses in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia on leached medium-sized medium-humus medium-loamy chernozem are presented. The purpose of the research is to optimize the methods of basic processing of sod, to establish their effect on the reserves of productive moisture in the soil and the productivity of reservoir culture. It was found that the maximum yield of the reservoir crop was obtained when plowing grass stands in the autumn. The collection of the green mass of the stratum culture - oats for the next year amounted to 173 kg/ha, grain 22.7 kg/ha and was ensured by improving the moisture supply of crops (+31...51% in the soil layer 0-20 cm), higher germination (+21...35%) and the height of oat plants (+4...23%). The cost of obtaining products amounted to 6429 rubles / ha, profitability of 253%. Autumn treatment with a continuous-action Tornado herbicide (isopropylamine salt, 360 g/l acid, application rate of 2 l/ha) followed by disking in two tracks in spring reduces the yield of green mass by 17%, grain by 8% and can be recommended when malicious root weeds – wheatgrass, osota species and etc. After treatment, the proportion of weeds in the reservoir crops did not exceed 2% (annual species). Processing costs amounted to 8859 rubles/ ha, profitability of 135%. Spring cutting of the BDT-3 turf in two traces reduces the collection of green mass by 42% compared with autumn plowing, grain by 48% due to a decrease in soil moisture in the root layer (0-20*

cm) in spring by 31-51%, field germination by 30%, plant height by 23% with maximum clogging indicators in the experiment – 14-24 pcs/m2 or 5.6%. The costs amounted to 4,698 rubles/ha, with a profitability of 151%.

Максимальная продуктивность многолетних трав в посевах достигается в первые 5–7 лет, в дальнейшем целесообразность использования травостоев снижается. Минимальное продуктивное долголетие имеет клевер луговой (2 года пользования), затем идёт эспарцет песчаный (4–5 лет), люцерна (5–7 лет), максимальное продуктивное долголетие у галеги восточной (10 лет и более) [1].

Накапливая в первые три года пользования до 8,0–10,0 т/га сухой массы корней, что соответствует внесению за вегетацию 100–120 кг/га азота, травы обеспечивают потребность в нём для 3–5 последующих культур севооборота. Но этот потенциал в производстве практически не используется, а если используется, то недостаточно [2].

Происходит это по причине попытки продления периода использования многолетних травостоев даже при снижении их продуктивности. При этом уменьшается как сбор кормовой массы, так и её качество за счёт вытеснения из структуры травостоя наиболее ценных бобовых видов сорняками. В связи с этим целесообразно использовать многолетние травы в течение 3–5 лет, затем – распахивать травостой.

Свойство многолетних трав давать урожай там, где остальные сельскохозяйственные культуры убыточны или их производство невозможно ввиду недостаточного плодородия почв, часто служит единственно приемлемым методом повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий [3]. Утрата экологической функции почв сказывается на устойчивом развитии территорий [4]. При этом один из основных резервов развития агропромышленного комплекса – это вовлечение залежных земель в сельскохозяйственный оборот, что связано с проблемой технико-технологического обеспечения данных работ [6]. В связи в этим часто встаёт вопрос о замене вспашки менее энергоёмкими и глубокими обработками, такими как дискование и фрезерование, обеспечивающими качественное крошение дернины и создание семенного ложа.

Традиционно в производстве в качестве основной обработки дернины многолетних травостоев наиболее распространена осенняя вспашка [7]. При этом она наиболее энергетически затратна, приводит к деструкции почвенных агрегатов, наибольшему износу техники и повышенным инвестициям в её восстановление [8–11].

В последнее время в связи с распространением минимальных и даже нулевых обработок почвы экспертами ФАО – продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН указывается, что традиционные технологии земледелия исчерпали себя и зашли в тупик. Получили распространение другие виды обработки, заменяющие вспашку, дискование и фрезерование [12–14]. Для искоренения нежелательной растительности используют гербициды [15–18].

Таким образом, многообразие способов разделки пласта старовозрастных посевов многолетних трав вызывает необходимость в уточнении эффективности методов и их целесообразности, в том числе через оценку урожайности пластовой культуры.

Цель исследований – оптимизировать приёмы основной обработки дернины старовозрастных сеяных травостоев многолетних трав в лесостепной зоне Западной Сибири.

Задачи исследований:

1. Выявить влияние приёмов обработок дернины старовозрастных сеяных травостоев многолетних трав на урожайность пластовой культуры.
2. Определить влияние приёмов обработки дернины старовозрастных травостоев многолетних трав на влажность почвы.
3. Дать экономическую оценку способам обработки дернины старовозрастного травостоя.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Условия проведения исследований

Исследования проводились в полевых опытах лаборатории технологий возделывания кормовых культур на научно-экспериментальной базе СибНИИ кормов СФНЦА РАН, располо-

женной в лесостепи Приобья, относящейся к Западно-Сибирскому региону лесостепной зоны. Географическая привязка общего массива полевых исследований определяется GPS-навигацией с геолокацией 54°55′12″ с.ш. 82°59′28″ в.д., высота над уровнем моря 114 м. Почва опытного участка зональная – чернозём выщелоченный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый, содержание гумуса в $A_{пах}$ составляет 6,58 %. Почва характеризуется высокой обеспеченностью подвижным фосфором (в слое 0–20 см – 22 мг/100 г почвы) и обменного калия (в слое 0–20 см – 21,4 мг/100 г почвы) (по Чирикову). Реакция почвенного раствора (pH)=7,4. Сумма поглощенных оснований 32,6 ммоль (экв)/100 г. Плотность почвы в слоях 0–20 и 20–40 см равна соответственно 1,16 и 1,22 г/см^3, а влажность устойчивого завядания – 10,2 и 8,0 мм. Грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены [19].

Климат зоны континентальный с относительно коротким летом и продолжительной холодной зимой. Увлажнение в средние по осадкам годы несколько недостаточное и составляет 386 мм, из них 254 в тёплый период года (апрель–сентябрь). В течение года они распределены неравномерно. Наибольшее количество выпадает летом – в июле (60 мм); с ноября по март выпадает 17–20 % годовой суммы осадков. Вероятность влажных лет 10–25 %, полузасушливых и засушливых – 40–65 %. Гидротермический коэффициент увлажнения по Селянинову (ГТК) составляет 1,20. Самый холодный месяц – январь, со среднесуточной температурой – 19,4 °С, самый жаркий – июль 18,4 °С. Сумма положительных температур выше +10 °С в среднем составляет 1 880 °С, с отклонениями по годам от 1 500 до 2 250 °С. Весенние заморозки в воздухе возможны до 20 мая, на почве – до 17 июня. Начало осенних заморозков приходится на конец августа.

По условиям тепло- и влагообеспеченности вегетационные периоды 2014–2015 гг. по показателю ГТК характеризовались как недостаточно увлажнённые (1,23–1,26), 2016 г. – как очень засушливый (0,67).

Схема опыта:

Вспашка осенью (контроль).

Дискование в два следа осенью.

Фрезерование дернины осенью в два следа.

Обработка дернины гербицидом сплошного действия осенью с последующим дискованием в два следа весной.

Дискование весной в два следа.

Общая площадь делянки 288 м^2. Повторность опыта 3-кратная. Использовали гербицид сплошного действия Торнадо (изопропиламинная соль, 360 г/л кислоты), норма внесения 2 л/га. Вспашку проводили плугом ПН-3-35, дискование БДТ-3, фрезерование ФБН.

Объектами исследований в 2014 г. был кострецово-клеверный травостой 8-го года жизни, в 2015 г. – травостой костреца безостого 12-го года жизни, в 2016 г. – кострецово-люцерновый травостой 6-го года жизни.

Перед посевом опыта отбирали пробы почвы для определения влажности. Посев опыта проводили сеялкой СН-16. Глубина заделки семян 4–6 см. Нормы высева овса Краснообский – 5,5 млн всхожих семян на 1 га (200 кг). Посев рядовой с шириной междурядий 15 см.

Основные методы исследований – полевые опыты и лабораторные анализы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка дернины старовозрастных посевов многолетних трав проходила в сроки, установленные схемой опыта. Обработка гербицидом Торнадо осенью по вегетирующим растениям уничтожила всю растительность, произошло её усыхание (рис. 1). Последующая обработка БДТ-3 механически разрушила дернину, подготовив поле к посеву пластовой культуры. Проведение двукратного дискования весной без использования гербицида также разрушило дернину, однако полной гибели растительности не было отмечено. Визуально после прохождения агрегата на поверхности поля оставались зелёные части растений многолетних трав и сорняков, которые к моменту посева пластовой культуры продолжали вегетировать.



а б

Рис. 1. Вид поля: а – после обработки гербицидом Торнадо осенью и последующим прохождением БДТ-3 весной; б – после проведения повторного дискования весной без использования гербицида

Type of field: a – after treatment with Tornado herbicide in the fall and subsequent passage of BDT-3 in the spring; b – after repeated disking in the spring without the use of herbicide

Установлено значительное влияние обработок на запасы продуктивной влаги в почве. Максимальные запасы в корнеобитаемом слое 0–20 см зафиксированы на варианте «вспашка осенью» (контроль) 17,6–21,6 мм (рис. 2, 3). Замена вспашки дискованием БДТ–3 и фрезерованием ФБН снизило содержание влаги 5 мая на 15,3–23,1 %, 25 мая на 10,8–15,9 %. Весеннее дискование травостоев максимально снизило запасы влаги в верхнем слое до 10,6–11,3 мм, которые несколько повысились к концу месяца при выпадении осадков в мае в 2014–2015 гг. В метровом слое ситуация по запасам продуктивной влаги в целом повторилась.

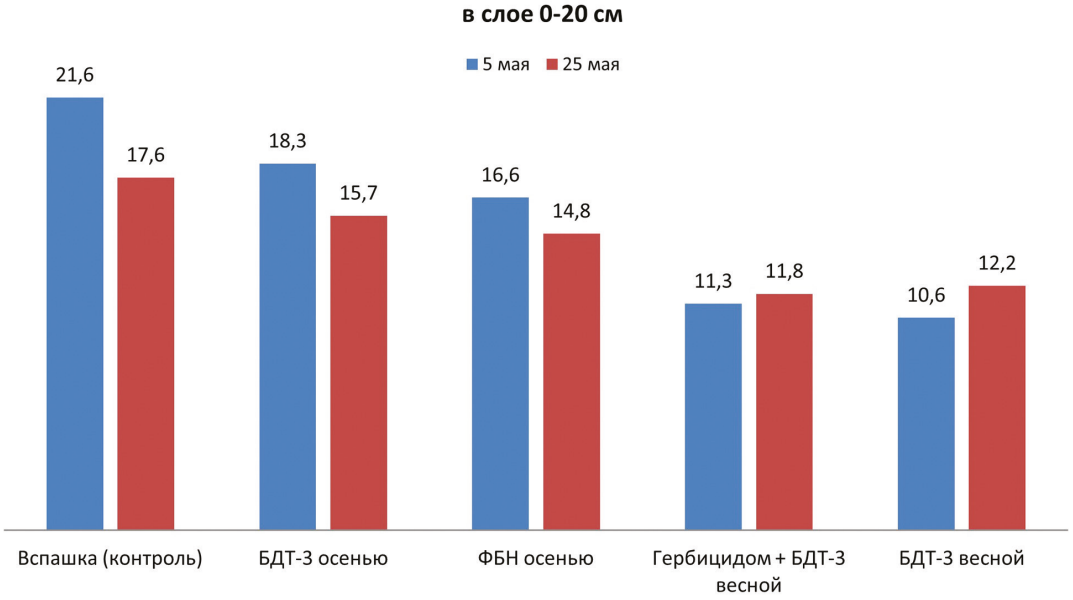


Рис. 2. Запасы продуктивной влаги в почве при различных способах обработки пласта многолетних трав, мм (среднее за 2014–2016 гг.)

Productive moisture reserves in the soil for various methods of processing a layer of perennial grasses, mm (average for 2014–2016)

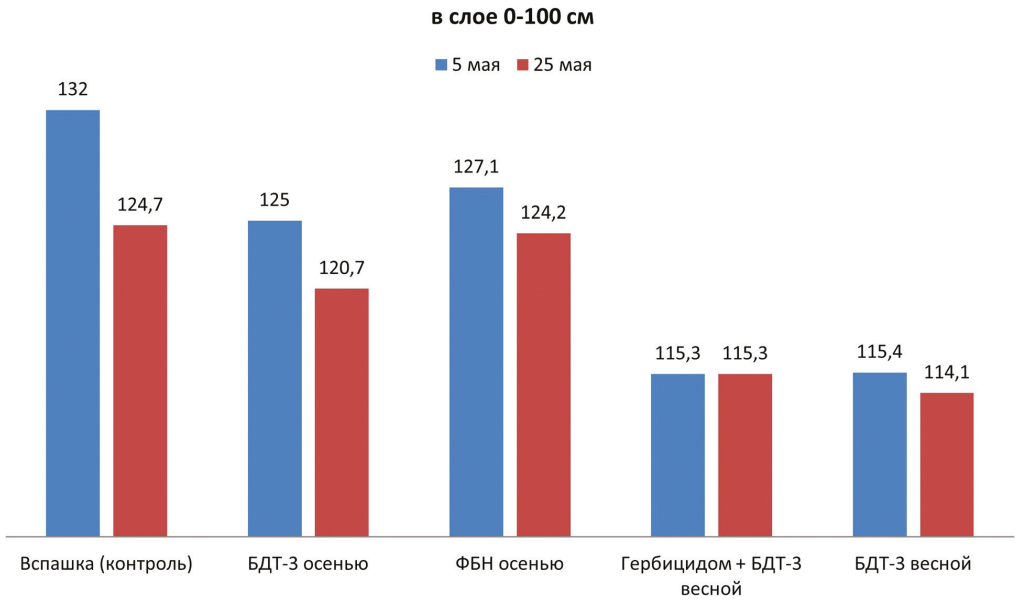


Рис. 3. Запасы продуктивной влаги в почве при различных способах обработки пласта многолетних трав, мм (среднее за 2014–2016 гг.)

Productive moisture reserves in the soil for various methods of processing a layer of perennial grasses, mm (average for 2014–2016)

Содержание влаги в корнеобитаемом (0–20 см) слое почвы положительно сказалось на всхожести пластовой культуры – овса. По данным за 2014–2016 гг. наиболее полные всходы растений овса получены на контроле (вспашка осенью) – 430 шт./м^2 и при обработке дернины гербицидом осенью с последующим дискованием весной – 398 шт./м^2, что составило соответственно 86 и 77 % от нормы высева (табл. 1).

Таблица 1

Влияние способов обработки дернины старовозрастного травостоя многолетних трав на полевую всхожесть овса (данные за 2014–2016 гг.)
The influence of methods of processing the sod of old-growth perennial grasses on the field germination of oats (data for 2014–2016)

Вариант обработки	Полевая всхожесть							
	шт./м^2				%			
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее
Вспашка осенью (контроль)	440	381	471	430	88	76	94	86
БДТ-3 осенью	376	286	369	343	75	57	78	68
ФБН осенью	–	307	391	349	–	61	69	65
Гербицид осенью + БДТ-3 весной	421	345	428	398	84	69	79	77
БДТ-3 весной	280	276	291	282	56	55	56	56

Отрицательный отклик получен на дискование и фрезерование дернины осенью в два следа: такая обработка снижает густоту всходов овса по сравнению с контролем на 19–21 % до 343–349 шт./м^2. Максимальное снижение густоты всходов отмечено при обработке дернины БДТ-3 весной – 56 %, или 282 шт./м^2. Отмечена средняя положительная корреляционная связь густоты травостоя овса с содержанием влаги перед посевом (r = 0,49–0,55).

Помимо снижения всхожести овса наблюдалось понижение сохранности растений к

уборке. Максимальная сохранность отмечена на варианте вспашки осенью – 88 %, составила 380 шт./м^2; минимальная – на варианте обработки БДТ-3 весной – 80 %, или 228 шт./м^2, что связано с засушливостью вегетационного периода в первой половине вегетации.

Учёт высоты растений подтвердил преимущество варианта со вспашкой, при котором в среднем за 2014–2016 гг. высота стеблестоя составила 97 см (рис. 4).

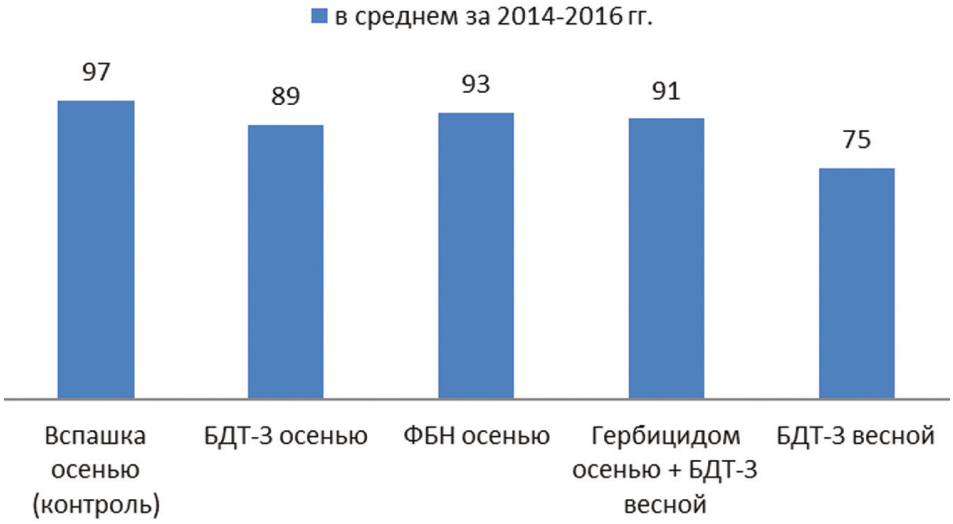


Рис. 4. Влияние способа обработки дернины старовозрастного травостоя на высоту растений овса в фазу цветения, см

The influence of the method of processing turf of old-growth grass on the height of oat plants in the flowering phase, cm

Наименьший показатель высоты – 75 см – был отмечен при разделке дернины БДТ-3 весной перед посевом. При внесении гербицида в осенний период и разделке дернины весной дисковой бороной, на варианте при двукратной обработке осенью дернины дисковой бороной, а также на варианте, где дернина в осенний период разрабатывалась фрезой, высота растений овса снижалась незначительно: на 4–8 см. По-видимому, при осенних сроках обработки дернины создаются более благоприятные условия для роста и развития пластовой культуры, что положительно сказалось на росте растений и величине урожая.

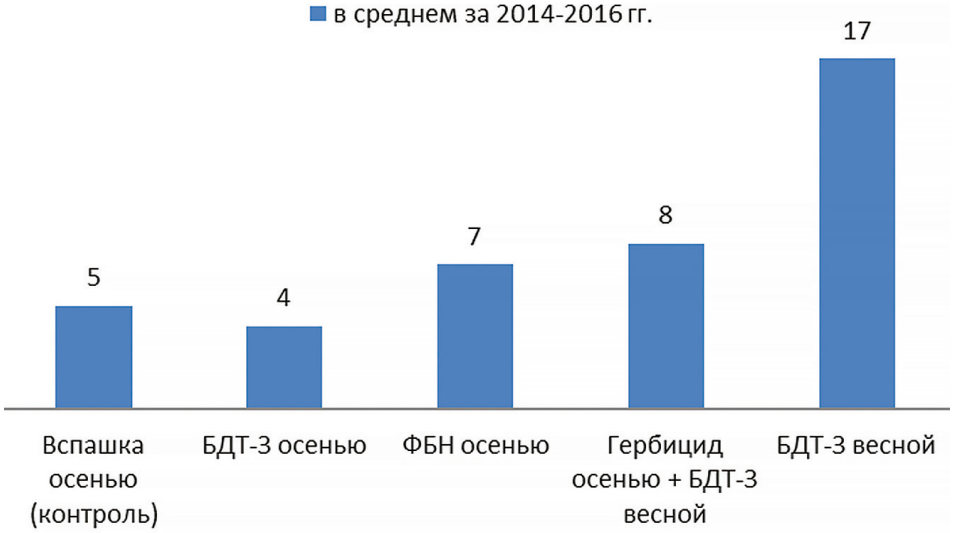


Рис. 5. Влияние способов обработки дернины старовозрастного травостоя на засоренность посевов пластовой культуры, шт./м^2

The influence of methods of processing turf of old-growth grass on the weediness of layer crop crops, pcs./m^2

По показателям засорённости в опыте можно судить о качестве проведения основной обработки. В опыте минимальные показатели отмечены при разделке дернины плугом осенью, а также на варианте разделки дернины осенью дисковой бороной в два следа – 4–5 растений сорняков, или 1,1 % (рис. 5).

Наибольшая засорённость отмечена при разделке дернины в весенний период БДТ-3 – 14–24 шт./м^2, что во время уборки овса на зерно составило 18 % массы урожая (зерно + солома).

Низкие значения засорённости в опыте можно объяснить влиянием предшественника. По данным некоторых авторов, многолетние травы, развивая мощную корневую систему, подавляют рост сорных растений, что позволяет получать урожай зерна с малыми затратами на его очистку от сорных примесей. Сорные растения не являлись определяющим фактором, влияющим на формирование урожайности яровой культуры, так как общая засоренность посевов не превышала экономического порога вредоносности.

В зависимости от года пользования учёт урожая зелёной массы овса проходил 21 июля в 2015 г. (через 64 дня от всходов), 3 августа в 2016 г. (через 75 дней от всходов) и 6 августа в 2014 г. (через 88 дней от всходов).

Максимальная урожайность зелёной массы овса в среднем за 2014–2016 гг. получена на контрольном варианте со вспашкой – 173 ц/га зелёной массы, или 22,7 ц/га зерна. Она обусловлена повышенной густотой стояния растений в травостое (табл. 2).

Таблица 2

Влияние способа обработки дернины старовозрастного травостоя на урожайность овса, ц/га (данные за 2014–2016 гг.)
The influence of the method of processing the turf of old-growth grass on the yield of oats, c/ha (data for 2014–2016)

Вариант опыта	Год			Среднее за 2015–2016 гг.	Среднее за 2014–2016 гг.
	2014	2015	2016		
Зелёная масса					
Вспашка осенью (контроль)	134	208	175	192	173
БДТ-3 осенью	97	115	100	108	105
ФБН осенью	-	166	140	153	-
Гербицид осенью + БДТ-3 весной	127	155	165	160	144
БДТ-3 весной	102	105	95	100	101
$НСР_{05}$	18	16	8		
Зерно					
Вспашка осенью (контроль)	20,2	23,2	24,6	23,9	22,7
БДТ-3 осенью	17,7	15,9	14,6	15,2	16,0
ФБН осенью	-	16,7	16,7	16,7	-
Гербицид осенью + БДТ-3 весной	21,4	18,9	22,1	20,5	20,8
БДТ-3 весной	16,1	9,2	10,0	9,6	11,8
$НСР_{05}$	5,9	4,1	1,6		

Источник: составлена Д.Ю. Бакшаевым [20].

При обработке гербицидом сплошного действия осенью с последующим дискованием получено 144 ц/га зеленой массы или 20,8 ц/га зерна, что что ниже урожайности на контроле на 17 и 9 % соответственно.

Наиболее сильно понижала урожайность обработка БДТ-3 весной перед посевом. В среднем за три года исследований урожайность зелёной массы не превышала 100,9 ц/га зеленой массы и 11,8 ц/га зерна, что соответственно на

58 и 43 % ниже урожая, полученного на контроле.

Двухфакторным дисперсионным анализом установлена доля влияния факторов на урожайность зелёной массы овса: для такого фактора, как способ обработки дернины она составила 73 %, а для фактора «погодные условия года» – 11 %. Это указывает на то, что для формирования урожая овса, период которого длился 64–88 дней, достаточно зимних запасов влаги в почве. При формировании урожая зерна овса доля фактора обработок снижается до 66 %, повышая влияние осадков в вегетационный период.

Замена осенних обработок дернины весенними оказала отрицательное влияние на рост и развитие пластовой культуры и снизила урожайность зелёной массы на 58 %, зерна – на 43 %.

На основании полученных данных установлено, что в условиях лесостепной зоны Западной Сибири целесообразнее разделку дернины старовозрастных посевов многолетних трав проводить осенью плугом или обрабатывать травостой гербицидом осенью с последующей разделкой дернины весной следующего года дисковой бороной. Затраты на гектар в первом случае составили в ценах 2023 г. 6429 руб., во втором повышаются до 8859 руб. Рентабельность производства продукции составила соответственно 253 и 135 %. Минимальные затраты отмечены при обработке БДТ-3 весной – 4698 руб./га при уровне рентабельности 151 %. Данный вариант обработки может иметь место при срочном введении угодий в сельскохозяйственный оборот и получении урожая пластовой культуры в текущем году.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведённых в 2014–2016 гг. исследований по эффективности способов основной обработки старовозрастных посевов многолетних трав в условиях лесостепной зоны Западной Сибири установлено, что максимальная урожайность пластовой культуры получена при распашке травостоев в осенние сроки. Сбор зелёной массы овса на следующий год составил 173 ц/га, зерна 22,7 ц/га и был обеспечен за счёт накопления влаги в почве, максимальной полевой всхожести растений 86 % и высоты растений 97 см.

2. Осенняя обработка гербицидом сплошного действия с последующим дискованием в два следа весной снижает урожайность зелёной массы на 17 %, зерна на 8 % и может быть применена при доминировании в исходном травостое злостных корнеотпрысковых сорняков – пырея, видов осота и т.д. Гербицид убивает всю растительность, доля сорняков в посевах пластовой культуры составляет не более 2 % и представлена однолетними видами.

3. Весенняя разделка дернины БДТ-3 в два следа снижает сбор зелёной массы по сравнению с осенней вспашкой на 42 %, зерна на 48 % за счёт понижения влажности корнеобитаемого слоя (0–20 см) весной на 31–51 %, полевой всхожести на 30 %, высоты растений на 23 % при максимальных в опыте показателях засорённости – 14–24 шт./м^2, или 5,6 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бенц В.А., Кашеваров Н.И., Демарчук Г.А.* Полевое кормопроизводство в Сибири / РАСХН. Сиб. отд. СибНИИ кормов. – Новосибирск, 2001. – 240 с.
2. *Шашкова Г.Г., Андреева О.Т., Цыганова Г.П.* Агротехнологии производства и качество кормов в Забайкальском крае: монография / ФГБНУ научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири. – Чита, 2015. – 390 с.
3. *Силаева Л.П., Алексеев С.А., Дидык А.С.* Развитие и размещение производства кормов для молочного скотоводства в Российской Федерации // Экономика сельского хозяйства России. – 2017. – № 4. – С. 79–86.
4. *Keesstra S.D.* The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations sustainable development goals // Soil. – 2016. – Vol. 2. – P. 111–128. – DOI: 10.5194/soil-2-111-2016.
5. *Hatfield J.L., Sauer Th.J., Cruse R.M.* Soil: The forgotten piece of the water, food, energy nexus // Adv. Agron. – 2017. – Vol. 143. – 10.1016/bs.agron.2017.02.001

6. *Технико-технологическое* обеспечение вовлечения в оборот залежных земель / С.Г. Митин, Г.В. Сысоев, И.А. Старостин, А.В. Ещин // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2024. – № 118. – С. 276–308. – DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-276-308.
7. *Современное* кормопроизводство Урала: монография / Н.Н. Зезин, А.Э. Панфилов, А.Е. Нагибин [и др.]; Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. – Екатеринбург: Информационно-рекламное агентство Уральской торговой компании, 2019. – 265 с.
8. *Assessing* global land use: Balancing consumption with sustainable supply / S. Bringezu, H. Schütz, W. Pengue [et al.] // Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. – 2014.
9. *MAGIC* Nexus Policy Brief: Soil as the “missing link” for the Water-Energy-Food-Environment Nexus. – URL: https://www.water-energy-food.org/resources/resources-detail. Accessed April 20. – 2020.
10. *Timmis K., Ramos J.L.* Microb Biotechnol. – 2021, May. – Vol. 14 (3). – P. 769–797. – DOI: 10.1111/1751-7915.13771.
11. *Хамуков Ю.Х., Канокова М.А.* Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6 (110). – С. 225–235. – DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-225-235.
12. *Коломейченко В.В.* Кормопроизводство: учебник. – СПб.: Лань, 2015. – 656 с.
13. *Лазарев Н.Н., Кухаренкова О.В., Куренкова Е.М.* Урожайность козлятника восточного и люцерны изменчивой при долголетнем использовании // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 2 (362). – С. 56–58.
14. *Петрук В.А., Вотяков А.О.* Растительные сукцессии естественных лугов при коренном улучшении в южной лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 1 (62). – С. 67–75. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-67-75.
15. *Лазарев Н.Н., Шибуков А.А., Зубков Ф.В.* Эффективность различных способов обработки и гербицидов при создании сеяных лугов на залежных землях // Кормопроизводство. – 2014. – № 1. – С. 13–16.
16. *Ускоренное* освоение залежных земель под сенокосы и пастбища в Сибири (научно-практическое пособие) / Н.И. Кашеваров [и др.] – Новосибирск, 2015. – 58 с.
17. *Черкасов Г.Н., Сосов Н.А.* Приемы создания высокоурожайных сенокосов на залежных землях склонов в Центральном Черноземье // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 5. – С. 13–15.
18. *Глушкова О.А., Матаис Л.Н., Козлова З.В.* Влияние ускоренного залужения на продуктивность деградированных пойменных сенокосов в условиях Предбайкалья // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 68–2. – С. 91–94. – DOI: 10.18411/lj-12-2020-77.
19. *Бакшаев Д.Ю., Кашеваров Н.И., Жданова И.Л.* Возделывание фестулолиума в смеси с люцерной на кормовые цели в лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1 (66). – С. 12–20. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-12-20. – EDN FKQHLZ.
20. *Бакшаев Д.Ю.* Влияние основной обработки дернины многолетних трав на продуктивность пластовой культуры // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: мат. VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Горно-Алтайского государственного университета, Горно-Алтайск, 6–8 июня 2019 года. – Горно-Алтайск: БИЦ Горно-Алтайского государственного университета, 2019. – С. 15–20.

REFERENCES

1. Benz V.A., Kashevarov N.I., Demarchuk G.A., *Polevoe kormoproizvodstvo v Sibiri* (Field feed production in Siberia), RASKHN, Sib. otd. Feed collection, Novosibirsk, 2001, 240 p.
2. Shashkova G.G., Andreeva O.T., Tsyganova G.P., *Agrotekhnologii proizvodstva i kachestvo kormov v Zabaykal'skom krae* (Agrotechnologies of production and feed quality in the Trans-Baikal Territory), Chita: Publishing House 2015, p. 390.
3. Silaeva L.P., Alekseev S.A., Didyk A.S., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2017, No. 4, pp. 79–86. (In Russ.)

4. Kesstra S.D., *The importance of soils and soil science for the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals. Soil*, 2016, Vol. 2, pp. 111–128, DOI: 10.5194/soil-2-111-2016.
5. Hatfield J.L., Sauer T.J. and Cruz R.M., Soil: a forgotten element of the relationship between water, food and energy, *Adv. Agronomist*., 2017, Vol. 143, DOI: 10.1016/bs.agron.2017.02.001.
6. Mitin S.G., Sysoev G.V., Starostin I.A., Eshchin A.V., *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2024, No. 118, pp. 276–308, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-276-308. (In Russ.)
7. Zezin N.N., Panfilov A.E., Nagibin A.E. [et al.], *Sovremennoe kormoproizvodstvo Urala* (Modern feed production in the Urals), Yekaterinburg: Information and Analytical Agency of the Ural Trading Company, 2019, 265 p.
8. Bringezu S., Schutz H., Penge U. et al., Assessment of global land use: balancing consumption with sustainable supply *Report of the Working Group on Land and Soils of the International Group of Experts on Resources,* 2014.
9. Summary of the MAGIC Nexus Policy: Soil as the "missing link" for the relationship between water, energy, food and the environment. https://www.water-energy-food.org/resources/resources-detail. Date of application: April 20, 2020
10. Kenneth Timmis, Juan Luis Ramos. *Microbial biotechnology*, 2021, May, Vol. 14 (3), pp. 769–797, DOI: 10.1111/1751-7915.13771.
11. Khamukov Y.H., Kanokova M.A., *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2022, No. 6 (110), pp. 225–235, DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-225-235. (In Russ.)
12. Kolomeichenko V.V., *Kormoproizvodstvo* (Feed production), Sankt-Petersburg: Lan Publishing House, 2015. – 656 p.
13. Lazarev N.N., Kukharenkova O.V., Kurenkova E.M., *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2018, No. 2 (362), pp. 56–58. (In Russ.)
14. Petruk V.A., Votyakov A.O., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2022, No. 1 (62), pp. 67–75, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-67-75. (In Russ.)
15. Lazarev N.N., Shibukov A.A., Zubkov F.V., *Kormoproizvodstvo*, 2014, No. 1, pp. 13–16. (In Russ.)
16. Kashevarov N.I. [et al.], *Uskorennoe osvoenie zalezhnykh zemel' pod senokosy i pastbishcha v Sibiri* (Accelerated development of fallow lands for hayfields and pastures in Siberia), Novosibirsk, 2015, 58 p.
17. Cherkasov G.N., Sosov N.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017, Vol. 31, No. 5, pp. 13–15. (In Russ.)
18. Glushkova, O.A., Matais L.N., Kozlova Z.V., *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2020, No. 68–2, pp. 91–94, DOI: 10.18411/lj-12-2020-77. (In Russ.)
19. Bakshaev D.Yu., Kashevarov N.I., Zhdanova I.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 1 (66), pp. 12–20, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-12-20, EDN FKQHLZ. (In Russ.)
20. Bakshaev D. Yu., *Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaystva gornykh territoriy* (Actual problems of agriculture in mountainous territories): Proceedings of the Conference Title, Gorno-Altaisk: Gorno-Altaisk State University, 2019, pp. 15–20. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-25-36
УДК 631.4: 631.82(816): 416.2:445.4:633.1

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОСФАТНЫЙ ФОНД ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Л.П. Галеева, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

***Ключевые слова*:** чернозём выщелоченный, минеральные удобрения, способы внесения, легкодоступный и подвижный фосфор, фракционный состав минеральных фосфатов, микробный фосфор, урожайность, зерновые культуры.

Реферат. *Установлено, что содержание легкодоступного фосфора в почве мелкоделяночного опыта после трёх лет применения удобрений оставалось средним во всех вариантах, удобрения компенсировали его вынос зерновыми культурами. В полевом опыте содержание этой формы фосфора в пахотном слое почвы достоверно увеличивалось только при рядковом внесении удобрений, при остальных способах внесения оно уменьшалось до низкого. Удобрения в обоих опытах при всех способах внесения не только компенсировали вынос подвижного фосфора зерновыми культурами, но и создавали высокую и повышенную обеспеченность им растений. Они увеличивали содержание минеральных фосфатов и не влияли на соотношение их групп в почве. На долю активных фракций приходилось 22–25 %, фосфаты Ca – P_3 составляли 68–72 %, доля фосфатов Al – P и Fe – P была наименьшей и практически не изменялась, что свидетельствует об отсутствии перегруппировки и закреплении фосфатов в менее доступные и недоступные для растений формы. Фосфор удобрений поглощался не только растениями, но и микроорганизмами. Больше всего микробного фосфора в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного в мелкоделяночном опыте обнаружено при локальном внесении удобрений – 22 кг/га, а в чернозёме полевого опыта – при рядковом внесении – 31 кг/га, он может быть использован растениями в последействии. В слое почвы 0–40 см мелкоделяночного опыта запасы микробного фосфора в зависимости от способа внесения удобрений возрастали в ряду: рядковый – разбросной – локальный, а полевого: разбросной – локальный – рядковый. Только при внесении в рядки при посеве с семенами удобрения достоверно повышали урожайность яровой пшеницы, прибавка от них в мелкоделяночном и полевом опытах составила в среднем 42 и 26 % соответственно. Наибольшая урожайность овса в условиях достаточной влагообеспеченности почвы получена при разбросном внесении удобрений в действии и при рядковом – в последействии, прибавка урожайности составила 12 и 20 % соответственно. Баланс легкодоступного фосфора в чернозёме полевого опыта положительный при всех способах внесения удобрений, при его дефиците в контроле – 26 кг/га, а подвижного – положительный во всех вариантах.*

THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON THE PHOSPHATE STOCK OF LEACHED CHERNOZEM AND THE PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS

L.P. Galeeva, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

***Keywords*:** leached chernozem, mineral fertilizers, methods of application, readily available and mobile phosphorus, fractional composition of mineral phosphates, microbial phosphorus, yield, cereals.

Abstract. *It was found that the content of readily available phosphorus in the soil of the small-scale experiment after 3 years of fertilizer application remained average in all variants, fertilizers compensated for its removal by grain crops. In the field experiment, the content of this form of phosphorus in the arable soil layer significantly increased only with row fertilization, with other methods of application it decreased to low. Fertilizers in both experiments, with all methods of application, not only compensated for the removal of mobile phosphorus by cereals, but also created a high and increased supply of plants with it. They increased the content of mineral phosphates and did not affect the ratio of their groups in the soil. The active fractions accounted for 22–25 %, Ca – P3 phosphates accounted for 68–72 %, the proportion of Al – P and Fe – P phosphates was the lowest and practically unchanged, indicating the absence of rearrangement and fixation of phosphates into less*

accessible and inaccessible forms for plants. Phosphorus of fertilizers was absorbed not only by plants, but also by microorganisms. The most microbial phosphorus in a layer of 0-20 cm of leached chernozem in a small–scale experiment was found with local fertilization – 22 kg /ha, and in the chernozem of the field experiment – with row application – 31 kg / ha, which can be used by plants in the aftereffect. In the soil layer of 0–40 cm of the small–scale experiment, the reserves of microbial phosphorus, depending on the method of fertilization, increased in a row: row – scattered – local, and field: scattered – local – row. Only when applied to rows during sowing with seeds, fertilizers significantly increased the yield of spring wheat, the increase from them in small–scale and field experiments averaged 42 and 26 %, respectively. The highest yield of oats in conditions of sufficient moisture supply of the soil was obtained with scattered fertilization in action and with row–in aftereffect, the increase in yield was 12 and 20 %, respectively. The balance of readily available phosphorus in the chernozem of the field experiment is positive for all methods of fertilization, with its deficiency in the control – 26 kg /ha, and mobile – positive in all variants.

Большая часть пахотных земель в России имеет низкую обеспеченность фосфором. В чернозёмах фосфор является элементом питания, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур.

Согласно данным [1, 2], для сохранения эффективного и потенциального плодородия почв, получения полноценных урожаев в полевых, зернопаровых и зернопропашных севооборотах в них должно содержаться не менее 200 (150–200), а в кормовых и овощных севооборотах – до 200–300 мг/кг почвы подвижного фосфора. Часто в почвах фосфора для питания растений недостаточно. Поэтому внесение фосфорных удобрений резко увеличивает биологическую продуктивность экосистем. Фосфорные удобрения обеспечивают высокий эффект во всех почвенно-климатических зонах страны. В условиях интенсивного земледелия идёт постоянное отчуждение сельскохозяйственными культурами большого количества фосфора. Поэтому для предотвращения снижения урожаев, возмещения выноса и создания запасов подвижных фосфатов в почве необходимо систематически вносить фосфорные удобрения. Долевое участие фосфора в прибавке урожая от полного удобрения в зависимости от почвенно-климатических зон составляет 15–61 % [3]. На слабоокультуренных почвах внесение фосфора в почву должно превышать его вынос с урожаем сельскохозяйственных культур в 1,5–2,0 раза, а на хорошо обеспеченных фосфором почвах достаточно компенсировать его вынос урожаем [4].

Исследованиями [5, 6] установлено, что обогащение почвы растворимыми фосфатами в результате применения фосфорных удобрений усиливает подвижность почвенных фосфатов. По мере насыщения почвы фосфорными удобрениями особенно ощутимо растёт 1-я фракция (Ca-P_1), содержащая наиболее доступные растениям фосфорные соединения [6–10]. При длительном взаимодействии фосфорных удобрений с почвой происходит обогащение фракции фосфатов полуторных оксидов, в которые переходит водорастворимый фосфат кальция суперфосфата. Установлено также, что фосфор водорастворимых форм удобрений закрепляется почвами и имеет низкий коэффициент использования растениями. Из суперфосфата в год внесения растения используют в среднем 15–20 % фосфора. При внесении удобрения локально – в рядки при посеве и посадке культур – коэффициент усвоения фосфора растениями возрастает в 1,3–1,5 раза [11, 12].

В связи с постоянным ростом цен на фосфорные удобрения, низким коэффициентом использования из них фосфора, возникает необходимость поиска приёмов их эффективного применения. Уменьшение контакта фосфорных удобрений с почвой способствует длительному сохранению их в доступной для растений форме. При этом коэффициент использования фосфора повышается на 5–10 %, что позволяет при сохранении одинаковой урожайности уменьшить дозы удобрений на 10–30 % из расчёта 10–20 кг/га д.в. P_2O_5. Перспективным, повышающим коэффициент использования фосфора удобрений в несколько раз, является локально-ленточный способ внесения, при котором удобрения размещают на глубину 5–10 см ниже дна плужной подошвы. Созданные очаги удобрений не разрушаются последующими обработками почвы, включая основную вспашку, а сосредоточенные в них элементы питания долгие годы сохраняются в доступной для растений форме. Вокруг очагов концентрируются остатки

отмерших корней, что приводит к образованию органоминеральных комплексов с повышенной биологической и агрохимической активностью. Эти зоны обладают большой водоудерживающей способностью, что особенно важно для районов недостаточного увлажнения. Поэтому самый экономный и высокоэффективный приём использования водорастворимых фосфорных удобрений – рядковое (локальное) их внесение при посеве и посадке сельскохозяйственных культур. При локальном способе внесения снижается химическое связывание фосфора, и он приближается к корневой системе растений, что обеспечивает повышение коэффициента использования фосфора удобрения на 5–8 % и увеличение урожая по сравнению с разбросным внесением. Усвоение фосфора растениями, эффективность удобрений и остаточных фосфатов в почве возрастают при сбалансированном снабжении другими элементами питания, прежде всего, такими, как азот и калий.

В этой связи, цель данных исследований – изучить влияние минеральных удобрений, внесённых разными способами, на фосфатный фонд чернозёма выщелоченного и продуктивность зерновых культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние способов внесения минеральных удобрений на фосфатный фонд чернозёма выщелоченного, используемого в пашне 20 и 50 лет, и урожайность зерновых культур (пшеницы, овса) изучали в мелкоделяночном (п. Краснообск) и в полевом опыте (учебно-опытное поле НГАУ учхоза «Тулинское» Новосибирской области) в течение трёх и четырёх лет. Почва опытных участков – чернозём выщелоченный среднемощный среднесуглинистый илова-то-крупнопылеватый. Варианты мелкоделяночного опыта: 1. Контроль (без удобрений). 2. $N_{60}P_{40}$ вразброс под осеннюю перекопку. 3. $N_{60}P_{20}$ вразброс под осеннюю перекопку + P_{20} весной в рядки при посеве с семенами. 4. $N_{60}P_{40}$ локально на глубину 10–12 см весной. Повторность опыта 4-кратная, площадь делянки 3,5 м^2 (0,5×7). Азотные удобрения вносили в виде аммиачной селитры (34 %), фосфорные – двойного гранулированного суперфосфата (43 %). Выращивали в течение 2-х лет яровую пшеницу Новосибирская 29 и один год – овёс сорта Краснообский. Варианты полевого опыта: 1. Контроль (без удобрений). 2. Разбросное внесение удобрений (вручную перед весенней культивацией). 3. Рядковое внесение (сеялкой СН-16 при посеве с семенами). 4. Локальное (врезание сеялкой СН-16 на глубину 10–12 см перед посевом). Удобрения вносили в виде азофоски (16 % д.в. – 1:1:1) в дозе 43 кг д.в./га ежегодно. Повторность опыта 4-х кратная, площадь делянки 75 м^2 (5х15), расположение делянок – ярусное. Отбор почвенных образцов проводили с двух несмежных повторностей ежегодно, весной – до посева и осенью – перед уборкой. Борьбу с сорняками проводили опрыскиванием посевов препаратом Гепард-экстра КЭ (100+27 г/л) из расчёта 0,6 л /га [10].

Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), pH – потенциометрически (ГОСТ 26483-85), обменные основания и обменный кальций – трилонометрическим методом (ГОСТ 27821–88) [13]. Общий азот – по Кьельдалю, Иодльбауэру (Аринушкина, 1970); фосфор – по Гинзбург и др. (ГОСТ 26261–84). Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу, легкодоступный фосфор (степень подвижности I) – по Карпинскому, Замятиной (1958); подвижный фосфор (фосфатная ёмкость Q) – по Чирикову (ГОСТ 26204–91), фракционный состав минеральных фосфатов – по Гинзбург, Лебедевой (1975). Содержание микробиального фосфора – фумигационным способом [14, 15]. Статистическая обработка данных выполнена корреляционным и дисперсионным анализами пакета программ «Снедекор» [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед закладкой опытов в пахотном слое чернозёмов выщелоченных, несмотря на разную длительность их использования (20 и 50 лет) в агроценозах (овощной и зерновой), содержание гумуса, валовых форм азота и фосфора было примерно одинаковым, обеспеченность нитратным азотом в слое почвы 0–40 см низкая, содержание легкодоступного фосфора в пахотном слое – среднее, подвижного фосфора – повышенное, а обменного калия – высокое (табл. 1).

Таблица 1

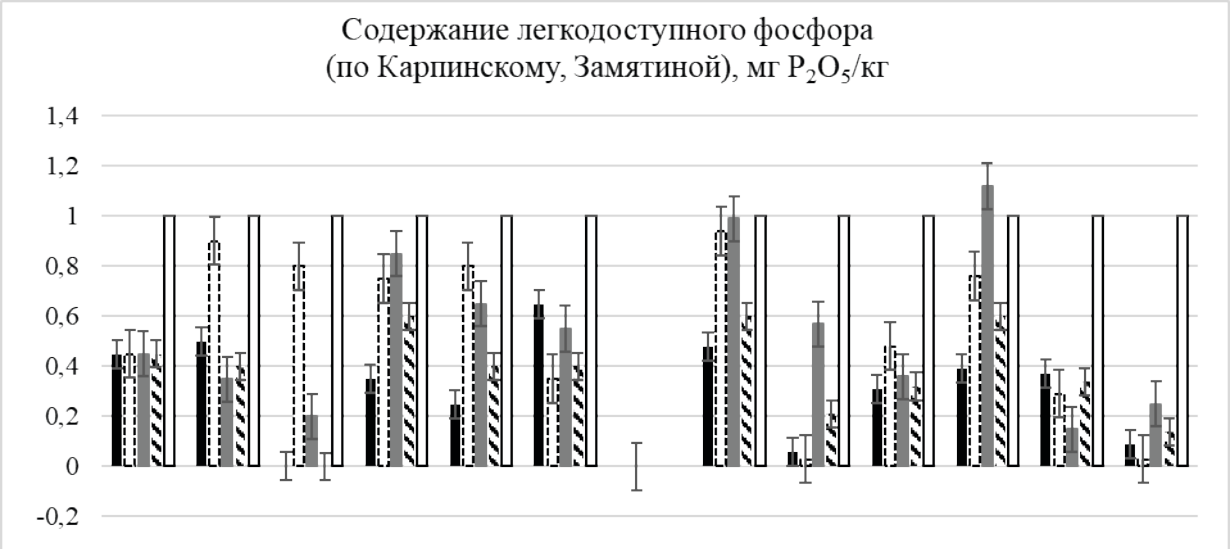
Агрохимическая характеристика чернозёма выщелоченного перед закладкой опытов
Agrochemical characteristics of leached chernozem before laying experiment

Глубина, см	Гумус, %	pH	Общий		Сумма обменных оснований	Обменный кальций	$N\text{-}NO_3$	P_2O_5		K_2O
			N	P				по Карпинскому, Замятиной (I)	по Чирикову (Q)	
			%		мг-экв/100 г		мг/кг			
Пашня 20 лет, п. Краснообск (мелкоделяночный опыт)										
0–20	5,52	7,11	0,231	0,172	37,3	29,4/78,8*	5,3	0,44	121,9	134,5
20–40	4,30	7,50	0,142	0,139	38,8	22,8/72,8	5,5	0,23	82,0	111,9
Пашня 50 лет, учхоз Тулинское (полевой опыт)										
0–20	5,70	7,17	0,266	0,191	38,8	29,9/77,1	13,1	0,38	109,8	153,4
20–40	4,43	7,36	0,269	0,174	35,0	27,2/77,6	7,2	0,09	105,0	109,1

**Примечание*. Слева от черты – содержание в мг-экв./100 г, справа – в % от суммы.

Содержание легкодоступного фосфора (по Карпинскому, Замятиной) в пахотном слое чернозёма п. Краснообск (мелкоделяночный опыт) после трёх лет применения удобрений оставалось средним во всех вариантах, удобрения компенсировали вынос этой формы фосфора зерновыми культурами (рис. 1). В чернозёме учхоза за счёт бóльшего выноса фосфора урожаями зерновых культур оно уменьшалось от средне-повышенного содержания до низкого. Удобрения только при рядковом их внесении в течение трёх лет поддерживали фосфатный уровень чернозёма выщелоченного п. Краснообск и уменьшали его до низкого в чернозёме учхоза.

Исходное содержание подвижного фосфора (по Чирикову) в слое 0–20 см обоих чернозёмов было одинаковым, а обеспеченность им растений – повышенная (рис. 1).



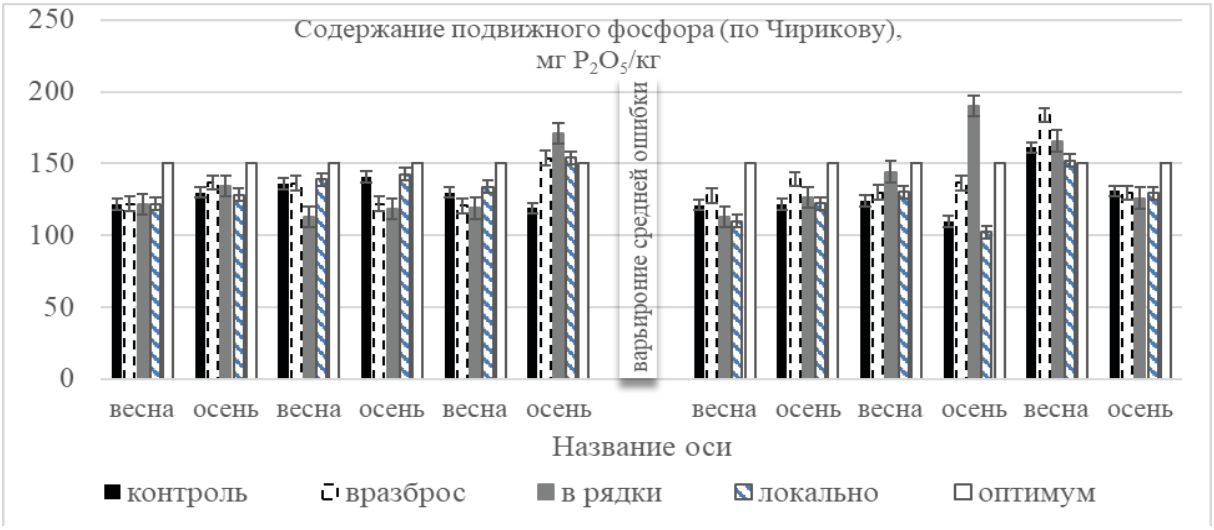


Рис. 1. Изменение содержания легкодоступного (I) и подвижного фосфора (Q) в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при разных способах внесения удобрений, мг P_2O_5/ кг

Changes in the content of readily available and mobile phosphorus in a layer of 0–20 cm leached chernozem with different methods of fertilization, mg P_2O_5/ kg

В 1-й год применения удобрений его содержание достоверно возрастало в обоих чернозёмах при разбросном и рядковом внесении, а обеспеченность им осталась повышенной. Во 2-й год внесения удобрения увеличивали содержание подвижного фосфора в чернозёме мелкоделяночного опыта по сравнению с контролем только при локальном внесении, а в чернозёме полевого опыта оно превышало контроль при разбросном и рядковом внесении на 24 и 73 % соответственно. В 3-й год применения удобрения увеличивали содержание подвижного фосфора в чернозёме мелкоделяночного опыта в ряду: разбросной = локальный – рядковый, которое на 29 и 44 % превышало контроль и соответствовало высокой обеспеченности фосфором. В чернозёме полевого опыта содержание подвижного фосфора при всех способах внесения удобрений было повышенным (рис. 1).

Таким образом, удобрения в обоих опытах не только компенсировали вынос подвижного фосфора зерновыми культурами из почвы, но и создавали высокую и повышенную обеспеченность им растений.

При внесении минеральных удобрений в результате взаимодействия их с почвой питательные вещества подвергаются сложным химическим и биохимическим воздействиям. Бóльшая часть фосфора в различных формах поглощается почвой и уменьшает его подвижность и доступность растениям.

Основная часть минеральных фосфатов пахотного слоя чернозёмов в обоих опытах перед закладкой была представлена апатитовой фракцией (Ca – P_3) – 68 и 79 % от суммы соответственно. На фосфаты активных фракций (сумма фосфатов трёх первых фракций) приходилось 25 и 14 % от суммы, из них большая часть в виде рыхлосвязанных и вторично образованных фосфатов (Ca–P_1 и Ca–P_2), доступных для растений (рис. 2 и 3).

Возделывание зерновых культур без удобрений повышало вынос фосфора, уменьшая содержание минеральных фосфатов и их активных фракций в слое 0–20 см на 13 и 19 % соответственно к исходному уровню (см. рис. 2). Удобрения при всех способах внесения увеличивали содержание минеральных фосфатов и не влияли на количество их активных фракций, кроме разбросного способа, где оно в пахотном слое возрастало на 13 %. Трёхлетнее возделывание зерновых культур без удобрений (контроль) практически поддерживало долю активных фосфатов, свидетельствуя о высокой мобилизации фосфора почвы. На фосфаты активных фракций приходилось 23–25 % (см. рис. 2). Удобрения не изменяли соотношение групп минеральных фосфатов: на долю активных фракций приходилось 22–25 %, фосфаты Ca – P_3 составляли 68–72 %, доля фосфатов A_1 – P и Fe – P была наименьшей и практически не изменялась, свидетельствуя об отсутствии перегруппировки и закрепления фосфатов

в менее доступные и недоступные для растений формы.

Следовательно, $N_{60}P_{40}$-удобрения в течение трёх лет применения, независимо от способа внесения не только компенсировали вынос фосфора зерновыми культурами, но поддерживали и улучшали фосфатный фонд чернозёма выщелоченного в мелкоделяночном опыте.

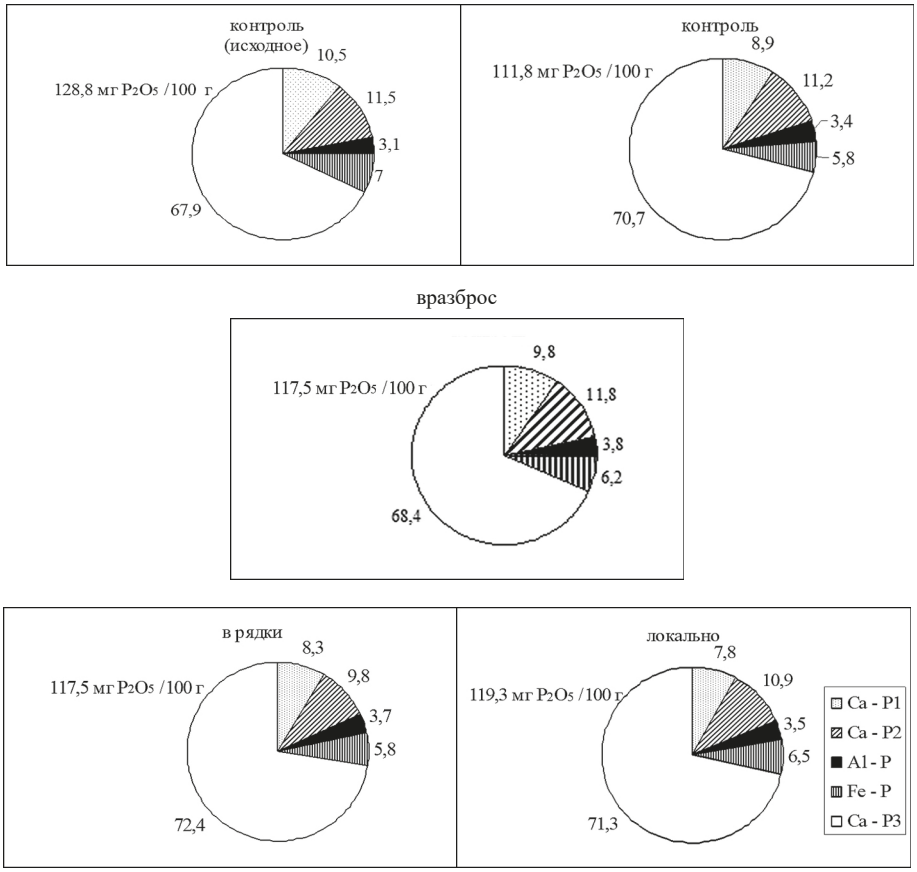


Рис. 2. Содержание и соотношение групп минеральных фосфатов в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при разных способах внесения удобрений, %; (мелкоделяночный опыт)

The content and ratio of groups of mineral phosphates in a layer of 0–20 cm of leached chernozem with different methods of fertilization, %; small-scale farming experience

В чернозёме полевого опыта после трёх лет возделывания зерновых культур без внесения удобрений (контроль) содержание минеральных фосфатов в пахотном слое уменьшалось на 12 % и на столько же увеличивалось количество фосфатов Ca – P_3, свидетельствуя о закреплении фосфора почвой. При этом количество фосфатов активных фракций (сумма фосфатов первых трёх фракций) уменьшалось почти в 2 раза как за счёт бóльшего потребления растениями, так и за счёт перехода фосфатов в менее доступные для растений формы. Бессменное возделывание зерновых культур в течение трёх лет без удобрений (контроль) усиливало минерализацию фосфора почвы в её пахотном слое, увеличивая долю фосфатов активных фракций с 15 до 22 % в основном, за счёт фосфатов Ca – P_2 и A_1 – P, на которые приходилось в 1,8 и 2 раза больше по сравнению с исходным уровнем (см. рис. 3). Активные фосфаты составляли 22, а фосфаты Ca – P_3 – 71 % от суммы. Общее содержание минеральных фосфатов при этом уменьшалась незначительно. Наибольшее количество минеральных фосфатов в слое 0–20 см отмечено при разбросном внесении $N_{43}P_{43}K_{43}$–удобрений, прибавка их к контролю составила 14 %, а доля активных фосфатов и фосфатов Ca – P_3 при этом практически не изменялась.

Таким образом, $N_{43}P_{43}K_{43}$-удобрения, внесённые вразброс и в рядки с семенами при посеве, поддерживали содержание минеральных фосфатов и их активных фракций и фосфатный фонд в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного полевого опыта.

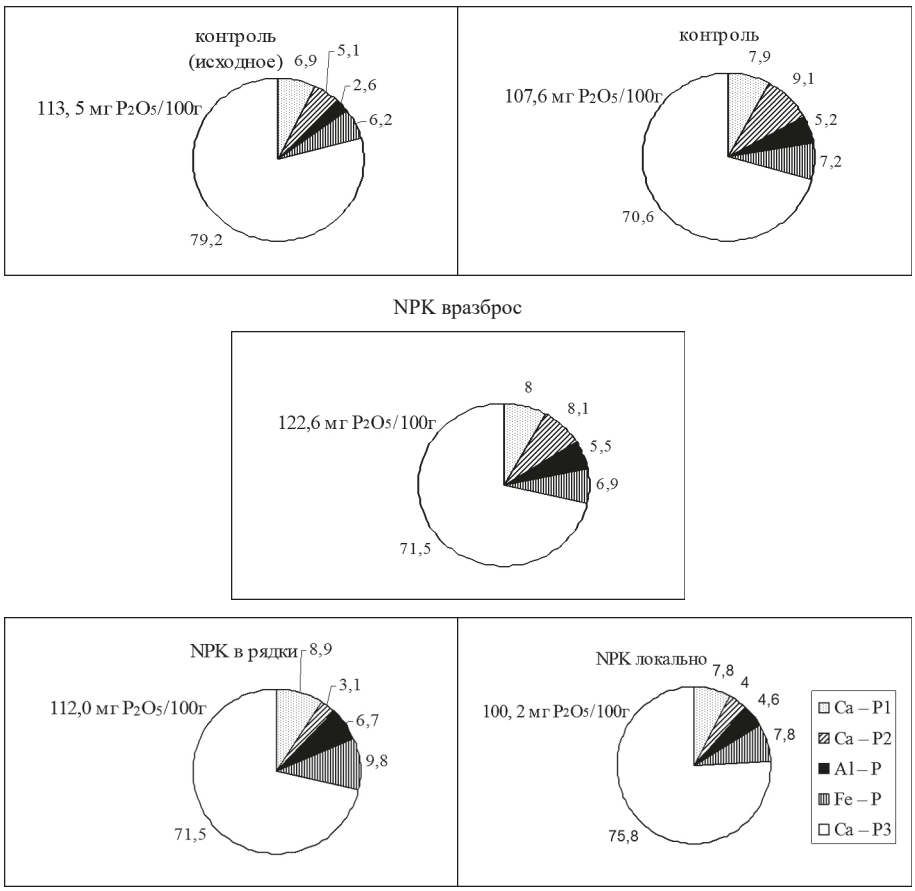


Рис. 3. Содержание и соотношение групп минеральных фосфатов в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при разных способах внесения удобрений, %; (полевой опыт)

The content and ratio of groups of mineral phosphates in a layer of 0–20 cm of leached chernozem with different methods of fertilization, %; field experience

Потребности растений в фосфоре, в отличие от азота, могут удовлетворяться только за счёт самой почвы либо за счёт фосфора удобрений. Поэтому процессы трансформации фосфора в почве с помощью микроорганизмов имеют большое значение. Биомасса почвенных микроорганизмов является основным агентом минерализации органического фосфора в почве, а её метаболиты усиливают подвижность труднорастворимых фосфорсодержащих минералов (апатитов, фосфоритов и др.). Однако при этом часто потребление фосфора самими почвенными гетеротрофами может быть в несколько раз выше, чем потребление фосфора растениями [14, 17, 18]. Нами получены результаты, что фосфор удобрений поглощался не только растениями, но и микроорганизмами. Это сказалось на накоплении микробного фосфора как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы (рис. 4). Так, в слое 0–20 см чернозёма мелкоделяночного опыта больше всего микробного фосфора содержалось при локальном внесении удобрений (4,8 мг/кг), что в 2,3 раза больше, чем при разбросном внесении. При рядковом внесении удобрений, из-за более активного потребления фосфора овсом, количество микробного фосфора в слое 0–20 см наименьшее – 2,1 мг/кг. В более увлажнённом и менее аэрируемом слое 20–40 см оно возрастало только при разбросном внесении удобрений. Больше всего его в слоях 0–20 и 0–40 см содержалось в контроле – 6,2 и 6,5 мг/кг. Количество фосфора, накопленное микроорганизмами в слое 0–20 см и в целом в слое 0–40 см в зависимости от способа внесения удобрений возрастало в ряду: рядковый – разбросной – локальный (см. рис. 4).

Следовательно, больше всего фосфора в слое 0–20 см чернозёма мелкоделяночного опыта микроорганизмы накапливали при локальном внесении удобрений – 22 кг/га, который может использоваться растениями в последействии. В слое 0–40 см его запасы возрастали в ряду: рядковый – разбросной – локальный.

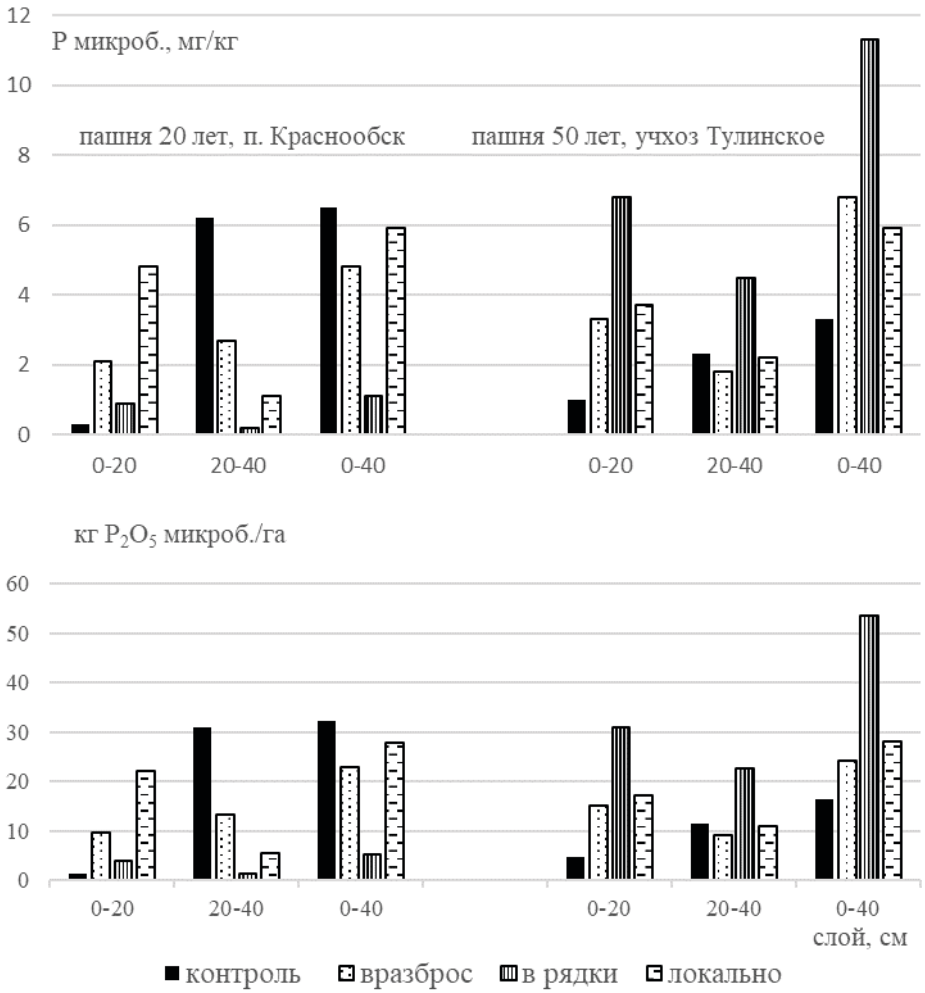


Рис. 4. Содержание (мг Р/кг) и запасы (кг P_2O_5/га) микробного фосфора в чернозёме выщелоченном при разных способах внесения удобрений

The content (mg P/kg) and reserves (kg P_2O_5/ha) of microbial phosphorus in leached chernozem with different methods of fertilization

В чернозёме полевого опыта наибольшее содержание микробного фосфора обнаружено при рядковом внесении удобрений – 6,8 мг/кг, которое в 2 раза больше, чем при разбросном и локальном (см. рис. 4). В подпахотном, более увлажнённом слое, больше всего микробного фосфора накапливалось также при рядковом внесении удобрений, оно в 2–2,5 раза больше, чем при других способах. В целом в слое 0–40 см почвы полевого опыта содержание микробного фосфора в зависимости от способа внесения удобрений возрастало в ряду: разбросной – локальный – рядковый. Наибольшие запасы микробного фосфора в пахотном слое формировались при рядковом внесении – 31 кг/га. Возможно, этот фосфор способствовал получению наибольшей урожайности овса в первый год последействия удобрений – 41,4 ц/га, которая была на 5 и 9 ц/га больше, чем при разбросном и локальном способах внесения.

Следовательно, наибольшие запасы микробного фосфора в пахотном слое чернозёма выщелоченного после трёх лет применения минеральных удобрений содержались при локальном их внесении в мелкоделяночном опыте и при рядковом внесении в полевом опыте. Это, в первую очередь обусловлено особенностями биологии культур в отношении поглощения фосфора, а во вторую – величиной урожайности и выносом ими фосфора. Овёс более активно поглощал фосфор при разбросном и рядковом внесении удобрений, формируя наибольшую урожайность и наименьшую – при локальном, где, в условиях лучшей влагообеспеченности, накапливались наибольшие запасы микробного

фосфора. В полевом опыте наибольшие запасы микробного фосфора и урожайность пшеницы получены при рядковом внесении удобрений.

Авторами установлено [19], что влажность почвы ниже «критической» резко снижает урожайность зерновых культур. Для чернозёмов выщелоченных северной лесостепи среднесуглинистых по гранулометрическому составу критические запасы продуктивной влаги в метровом слое составляют 112 мм. Видимо, поэтому, в 1-й год внесения удобрений, в условиях засушливого и жаркого мая, влажного и тёплого июня и июля, засушливого и тёплого августа и сентября, наибольший эффект от удобрений в обоих опытах получен только при рядковом способе – прибавка к контролю (без удобрений) и к разбросному внесению составила 67; 38 % и 12; 7,5 % соответственно (табл. 2). Во 2-й год, в условиях засушливого и тёплого мая и июля, влажного и жаркого июня, влажного и прохладного августа, засушливого и жаркого сентября, наибóльшая урожайность пшеницы на чернозёме п. Краснообск также получена при рядковом способе внесения удобрений – 19,8 ц/га, где прибавка зерна к контролю (без удобрений) составила 41, а к способу внесения (разбросному) – 16 %. Разбросной и локальный способы влияли на урожайность одинаково (табл. 2). В полевом опыте наибольшая урожайность пшеницы получена при разбросном внесении удобрений – 28,1 ц/га; при рядковом и локальном она одинаковая – 26,3 и 26,8 ц/га (20; 12 и 14 % к контролю соответственно).

Таблица 2

Влияние способов внесения удобрений на урожайность зерновых культур на чернозёмах выщелоченных, ц/га

The effect of fertilizer application methods on the yield of grain crops on leached chernozems, c/ha

Вариант (А) Год (В)	Контроль (без удобрений)	$N_{60}P_{40}$ в разброс			N60P20 вразброс $+P_{20}$ в рядки			$N_{60}P_{40}$ локально		
		Урожайность	Прибавка к контролю		Урожайность	Прибавка к контролю		Урожайность	Прибавка к контролю	
			ц/га	%		ц/га	%		ц/га	%
Пашня 20 лет, п. Краснообск (мелкоделяночный опыт)										
1-й год, пшеница	9,3	11,2	+1,9	20,4	15,5	+6,2	66,7	11,0	+1,7	18,3
2-й год, пшеница	14,0	17,0	+3,0	21,4	19,8	+5,8	41,4	16,2	+2,2	15,7
3-й год, овёс	52,0	58,4	+6,4	12,3	51,9	-0,1	–	48,0	-4,0	–
$НСР_{05}$ А 5,6; $НСР_{05}$ В 4,9										
Пашня 50 лет, учхоз Тулинское (полевой опыт)										
Вариант (А) Год (В)	Контроль (без удобрений)	$N_{43}P_{43}K_{43}$								
		вразброс			в рядки			локально		
1-й год, пшеница	19,2	20,0	+0,8	4,2	21,5	+2,3	12,0	20,2	+1,0	5,2
2-й год, пшеница	23,5	28,1	+4,6	19,6	26,3	+2,8	11,9	26,8	+3,3	14,0
3-й год, пшеница	13,4	21,2	+7,8	58,2	22,8	+9,4	70,1	13,9	+0,5	3,7
Средняя за 3 года	18,7	23,1	+4,4	23,5	23,5	+4,8	25,7	20,3	+1,6	8,6
$НСР_{05}$ А 4,9; $НСР_{05}$ В 4,3										
1-й год, последействие, овёс	34,6	36,4	+2,2	6,4	41,4	+6,8	19,7	32,4	-2,2	–
$НСР_{05}$ А 5,2; $НСР_{05}$ В 4,5										

В 3-й год исследований, в связи с хорошей обеспеченностью осадками и теплом в мае–июле, сухой и тёплой погодой в августе и сентябре, наибольшая урожайность овса на чернозёме п. Краснообск получена при разбросном внесении удобрений осенью и дополнительно P_{20} в рядки весной, где прибавка зерна к контролю составила 6,4 ц/га (12 %). Видимо, здесь весь азот из слоя 0–20 см потреблялся только растениями, так как микробного азота не было обнаружено. При рядковом и локальном внесении наблюдалось наибольшее поглощение азота микроорганизмами, его запасы составили 30 и 75 кг/га соответственно, поэтому действие удобрений было неэффективно, но урожайность овса при этом за счёт накопления в метровой толще почвы до 60 кг/га нитратного азота была высокой.

Наибольшая прибавка урожая пшеницы на чернозёме учхоза Тулинское в 3-й год получена при рядковом и разбросном внесении удобрений – 9,4 и 7,8 ц/га (70 и 58 % к контролю). В последействии, в условиях хорошей тепло- и влагообеспеченности в течение вегетационного периода, здесь была получена высокая урожайность овса – 32–41 ц/га. Наибольшее влияние на урожайность при этом оказали удобрения, внесённые рядковым способом, где прибавка зерна к контролю (без удобрений) составила 20 %, а к способу (разбросному) – 14 %.

Следовательно, как в действии, так и в последействии, наибольшее влияние на величину урожайности зерновых культур оказывали удобрения, внесённые в рядки при посеве с семенами.

Баланс легкодоступного фосфора в полевом опыте, рассчитанный разностным методом, был положительным и примерно одинаковым для всех способов внесения – +7+10 кг/га при дефиците в контроле –26 кг/га. Для подвижного фосфора (по Чирикову) он составил +26+34 кг/га, а в контроле +3,0 кг/га.

ВЫВОДЫ

1. Только при рядковом внесении удобрения поддерживали высокое содержание легкодоступного фосфора (по Карпинскому, Замятиной) в чернозёме выщелоченном мелкоделяночного опыта и уменьшали его до низкого в связи с бóльшим выносом урожаем зерновых культур, в полевом опыте.

2. Удобрения не только компенсировали вынос подвижного фосфора (по Чирикову) зерновыми культурами, но и создавали высокую и повышенную обеспеченность им растений, улучшая фосфатный фонд чернозёмов.

3. Содержание минеральных фосфатов в почве возрастало при всех способах внесения удобрений. На фосфаты активных фракций приходилось 22–25 %, фосфаты Ca – P_3 составляли 68–72 %, доля фосфатов A_1 – P и Fe – P была незначительной.

4. Больше всего микробного фосфора в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного мелкоделяночного опыта накапливалось при локальном внесении удобрений – 22 кг/га, он может использоваться растениями в последействии. В пахотном слое почвы полевого опыта наибольшие запасы микробного фосфора формировались при рядковом внесении – 31 кг/га они способствовали получению наибольшей урожайности овса в последействии удобрений.

5. Только при внесении в рядки при посеве с семенами удобрения достоверно повышали урожайность яровой пшеницы, прибавка от них в мелкоделяночном и полевом опытах составила в среднем 42 и 26 % соответственно. Наибольшая урожайность овса в условиях достаточной влагообеспеченности почвы получена при разбросном внесении удобрений в действии и при рядковом – в последействии, прибавка урожайности составила 12 и 20 % соответственно.

6. Баланс легкодоступного фосфора в полевом опыте, рассчитанный разностным методом, был положительным и примерно одинаковым для всех способов внесения – +7+10 кг/га при дефиците в контроле –26 кг/га. Для подвижного фосфора (по Чирикову) он составил +26+34 кг/га, а в контроле +3,0 кг/га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гамзиков Г.П.* К проблеме агрохимии в сибирском земледелии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2003. – № 2. – С. 68–71.

2. *Чумаченко И.Н., Сушеница Б.А.* Фосфор и воспроизводство плодородия почв // Агрохимический вестник – 2001. – № 1. – С. 28–31.
3. *Державин Л.М.* Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве // Агрохимия. – 2007. – № 12. – С. 3–17.
4. *Муравин Э.А.* Агрохимия. Учебник для студентов средне-специальных учебных заведений – М.: КолосС, 2004. – 384 с.
5. *Адерихин П.Г.* Фосфор в почвах и земледелии Центрально-Черноземной полосы. – Воронеж; Изд-во ВГУ, 1970. – 248 с.
6. *Антипина Л.П.* Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук. – Омск, 1991. – 32 с.
7. *Макарикова Р.П., Барсуков П.А.* Изменение фракционного состава фосфора почв Сибири при систематическом применении удобрений // Сибирский экологический журнал. – 1998. – № 6. – С. 525–529.
8. *Гришин Г.Е.* Содержание и формы фосфора в черноземной почве // Агрохимический вестник – 2000. – № 6. – С. 38–40.
9. *Динамика* фракционного состава минеральных фосфатов чернозёма типичного при длительном применении удобрений / Б.С. Носко, В.И. Бабынин, Т.А. Юнакова, Л.Н. Бурлакова // Агрохимия. – 2003. – № 3. – С. 27–34.
10. *Галеева Л.П.* Влияние удобрений на плодородие почв северной лесостепи Западной Сибири: автореф. дисс. … д-ра с.-х. наук. – Тюмень, 2013. – 32 с.
11. *Галеева Л.П.* Способы внесения удобрений как приём оптимизации фосфатного режима чернозёмов Новосибирского Приобья // Теория и практика современной аграрной науки: Сб. Национальной (всероссийской) научной конференции / Новосиб. гос. аграрный ун-т. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2018. – С. 23–27.
12. *Галеева Л.П.* Вынос и баланс элементов питания зерновыми культурами при разных способах внесения удобрений на чернозёмах выщелоченных // Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах: материалы Междунар. науч. конф. II Никитинские чтения, посвящ. первому проф. почвоведения на Урале, зав. каф. почвоведения (1924-1932) В.В. Никитину, а также 100-летию первой кафедры почвоведения на Урале, 140-летию науки почвоведения, 14–17 ноября 2023 г. – Пермь: ОТ и ДО, 2023. – С. 160–164.
13. *Пискунов А.С.* Методы агрохимических исследований. – М.: КолосС, 2004. – 312 с.
14. *Brookes P.C., Powlson D.S., Jenkinson D.S.* Measurement of microbial biomass phosphorus in soil // Soil Biol. Biochem. – 1982. – Vol. 14. – P. 319–329.
15. *Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S.* An extraction method to measure soil microbial biomass // Soil Biol. Biochem. – 1987. – Vol. 19. – P. 703–707.
16. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.
17. *Cole C.V., Heil R.D.* Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling // Ecological Bulletin. – 1981. – Vol. 33. – P. 363–374.
18. *Cline G.R., W.C. Lindeman W.C., Quintero R.* Dinamics of ehtractable phosphorus during nonsterile and sterile incubation of sludge-amended soil // Soil Science – 1985. – Vol. 140. – P. 98–104.
19. *Способы* внесения минеральных удобрений под яровую пшеницу в Сибири: рекомендации / РАСХН. Сиб. отд. – Сиб.НИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва. – Новосибирск. – 1991. – 40 с.

REFERENCES

1. Gamzikov G.P., *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2003, No. 2, pp. 68–71. (In Russ.)
2. Chumachenko I.N., Sushenitsa B.A., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2001, No. 1, pp. 28–31. (In Russ.)
3. Derzhavin L.M., *Agrokhimiya*, 2007, No. 12, pp. 3–17. (In Russ.)
4. Muravin E.A., *Agrokhimiya* (Agrochemistry), Moscow: KolosS, 2004, 384 p.
5. Aderichin P.G., *Fosfor v pochvakh i zemledelii tsentral'no-chernozemnoy polosy* (Phosphorus in soils and agriculture of the Central chernozem zone), Voronezh: VSU Publishing House, 1970, 248 p.
6. Antipina L.P., *Fosfor v pochvakh Sibiri* (Phosphorus in the soils of Siberia), abstract. dissertation of the Doctor of agricultural Sciences, Omsk, 1991, 32 p.
7. Makarikova R.P., Barsukov P.A., *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal,* 1998, No. 6, pp. 525–529. (In Russ.)

8. Grishin G.E., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2000, No. 6, pp. 38–40. (In Russ.)
9. Nosko B.S., Babynin V.I., Yunakova T.A., Burlakova L.N., *Agrokhimiya*, 2003, No. 3, pp. 27–34. (In Russ.)
10. Galeeva L.P., *Vliyanie udobreniy na plodorodie pochv severnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri* (The effect of fertilizers on soil fertility in the northern forest-steppe of Western Siberia), abstract. dissertation of the Doctor of agricultural Sciences, Tyumen, 2013, 32 p.
11. Galeeva L.P., *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk: IC "Zolotoy Kolos", 2018, pp. 23–27. (In Russ.)
12. Galeeva L.P., *Aktual'nye problemy pochvovedeniya, agrokhimii i ekologii v prirodnykh i antropogennykh landshaftakh* (Actual problems of soil science, agrochemistry and ecology in natural and anthropogenic), Proceedings of the Conference Title, Perm: FROM and TO, 2023, pp. 160–163. (In Russ.)
13. Piskunov A.S., *Metody agrokhimicheskikh issledovaniy* (Methods of agrochemical research), Moscow: KolosS, 2004, 312 p.
14. Brookes P.C., Powlson D.S., Jenkinson D.S., Measurement of microbial biomass phosphorus in soil, *Soil Biol. Biochem*, 1982, Vol. 14, pp. 319–329.
15. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., An extraction method to measure soil microbial biomass, *Soil Biol. Biochem*, 1987, Vol. 19, pp. 703–707.
16. Sorokin O.D., *Applied statistics on a computer*, Novosibirsk: GUP RPO SO RASKHN, 2009, 222 p.
17. Cole C.V., Heil R.D., Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling, *Ecological Bulletin*, 1981, Vol. 33, pp. 363–374.
18. Cline G.R., W.C. Lindeman W.C., Quintero R., Dinamics of ehtractable phosphorus during nonsterile and sterile incubation of sludge-amended soil, *Soil Science*, 1985, Vol. 140, pp. 98–104.
19. *Sposoby vneseniya mineral'nykh udobreniy pod yarovuyu pshenitsu v Sibiri* (Methods of applying mineral fertilizers for spring wheat in Siberia), RAS., Sib. Department, SibNIIZHim, Novosibirsk, 1991, 40 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-37-47
УДК 631.3:004.04

ОБЪЕКТНО ОРИЕНТИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Л.В. Гарафутдинова, аспирант
В.К. Каличкин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Д.С. Федоров, инженер-программист
Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия
E-mail: lv.garafutdinova@mail.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, сегментация, классификация, машинное обучение, ГИС.

Реферат. *Приведены результаты исследований по разработке автоматизированной классификации снимков дистанционного зондирования Земли внутрихозяйственного землепользования на основе применения объектно ориентированного подхода, машинного обучения и геоинформационного моделирования. Методология классификации включала три этапа: анализ цифровых изображений с выделением пространственных объектов путем предварительной сегментации, классификация пространственных объектов с использованием алгоритмов машинного обучения (RF и SVM), оценка общей точности полученного результата. Для обработки использовали космические снимки Sentinel-2 с мая по апрель на территорию землепользования ОС «Элитная» и ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. Новосибирской области с пространственным разрешением 10 м в пикселе. Обработка полученных многозональных снимков проходила с применением программного продукта SAGA GIS версии 8.5.1 и QGIS с открытым исходным кодом, создание моделей классификации осуществляли в пакете статистического языка программирования R. Установлено, что общая точность классификации объектов землепользования, отображенных на космических снимках, для территории ОС «Элитная» алгоритмом SVM составила 87,1 % (коэффициент Kappa 0,74), алгоритмом RF – 90,3 % (коэффициент Kappa 0,87). Для территории землепользования ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. – алгоритмом SVM – 78,4 % (коэффициент Kappa 0,78), алгоритмом RF – 82,3 % (коэффициент Kappa 0,82). Объектно ориентированный подход в интеграции с машинным обучением способствует эффективной сегментации и классификации снимков дистанционного зондирования для выделения пространственных объектов, дает возможность автоматизировать процесс картографирования территории землепользования и включать эту информацию в геоинформационное моделирование оценки и классификации земель сельскохозяйственного назначения.*

OBJECT-ORIENTED CLASSIFICATION OF REMOTE SENSING EARTH IMAGES USING MACHINE

L.V. Garafutdinova, graduate student
V.K. Kalichkin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
D.S. Fedorov, software engineer
Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
E-mail: lv.garafutdinova@mail.ru

Keywords: remote sensing, segmentation, classification, machine learning, GIS.

Abstract. *The results of research on the development of automated classification of remote sensing images of the Earth for on-farm land use based on the use of an object-oriented approach, machine learning and geoinformation modeling are presented. The classification methodology included three stages: analysis of digital images with the selection of spatial objects through preliminary segmentation, classification of spatial objects using the ,Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) machine learning algorithms, and assessment of the overall accuracy of the result. For processing, satellite images Sentinel-2 from May to April for the land use area of the experimental station «Elitnaya» and Individual Enterprise of State Farm (Collective Farm) Kovalev S.M. of the Novosibirsk region with a spatial resolution of 10 m per pixel were used. The processing of the resulting multispectral images was carried out using the software product SAGA GIS version 8.5.1 and QGIS with open-source code, the creation of classification models was carried out in the package of the statistical programming*

language R. It was established that the overall accuracy of classification of land use objects displayed onsatellite images, for the territory of the experimental station «Elitnaya» the SVM algorithm was 87.1% (kappa coefficient 0.74), and using the RF algorithm – 90.3% (kappa coefficient 0.87). For the land use area of the Individual Enterprise of State Farm (Collective Farm) Kovalev S.M. using the SVM algorithm – 78.4% (kappa coefficient 0.78), and using the RF algorithm – 82.3% (kappa coefficient 0.82). The object-oriented approach, in integration with machine learning, facilitates efficient segmentation and classification of remote sensing images for the delineation of spatial objects, provides the ability to automate the mapping process of land use areas, and to incorporate this information into geoinformation modeling for evaluation and classification of agricultural lands.

Классификация многозональных космических снимков дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляет собой многоуровневый процесс, при котором каждый пиксель или область изображения объединяются по определенным правилам в объекты (классы) на основе их спектральных и структурных характеристик. Целью классификации изображений ДЗЗ является преобразование спутниковых снимков в полезную информацию. Она осуществляется с помощью множества различных подходов и методов, которые могут применяться в соответствии с конкретными условиями и задачами. Эти подходы и методы подразделяются на пять категорий: контролируемая классификация, неконтролируемая классификация, классификация на основе пикселей, объектно ориентированная классификация и классификация сверточных нейронных сетей (CNN) [1–4].

Процесс классификации довольно трудоемкий и требует значительных усилий. Поэтому в последние годы для ускорения и повышения точности процессов сегментации и классификации снимков ДЗЗ осуществляется поиск приемлемых алгоритмов машинного обучения. Для этих целей используются машины опорных векторов (Support Vector Machines – SVM) [5, 6], случайный лес (Random Forest – RF) [7, 8], сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks – CNN) [9, 10] и др. Например, в исследовании [11] по идентификации изменений в землепользовании и растительном покрове оценивались SVM, K-ближайших соседей (K-Nearest Neighbours – KNN), RF, квантование обучающих векторов (Learning Vector Quantization – LVQ), рекурсивное разбиение, деревья регрессии (Recursive Partitioning, Regression Trees – RPART) и стохастическое усиление градиента (Stochastic Gradient Boosting – GBM). Результаты продемонстрировали, что SVM достиг более высокой общей точности и коэффициентов Каппа, чем второй лучший классификатор RF. Оба классификатора превзошли по точности другие алгоритмы.

Объектно ориентированная классификация в интеграции с ГИС (GEOBIA) благодаря улучшениям в алгоритмах сегментации изображений, а также применению машинного обучения становится все более популярной по сравнению с традиционным пиксельным анализом [12, 13]. GEOBIA позволяет объединять спектральные данные с тематическими картами и знаниями экспертов для дополнения процесса классификации изображений с целью повышения уровня доверия к результатам дешифрирования [14, 15].

Оценка точности является фундаментальным шагом в обработке изображений ДЗЗ. Методы оценки направлены на вычисление точности классификации и характеристики ошибок. Общая точность классификации обычно определяется геометрическим соответствием между объектами земной поверхности и классами (объектами) изображения или путем измерения степени чрезмерной и недостаточной сегментации целевых эталонных единиц [16, 17].

Целью исследований является поиск приемлемого алгоритма машинного обучения в интеграции с объектно ориентированным подходом для автоматизированной классификации изображений ДЗЗ внутрихозяйственного землепользования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены на территории землепользования ОС «Элитная» (54°54’57" с.ш., 82°57’6" в.д.) Новосибирского района и ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. (54°22′37.64″ с.ш., 82°47′18.73″ в.д.) Искитимского района Новосибирской области, расположенных в центральной лесостепной подзоне. Рельеф ОС «Элитная» представлен слабоволнистой

равниной с абсолютными высотами от 103 до 170 м. В почвенном покрове преобладают чернозем выщелоченный и темно-серая лесная почва. Территория ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. в основном представляет сильно изрезанную многочисленными логами и балками равнину с абсолютными отметками над уровнем моря от 206 до 278 м. В почвенном покрове преобладают серые лесные почвы, чернозем выщелоченный и луговые почвы.

Для распознавания и классификации объектов внутрихозяйственного землепользования использованы многозональные космические снимки Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м в пикселе за апрель – начало мая, полученные при помощи Sentinelhub (https://www.sentinel-hub.com). Из 13 спектральных каналов Sentinel-2 в работе использовали три полосы видимого диапазона (RGB) – красный (B02), зеленый (B03) и синий (B04). Для повышения точности сегментации и классификации пространственных объектов, имеющихся на территории землепользования, выбраны снимки с отсутствием на них растительности.

Рабочий процесс объектно ориентированной классификации состоял из выполнения следующих этапов: сегментация (получение объектов изображения) многозональных космических снимков Sentinel-2 с использованием OBIS; классификация полученного сегментированного изображения с использованием алгоритмов машинного обучения; оценка точности полученных результатов посредством построения матрицы неточностей и расчетов коэффициента Каппа.

С помощью программного продукта SAGA GIS версии 8.5.1 с открытым исходным кодом были проведены геометрические, радиометрические преобразования и анализ полученного интегрированного снимка на основе объектов для реализации эффективной сегментации, которую проводили с использованием алгоритма Object Based Image Segmentation (OBIS). Алгоритм OBIS в SAGA GIS позволяет объединить несколько модулей в один процесс автоматизированной сегментации изображений. Теоретическая основа алгоритма сегментации OBIA/OBIS описана в работах [18, 19].

Формирование обучающей выборки для классификации выполняли посредством экспертного анализа пространственных объектов. Классификацию полученных объектов осуществляли с использованием алгоритмов машинного обучения – SVM и RF в пакете статистического языка программирования R. Оценку точности полученных результатов проводили с помощью матрицы путаницы и коэффициента Каппа Коэна. Последующее отображение полученных результатов в виде карт выполнено с использованием программного продукта с открытым исходным кодом QuantumGIS (QGIS) (https://qgis.org/ru/site/) в привязанной к международной геодезической системе координат WGS 84.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В последнее время GEOBIA все чаще применяется для классификации ДЗЗ. В GEOBIA изображения сначала сегментируются на объекты, которые представляют собой группы пикселей (участки земли), которые впоследствии могут быть классифицированы по представляющим интерес категориям с помощью алгоритмов машинного обучения. Ключевые преимущества GEOBIA по сравнению с методами, основанными на пикселях, включают: 1) возможность учитывать при классификации, в дополнение к спектральным значениям слоев входного изображения, форму, текстуру на уровне объекта и контекстуальные переменные; 2) сглаживание некоторых локальных вариаций внутри объектов, что может уменьшить шум («соль с перцем») и повысить точность классификации и 3) учет территориальной иерархии участков и тип покрытия, путем работы с несколькими слоями объектов, вложенных друг в друга в разных пространственных масштабах. Аппроксимация наземных объектов и участков объектами изображения делает их более значимыми и потенциально более устойчивыми к незначительным ошибкам геопространственного позиционирования и регистрации изображений, чем пиксельные единицы.

Одним из основных этапов обработки изображений ДЗЗ является сегментация, которая осуществляется с целью разделения изображения на сегменты, содержащие однотипные по своим визуальным характеристикам пиксели. Каждому пикселю присваивается опре-

деленная метка (номер сегмента) с последующим формированием сегментов карты. Такая обработка позволяет выделить на изображении однородные территории (поле, водоем, дороги, строения и др.), последующий анализ которых существенно проще по сравнению с фоновыми исследованиями неоднородных космических снимков. Сегментация многозональных космических изображений заключается также в разделении всей области исходного изображения на полигональные объекты с определенными схожими характеристиками, включая спектр, текстуру и форму [20].

Для решения задачи классификации пространственных объектов важно не только выделить класс поверхности, но и определить его границы. Для этих целей применялся алгоритм OBIS. При использовании данного алгоритма группировка пикселей в сегменты (объекты) происходила посредством итеративного процесса. Значение ширины полосы пропускания для генерации, используемое в методе OBIS, выбиралось экспертным способом в соответствии с размером исследуемой области и пространственным разрешением космического снимка. В нашем случае ширина полосы пропускания (размер) для генерации начального числа была выбрана равной десяти.

После того, как пространственное разрешение изображения дистанционного зондирования определено, значение размера должно быть соответствующим образом уменьшено для исследуемой территории с меньшими пространственными участками и более рассредоточенным их распределением. Для исследуемой области с более крупными участками и более концентрированным пространственным распределением значение размера должно быть увеличено [21]. Таким образом, для нахождения оптимального варианта для более точного отображения объектов на снимке были использованы различные значения ширины полосы пропускания. При этом было установлено, что чем выше ее значение, тем больше других сегментов включается в полученные классы объектов. Если сформировать объекты с пороговым значением меньше трех, то в них входят в основном шумы. Поэтому было принято решение оставить ширину полосы пропускания для генерации классов объектов равной десяти.

В результате сегментации на основании анализа отражательной способности объектов многозонального космического изображения территории ОС «Элитная» размером 439×270 пикселей был сформирован 4 641 сегмент (рис. 1, *а*). На изображении территории ИП ГК(Ф)Х Ковалев размером 1 632×1 188 пикселей было сформировано 6 864 сегмента (рис. 1, *б*).



а *б*

Рис. 1. Сегментация территории ОС «Элитная» (*а*) и ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. (*б*)

Fig. 1. Segmentation of the territory of the ES «Elitnaya» (*a*) and the individual entrepreneur State Farm (Collective Farm) Kovalev S.M. (*b*)

Следует отметить, что при сегментации объектов недвижимости наблюдалась путаница с другими пространственными объектами, которая скорее всего происходила из-за счет

недостаточного пространственного разрешения (10 м в пикселе) и близких спектральных характеристик различных объектов. Кроме того, пиксели (т.е. элементы изображения) представляют собой отдельные наблюдения земной поверхности в определенном месте с относительными или абсолютными кортежами координат реального мира. Они не несут никаких пространственных свойств в дополнение к их относительному или абсолютному местоположению, яркости или значению цвета. И наоборот, человеческое зрение ведет себя диаметрально иначе: человек может интерпретировать и понимать изображения только тогда, когда отдельные пиксели игнорируются и пространственно объединяются в воспринимаемые значимые целые [14]. Например, при визуальной интерпретации панхроматических и цветных изображений ДЗЗ сельскохозяйственные поля обычно обнаруживаются на основе свойств формы и размера, в то время как определение конкретного типа культуры может зависеть от цвета.

Современные технологии использования космических снимков предусматривают цифровую обработку данных. Применяются два основных вида дешифрирования – визуальное (экспертное) и автоматизированное (машинное). Последнее включает задачи классификации изображений на основе процесса самообучения алгоритмов распознавания. Обучение классификаторов проводилось на основе знаний эксперта и полученных сегментов (объектов). Протестировано два алгоритма машинного обучения: RF и SVM.

RF является ансамблевым классификатором решающих деревьев для принятия решения о классовой принадлежности объекта. Случайные леса представляют собой комбинацию предикторов деревьев таким образом, что каждое дерево зависит от значений случайного вектора, отобранного независимо и с одинаковым распределением для всех деревьев в лесу [22]. Достижение высокого качества классификации данным алгоритмом происходит за счет объединения «слабых» деревьев, при этом допускается, что любое одно дерево не является оптимальным. Данные, не используемые при обучении, известны как исходные данные (out-of-bag – OOB) и могут применяться для независимой оценки общей точности классификации [1]. Для настройки модели RF был выбран оптимальный параметр – количество деревьев в каждой итерации, равной 10 шт., основанной на результатах оценки OOB, а затем проведено обучение с оптимальным числом деревьев.

SVM – это непараметрический алгоритм, основанный на теории статистического обучения [23]. SVM фокусируется исключительно на обучающих выборках, которые в пространстве признаков наиболее близки к оптимальной границе между классами, является двоичным и определяет единую границу между двумя классами [24, 25]. В наших исследованиях это ограничение было устранено путем проекции пространства признаков на более высокое измерение с предположением, что линейная граница может существовать в этом пространстве. Представленная проекция на более высокую размерность известна как «трюк с ядром». При обучении модели SVM в качестве ядра была использована радиальная базисная функция (RBF).

На основе экспертной оценки изображения ДЗЗ территории землепользования ОС «Элитная» было сформировано 5 классов пространственных объектов, каждый класс содержал не менее 20 сегментов изображения.

Для классификации пространственных объектов с помощью алгоритмов машинного обучения данные со значениями классов объектов были разделены на обучающую и тестовую выборки. Для подтверждения согласованности каждого пространственного объекта в обучающем и проверочном наборах данных использовался метод стратифицированной выборки.

Для территории ОС «Элитная» использовалась обучающая выборка, состоящая из 103 объектов пространственной выборки, а для оценки точности модели (тестовая выборка) – из 31 объекта пространственной выборки. Результаты машинного обучения представлены на тематических картах (рис. 2).

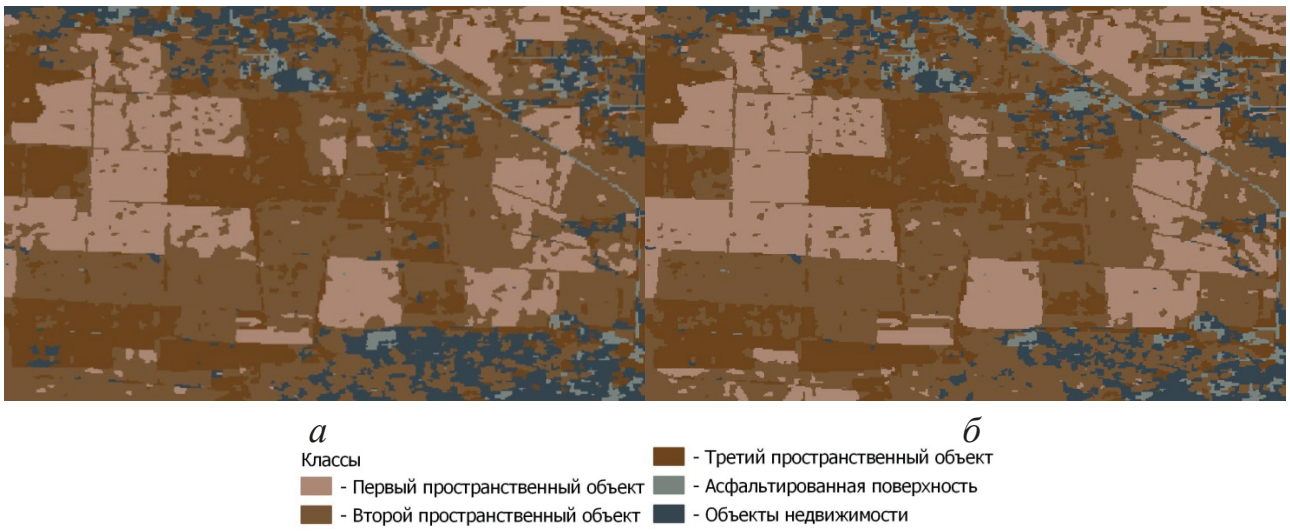


Рис. 2. Классификация многозональных космических снимков ОС «Элитная» с помощью алгоритмов RF (*а*) и SVM (*б*)

Fig. 2. Classification of multispectral satellite images from ES «Elitnaya» using RF (*a*) and SVM (*b*) algorithms

Для территории землепользования ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. были сформированы 7 классов пространственных объектов, обучающая выборка состояла из 184 объектов пространственной выборки, а тестовая выборка – из 79 объектов пространственной выборки. Результаты машинного обучения представлены на тематических картах (рис. 3).

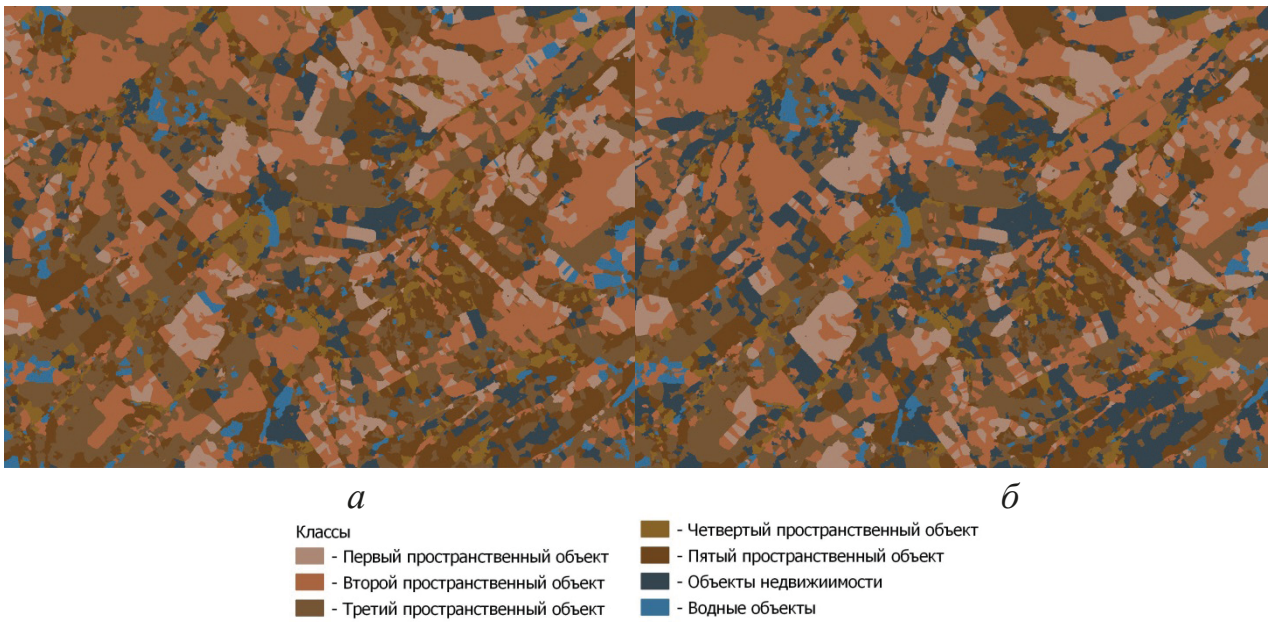


Рис. 3. Классификация многозональных космических снимков ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. с помощью алгоритмов RF (*а*) и SVM (*б*)

Fig. 3. Classification of multispectral satellite images State Farm (Collective Farm) Kovalev S.M. using RF (*a*) and SVM (*b*) algorithms

При классификации изображений ДЗЗ на территорию землепользования ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. на начальном этапе анализа снимка для каждого сформированного класса пространственных объектов обучающая выборка содержала около 20 сегментов. После проведения классификации было установлено, что точность полученного результата составила

в среднем около 60 %. После анализа полученного результата, а также учета того, что площадь данного землепользования превышает площадь ОС «Элитная» в 3,7 раза, было принято решение увеличить объем выборки входящих в класс объектов до 40 сегментов. В результате оказался сформирован набор эталонных сегментов, каждый из которых составлял в среднем 3,8 % от общей площади классификации.

Для оценки общей точности результатов классификации изображений ДЗЗ с использованием алгоритмов RF и SVM были созданы матрицы путаницы (табл. 1, 2).

Матрица путаницы – это табличное представление для описания производительности модели классификации на наборе тестовых данных, для которых известны фактические значения. Создание матрицы позволяет легко идентифицировать путаницу между классами, т.е. когда один класс ошибочно помечен как другой [26]. Вертикальные столбцы в таблице матрицы путаницы отражают фактические классы, а горизонтальные – предсказанные классы. Диагональ представляет собой число правильно классифицированных классов объектов. Значения вне диагонали показывают ошибки классификации между соответствующими классами.

Таблица 1

Матрицы путаницы классификации многозонального изображения на территорию ОС «Элитная»
Confusion matrices for classifying a multispectral image into the territory of the ES «Elitnaya»

RF					
Объект	1	2	3	4	5
1	5	0	0	0	0
2	2	1	1	0	0
3	0	0	7	0	0
4	0	0	0	7	0
5	0	0	0	0	8

SVM					
Объект	1	2	3	4	5
1	5	0	0	0	0
2	0	0	1	1	2
3	0	0	7	0	0
4	0	0	0	7	0
5	0	0	0	0	8

Примечание. С 1 по 3 – пространственные объекты; 4 – асфальтированная поверхность; 5 – объекты недвижимости.

Расчет результатов оценки точности выполнен по формуле:

$$\text{Accuracy assessments} = (T/N) \times 100,$$

где T – количество правильно классифицированных объектов; N – общее количество объектов выборки.

В результате расчета показателя общей точности (Accuracy assessments) классификации пространственных объектов землепользования, отображенных на космических снимках, для территории ОС «Элитная» алгоритмом RF составила 90,32 %, алгоритмом SVM – 87,10 %. Следует отметить, что при классификации «второй пространственный объект» алгоритмом SVM не был классифицирован, а в других случаях он путался с «третьим пространственным объектом», «асфальтированной поверхностью» и «объектами недвижимости». Объясняется это скорее всего тем, что иногда происходит внутрипиксельное смешивание спектральных характеристик объектов, и алгоритм SVM не всегда справляется с этим эффектом.

Для территории землепользования ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. алгоритмом RF общая точность полученного результата составила 82,27 %, а алгоритмом SVM – 78,40 % (табл. 2). В данном объекте классификации алгоритмом SVM «пятый пространственный объект» классифицирован как «третий пространственный объект» и «объекты недвижимости». «Объекты недвижимости» обоими методами были неверно классифицированы, а также «четвертый пространственный объект». Ошибки при проведении сегментации оказывают влияние на дальнейшее проведение классификации вследствие объединения в пространственный объект неправильно отнесенных пискелей.

Таблица 2

Матрицы путаницы классификации многозонального изображения на территорию ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М.
Confusion matrices for the classification of a multispectral image into the territory of State Farm (Collective Farm) Kovalev S.M.

RF							
Объект	1	2	3	4	5	6	7
1	15	1	0	0	0	0	1
2	0	19	0	0	0	0	0
3	0	0	7	0	0	5	0
4	0	0	0	4	1	0	0
5	0	0	0	0	8	2	0
6	0	0	2	0	2	8	0
7	0	0	0	0	0	0	4

SVM							
Объект	1	2	3	4	5	6	7
1	17	0	0	0	0	0	0
2	0	19	0	0	0	0	0
3	0	1	6	0	0	5	0
4	0	0	0	4	1	0	0
5	0	0	1	0	4	5	0
6	0	0	2	0	2	8	0
7	0	0	0	0	0	0	4

Примечание. С 1 по 5 – пространственные объекты; 6 – объекты недвижимости; 7 – водные объекты.

Применение алгоритмов SVM и RF показали удовлетворительные результаты классификации. Исходя из результатов, представленных в матрице неточностей, отчетливо прослеживается, что большинство объектов были классифицированы правильно.

Кроме того, рассматривались другие показатели, полученные из матрицы ошибок. В частности, использовалась статистика Каппа по формулам, приведенным в [27]. Статистика Каппа измеряет согласованность между истинной категорией пространственных объектов и предсказанной моделью. Чем выше Каппа, тем выше точность классификации. Коэффициент Каппа, по существу, оценивает эффективность общей классификации.

Проведенный расчет показал, что для территории ОС «Элитная» общая точность классификации изображения ДЗЗ алгоритмом RF коэффициент Каппа равна 0,87, алгоритмом SVM – 0,74. Для территории землепользования ИП ГК(Ф)Х Ковалев С.М. алгоритмом RF коэффициент Каппа составляет 0,82, алгоритмом SVM – 0,78.

В целом протестированные алгоритмы машинного обучения RF и SVM показали достаточно высокую общую точность классификации пространственных объектов. В результате проведенного анализа в основном была решена проблема шума («соль с перцем»), а информация о границах пространственных объектов учтена более полно, чем при пиксельном подходе.

ВЫВОДЫ

1. Объектно ориентированный подход, состоящий из трех этапов, – сегментации, классификации и проверки точности с использованием машинного обучения – является более перспективным методом в сравнении с пиксельным анализом, облегчает процесс распознавания и классификации пространственных объектов и может использоваться непосредственно в геоинформационном моделировании оценки и типизации земель сельскохозяйственного назначения.

2. Для повышения общей точности классификации многозональных космических снимков целесообразно использовать алгоритм RF, который для обоих изученных объектов землепользования показал лучшие результаты (точность 82,27–90,32 %, коэффициент Каппа 0,82–0,87) по сравнению с алгоритмом SVM (точность 78,40–87,10 %, коэффициент Каппа 0,74–0,78).

3. При классификации изображений ДЗЗ с повышенным разнообразием природных объектов и спектральных характеристик в разных сценах для увеличения общей точности классификации целесообразно увеличить количество сегментов при выделении пространственного объекта примерно в 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Maxwell A.E., Warner T.A., Fang F.* Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review // International journal of remote sensing. – 2018. – Vol. 39, N 9. – P. 2784–2817. – DOI: 10.1080/01431161.2018.1433343.
2. *Dhingra S., Kumar D.* A review of remotely sensed satellite image classification // International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2019. – Vol. 9, N 3. – P. 1720–1731. – DOI: 10.11591/ijece.v9i3.pp.1720-1731.
3. *Ouchra H., Belangour A.* Satellite image classification methods and techniques: A survey // 2021 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST). – IEEE, 2021. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/IST50367.2021.9651454.
4. *Remote* sensing image classification: A comprehensive review and applications / M. Mehmood, A. Shahzad, B. Zafar, A. Shabbir // Mathematical Problems in Engineering. – 2022. – Vol. 2022. – P. 1–24. – DOI: 10.1155/2022/5880959.
5. *Mountrakis G., Im J., Ogole C.* Support vector machines in remote sensing: A review // ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. – 2011. – Vol. 66, N 3. – P. 247–259. – DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001.
6. *Белов А.М., Денисова А.Ю.* Классификация изображений ДЗЗ с использованием алгоритма комплексирования данных различных сенсоров // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 627–635. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-735.
7. *Akar Ö., Güngör O.* Classification of multispectral images using Random Forest algorithm // Journal of Geodesy and Geoinformation. – 2012. – Vol. 1, N 2. – P. 105–112. – DOI: 10.9733/jgg.241212.1.
8. *Колесников А.А.* Анализ методов и средств искусственного интеллекта для анализа и интерпретации данных активного дистанционного зондирования // Вестник СГУГИТ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 74–94.
9. *Семантическая* сегментация данных дистанционного зондирования Земли при помощи нейросетевых алгоритмов / А.А. Друки, В.Г. Спицин, Ю.А. Болотова, А.А. Башлыков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 1. – С. 59–68.
10. *A survey* of remote sensing image classification based on CNNs / J. Song, S. Gao, Y. Zhu, Ch. Ma // Big earth data. – 2019. – Vol. 3, N 3. – P. 232–254. – DOI: 10.1080/20964471.2019.1657720.
11. *Comparing* supervised algorithms in Land Use and Land Cover classification of a Landsat time-series / T. Nery, R. Sadler, M. Solis-Aulestiaet, B. White // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Beijing, China, 2016. – P. 5165–5168. – DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7730346.
12. *Geographic* object-based image analysis-towards a new paradigm / T. Blaschke, G.J. Hay, M. Kelly, S. Lang // ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. – 2014. – Vol. 87. – P. 180–191. – DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014.
13. *Geographic* object-based image analysis (GEOBIA): Emerging trends and future opportunities / G. Chen, Q. Weng, G.J. Hay, Y. He // GIScience & Remote Sensing. – 2018. – Vol. 55, N 2. – P. 159–182. – DOI: 10.1080/15481603.2018.1426092.
14. *GEOBIA* Achievements and Spatial Opportunities in the Era of Big Earth Observation Data / S. Lang, G.J. Hay, A. Baraldi, D. Tiede // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2019. – Vol. 8, N 11. – P. 474. – DOI: 10.3390/ijgi8110474.
15. *Object-oriented* method combined with deep convolutional neural networks for land-use-type classification of remote sensing images / B. Jin, P. Ye, X. Zhang, W. Song, S. Li // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. – 2019. – Vol. 47. – P. 951–965. – DOI: 10.1007/s12524-019-00945-3.
16. *Accuracy* assessment measures for object-based image segmentation goodness / N. Clinton, A. Holt, J. Scarborough, A. Holt, L. Yan. // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2010. – Vol. 76, N 3. – P. 289–299. – DOI: 0099-1112/10/7603–0289/$3.00/0.
17. *Ye S., Pontius Jr.R.G., Rakshit R.* A review of accuracy assessment for object-based image analysis: From per-pixel to per-polygon approaches // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2018. – Vol. 141. – P. 137–147. – DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.04.002.
18. *Labib S.M., Harris A.* The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object based image analysis (OBIA) method // European Journal of Remote Sensing. – 2018. – Vol. 51, N 1. – P. 231–240. – DOI: 10.1080/22797254.2017.1419441.

19. *Hossain M.D., Chen D.* Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2019. – Vol. 150. – P. 115–134. – DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.02.009.
20. *Assessing* the performance of different OBIA software approaches for mapping invasive alien plants along roads with remote sensing data / P. Lourenço, A.C. Teodoro, J.A. Gonçalves, P.J. Honrado // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2021. – Vol. 95. – P. 102263. – DOI: 10.1016/j.jag.2020.102263.
21. *Lemenkova P.* Object based image segmentation algorithm of SAGA GIS for detecting urban spaces in yaoundé, Cameroon // Central European Journal of Geography and Sustainable Development.– 2020. – Vol. 2, N 2. – P. 38–51. – DOI:10.47246/CEJGSD.2020.2.2.4.
22. *Breiman L.* Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45. – P. 5–32. – DOI: 10.1023/A:1010933404324.
23. *Cortes C., Vapnik V.* Support-vector networks // Machine Learning. – 1995. – Vol. 20. – P. 273–297. – DOI: 10.1007/BF00994018.
24. *Support* vector machine versus random forest for remote sensing image classification: A meta-analysis and systematic review / M. Sheykhmousa, M. Mahdianpari, H. Ghanbari [et al.] // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2020. – Vol. 13. – P. 6308–6325. [Электронный ресурс]. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9206124 (дата обращения: 03.09.2023).
25. *Object-based* wetland vegetation classification using multi-feature selection of unoccupied aerial vehicle RGB imagery / R. Zhou, C. Yang, E. Li, X. Cai // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13, N 23. – P. 4910. – DOI:10.3390/rs13234910.
26. *Старовойтов В.В., Голуб Ю.И.* Об оценке результатов классификации несбалансированных данных по матрице ошибок // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 61–71. – DOI: 10.37661/1816-0301-2021-18-1-61-71.
27. *Jenness J., Wynne J.J.* Kappa Analysis (kappa_stats.avx) Extension for ArcView 3.x. Jenness Enterprises. 2007. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.jennessent.com/arcview/kappa_stats.htm (дата обращения: 07.09.2023).

REFERENCES

1. Maxwell A.E., Warner T.A., Fang F., Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review, *International journal of remote sensing,* 2018, Vol. 39, No. 9, P. 2784–2817, DOI:10.1080/01431161.2018.1433343.
2. Dhingra S, Kumar D., A review of remotely sensed satellite image classification, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2019, Vol. 9, No. 3, pp. 1720–1731, DOI: 10.11591/ijece.v9i3.pp.1720-1731.
3. Ouchra H, Belangour A., Satellite image classification methods and techniques: A survey, *2021 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST). IEEE,* 2021, P. 1–6, DOI: 10.1109/IST50367.2021.9651454.
4. Mehmood M., Shahzad A., Zafar B., Shabbir A., Remote sensing image classification: A comprehensive review and applications, *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, Vol. 2022, P. 1–24, DOI: 10.1155/2022/5880959.
5. Mountrakis G., Im J., Ogole C., Support vector machines in remote sensing: A review, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2011, Vol. 66, No. 3, pp. 247–259, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001.
6. Belov A.M., Denisova A.U., *Komputernaua optika,* 2020, T. 44, No. 4, pp. 627–635, DOI: 10.18287/2412-6179-CO-735. (In Russ.)
7. Akar Ö., Güngör O., Classification of multispectral images using Random Forest algorithm, *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 2012, Vol. 1, No. 2, pp. 105–112, DOI: 10.9733/jgg.241212.1.
8. Kolesnikov A.A., *Vestnik SGUGIT,* 2022, T. 27, No. 3, pp. 74–94. (In Russ.)
9. Druki A.A., Spitsin V.G., Bolotova Yu.A., Bashlykov A.A., *Izvestia Tomskogo politexnicheskogo universiteta, Inziniring georesursov,* 2018, T. 329, No. 1, pp. 59–68. (In Russ.)
10. Song J., Gao S., Zhu Y., Ma Ch., *A survey of remote sensing image classification based on CNNs, Big earth data,* 2019, Vol. 3, No. 3, pp. 232–254, DOI: 10.1080/20964471.2019.1657720.

11. Nery T., Sadler R., Solis-Aulestiaet M., White B., Comparing supervised algorithms in Land Use and Land Cover classification of a Landsat time-series, *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing, China,* 2016, pp. 5165–5168, DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7730346.
12. Blaschke T., Hay G.J., Kelly M., Lang S., Geographic object-based image analysis-towards a new paradigm, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing,* 2014, Vol. 87, pp. 180–191, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014.
13. Chen G., Weng Q., Hay G.J., He Y., Geographic object-based image analysis (GEOBIA): Emerging trends and future opportunities, *GIScience& Remote Sensing,* 2018, Vol. 55, No. 2, pp. 159–182, DOI: 10.1080/15481603.2018.1426092.
14. Lang S, Hay GJ, Baraldi A, Tiede D., GEOBIA Achievements and Spatial Opportunities in the Era of Big Earth Observation Data, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, Vol. 8, No. 11, pp. 474, DOI: 10.3390/ijgi8110474.
15. . Jin B.Ye.P., Zhang X., Song W., Li S., Object-oriented method combined with deep convolutional neural networks for land-use-type classification of remote sensing images, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2019, Vol. 47, pp. 951–965, DOI: 10.1007/s12524-019-00945-3.
16. Clinton N, Holt A, Scarborough J, Holt A, Yan L., Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* 2010, Vol. 76, No. 3, pp. 289–299, DOI: 0099-1112/10/7603–0289/$3.00/0.
17. Ye S., Pontius Jr.R.G., Rakshit R., A review of accuracy assessment for object-based image analysis: From per-pixel to per-polygon approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 2018, Vol. 141, pp. 137–147, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.04.002.
18. Labib S.M., Harris A., The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object based image analysis (OBIA) method, *European Journal of Remote Sensing,* 2018, Vol. 51, No. 1, P. 231–240, DOI: 10.1080/22797254.2017.1419441.
19. Hossain M.D., Chen D., Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 2019, Vol. 150, pp. 115–134, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.02.009.
20. Lourenço P., Teodoro A.C., Gonçalves J.A., Honrado P.J., Assessing the performance of different OBIA software approaches for mapping invasive alien plants along roads with remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,* 2021, Vol. 95, pp. 102263, DOI: 10.1016/j.jag.2020.102263.
21. Lemenkova P., Object based image segmentation algorithm of SAGA GIS for detecting urban spaces in yaoundé, Cameroon, *Central European Journal of Geography and Sustainable Development,* 2020, Vol. 2, No. 2, pp. 38–51, DOI: 10.47246/CEJGSD.2020.2.2.4.
22. Breiman L., Random forests, *Machine Learning,* 2001, Vol. 45, pp. 5–32, DOI: 10.1023/A:1010933404324.
23. Cortes C., Vapnik V., Support-vector networks, *Machine Learning,* 1995, Vol. 20, pp. 273–297, DOI: 10.1007/BF00994018.
24. Sheykhmousa M., Mahdianpari M., Ghanbari H., *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,* 2020, Vol. 13. pp. 6308–6325, URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9206124 (data obrashcheniya: 03.09.2023).
25. Zhou R., Yang C., Li E., Cai X., Object-based wetland vegetation classification using multi-feature selection of unoccupied aerial vehicle RGB imagery, *Remote Sensing*, 2021, Vol. 13, No. 23, pp. 4910, DOI: 10.3390/rs13234910.
26. Starovoitov V.V., Golub U.I., *Informatika,* 2021, T. 18, No. 1, pp. 61–71, DOI: 10.37661/1816-0301-2021-18-1-61-71. (In Russ.)
27. Jenness J., Wynne J.J., Jenness Enterprises, 2007, URL: http://www.jennessent.com/arcview/kappa_stats.htm (data obrashcheniya: 07.09.2023).

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-48-54
УДК 57.085(042)

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРПЕНОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА CRASSULACEAE, DC. РОДА SEDUM S.L., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ РСО–АЛАНИЯ

С.А. Гревцова, кандидат биологических наук
Э.И. Рехвиашвили, доктор биологических наук
М.К. Айлярова, старший преподаватель
М.Ю. Кабулова, кандидат биологических наук
Л.Ч. Гагиева, доктор биологических наук
Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания
E-mail: grevzovasvetlana@yandex.ru

Ключевые слова: Crassulaceae DC., Sedum s.l., терпены, ГХ/МС (годовая хромато-масс-спектрометрия), фитохимия, комплексный фитоэкстракт.

Реферат. *Очитки – представители семейства толстянковых, ценный лекарственный вид с ограниченным распространением. Он имеет исключительное значение для фитотерапии и биохимии растений. В ФГБОУ ВО Горский ГАУ в коллекционном питомнике интродуцированы и успешно произрастают некоторые представители семейства толстянковых (Crassulaceae DC.): очиток видный, очиток кавказский, очиток супротиволистный и очиток линейный. Crassulaceae DC. – это большое семейство двудольных покрытосеменных растений, характеризующееся своей уникальной формой фотосинтеза. Эти растения используются в основном в качестве носителей химически активных соединений и биологически ценных веществ. Исследуемые образцы растений семейства толстянковых представляют особый интерес в качестве сырья для лекарственных препаратов и как ценные биологически активные компоненты. В результате проведенных исследований методом хромато-масс-спектрометрии определен компонентный состав терпенового ряда в растительных объектах: очиток супротиволистный (Sedum oppositifolium), очиток кавказский (Sedum caucasicum), очиток линейный (Sedum lineare Thunb.) и очиток видный (Sedum spectabile). В Sedum spectabile содержится два, в Sedum caucasicum – пять, в Sedum oppositifolium – восемь, в Sedum lineare Thunb. – десять компонентов терпенового ряда. Биологически ценные вещества ряда терпенов семейства толстянковых, обнаруженные в изучаемых растениях, определены при помощи органических растворителей. Терпены были выделены в хлороформных и в этанольных вытяжках, т. е. подобран растворитель для интересующего компонента, а идентифицированные терпены могут выступать в качестве индикаторных специфических компонентов для каждого растения и выбора подходящих маркеров.*

CHARACTERISTICS OF SOME BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF A NUMBER OF TERPENES FOR REPRESENTATIVES OF THE CRASSULACEAE DC FAMILY THE GENUS SEDUM S.L., GROWING IN THE RSO–ALANIA

S.A. Grevtsova, Candidate of Biological Sciences
E.I. Rekhviashvili, Doctor of Biological Sciences
M.K. Aylarova, Senior Lecturer
M.Y. Kabulova, Candidate of Biological Sciences
L.Ch. Gagieva, Doctor of Biological Sciences
Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia – Alania
E-mail: grevzovasvetlana@yandex.ru

Keywords*:* Gas chromatography-mass spectrometry, Crassulaceae DC., terpenes, Sedum s.l., complex phytoextract.

Report. *Sedums are representatives of the Crassulaceae family, a valuable medicinal species with limited distribution. It is of exceptional importance for herbal medicine and plant biochemistry. At the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Gorsky State Agrarian University, some representatives of*

the Crassulaceae family (Crassulaceae DC) have been introduced and successfully grow in the collection nursery: prominent sedum, Caucasian sedum, antifolia sedum and linear sedum. Crassulaceae DC. is a large family of dicotyledonous angiosperms characterized by its unique form of photosynthesis. These plants are used mainly as carriers of chemically active compounds and biologically valuable substances. The studied samples of plants of the Crassulaceae family are of particular interest as raw materials for medicines and as valuable biologically active components. As a result of the studies carried out using chromatography-mass spectrometry, the component composition of the terpene series in plant objects was determined: sedum oppositifolium, Caucasian sedum (Sedum caucasicum), linear sedum (Sedum lineare Thunb.) and prominent sedum (Sedum spectabile). Sedum spectabile contains two, Sedum caucasicum contains five, Sedum oppositifolium contains eight, Sedum lineare Thunb. – ten components of the terpene series. The biologically valuable substances of a number of terpenes of the Crassulaceae family, found in the studied plants, were determined using organic solvents. Terpenes were isolated in chloroform and ethanol extracts, i.e., a solvent was selected for the component of interest, and the identified terpenes can act as indicators of specific components for each plant and the selection of suitable markers.

Изопреноиды – это семейство натуральных продуктов, включающее более 70 000 соединений с огромным структурным и функциональным разнообразием [1–17]. Эти соединения присутствуют во всех живых организмах от прокариот до эукариот, но наибольшее структурное разнообразие наблюдается у растений [1–12]. Изопреноиды растений выполняют важные биологические функции в первичном метаболизме, регуляции роста растений, биосинтезе клеточной стенки, внутриклеточной передаче сигналов. Кроме того, они играют значительную роль в реакциях на биотический и абиотический стресс [3–5].

Изопреноиды представляют собой самую большую группу биологически активных и специализированных метаболитов в растениях. Многие изопреноиды обеспечивают защиту растений от патогенов и угроз со стороны травоядных. Изопреноиды также выполняют важные функции в процессах фотосинтеза и дыхания растений и задействуют многие гормональные пути (абсцизовая кислота, брассиностероиды, цитокинин, гиббереллин и стриголактоны), важные для регуляции развития и роста растений [1–17].

Изопреноиды представляют собой старейший класс известных низкомолекулярных натуральных продуктов, синтезируемых растениями. Их биогенез в пластидах, митохондриях и эндоплазматическом ретикулуме–цитозоле неизменно происходит за счет строительных блоков C_5, изопентенилдифосфата и/или диметилаллилдифосфата в соответствии со сложными и повторяющимися механизмами. Соединения, полученные в результате этого пути, проявляют разнообразный спектр биологических функций [3–6].

Цель исследований – определить содержание терпеноидов в очитках, интродуцированных в коллекционный питомник ФГБОУ ВО Горский ГАУ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являются представители семейства толстянковых (Crassulaceae DC.) – очиток кавказский, очиток линейный, очиток супротиволистный, очиток видный, – которые успешно интродуцированы в коллекционный питомник ФГБОУ ВО Горский ГАУ.

Первым этапом исследований явилось изучение компонентов терпенового ряда в данных объектах в ходе хромато-масс-спектрометрического анализа, а также скрининг полученных результатов для определения индикаторных веществ и возможности выбора подходящих маркеров. Следующим этапом работы был подбор растворителей для вытяжки, в которых обнаруживается конкретно интересующее вещество (терпен). Растворителями для вытяжек в эксперименте послужили: хлороформ (Х), этанол (Э) и метанол (М).

Исследования проводились на основе «Рекомендаций по унификации фенологических наблюдений в России». Изучение ритмов роста и развития очитков выполнялось с использованием методик фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях [3–6]. Морфолого-анатомические исследования проведены по методикам «Государственной фармакопеи.

Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье».

Биохимические исследования проводили с помощью хромато-масс-спектрометрии. На хромато-масс-спектрографе фирмы «Agilent Technolog» 6850/5973. Капиллярная кварцевая колонка HP-5MS (длина 30 м, диаметр 250 мкм, толщина пленки фазы 0,25 мкм). Условия анализа: газ-носитель гелий, скорость расхода газа-носителя 1,2 мл/мин, температура колонки программируется от 60 до 280 °С со скоростью 20 градусов в минуту, объем пробы 1 мкл, способ введения: без деления потока.

Условия масс-спектрометрического детектирования: анализ проводили в режиме сканирования по полному ионному току (SCAN); температура источника ионов 230 °С, температура анализатора 150 °С, диапазон масс m/z 41–650 а.е.м.; напряжение на умножителе: результат по автоматической настройке по перфторбутиламину в режиме ATUNE + 100 кВ.

Идентификацию веществ выполняли, сравнивая масс-спектры, снятые с вершин хроматографических пиков, со стандартными спектрами библиотек WILEY, NIST08 и NIST02/.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растения семейства толстянковых являются источником большого количества биологически активных веществ, используемых в биотехнологической промышленности. Наиболее ценными фитохимическими веществами являются продукты вторичного метаболизма. Большинство из них имеют сложную биохимическую структуру, что делает их химический синтез достаточно трудоемким. Анализ химического состава исследуемых растений позволил выявить наличие целого ряда терпенов.

Терпены представляют собой летучие ароматические соединения. Это ненасыщенные молекулы углеводородов (они имеют двойные связи между некоторыми атомами углерода), которые содержатся во всех живых организмах, но особенно много их в эфирных маслах растений. Обнаружены такие терпеновые соединения, как дитерпеновый спирт – фитол и тритерпеноид лупенон. В очитке видном обнаружен фитол в хлороформной (Х) вытяжке, а лупенон – в этанольной (Э). Фитол – растительный фитохимический компонент, который широко распространен в природе. Это ненасыщенный спирт с разветвленной цепью, который присутствует во всех растениях в форме хлорофилла. Фитол – это ациклический спирт дитерпена, часто присутствующий в эфирных маслах растений. Кроме того, фитол можно рассматривать в качестве нового лекарственного средства, претендующего на применение, при сопутствующих заболеваниях фитол действует как жизненно важный биомаркер. Лупенон тритерпеноид проявляет активность по уничтожению свободных радикалов, что приводит к снижению окислительного стресса.

Из терпеновых соединений в очитке кавказском (*S. caucasicum)* идентифицированы дитерпеновые спирты: геранилгераниол в этанольной (Э) вытяжке, который является дитерпеноидным спиртом (таблица). Он бесцветный, воскообразный, твердый. Геранилгераниол – это важное промежуточное звено в биосинтезе других дитерпенов, токоферола и филлохинона, используется в посттрансляционной модификации, известной как геранилгеранилирование, и фитол – ациклическое алифатическое органическое химическое соединение с структурной формулой $C_{20}H_{40}O$, относится к одноненасыщенным дитерпенам, основу которых составляют остатки изопрена, определяют в хлороформной (Х) и этанольной (Э) вытяжках; тритерпеновые сапонины (производные урсоловой кислоты) в (Э)-вытяжке – α-амирин и циклоурсан-3-он; в (Х)-вытяжке обнаружен также предшественник всех тритепеноидных сапонинов – сквален $C_{30}H_{50}$. Сквален $C_{30}H_{50}$ – углеводород тритерпенового ряда природного происхождения. Принадлежит к группе каротиноидов, обладает антиканцерогенным, антимикробным и фунгицидным действием. Сквален $C_{30}H_{50}$ является незаменимым компонентом клеточных мембран и присутствует во всех клетках организма. Это один из главных защитников живой клетки.

Молекулы сквалена $C_{30}H_{50}$ связывают и обезвреживают токсические вещества, свободные радикалы, канцерогены и другие вредные соединения, которые могут разрушать клеточную мембрану и проникать внутрь клетки. Именно с этим свойством связана противоопухолевая активность сквалена $C_{30}H_{50}$.

Растущий интерес к мощной биологической активности вторичных метаболитов обозначил необходимость определения их содержания в лекарственных растениях. При идентификации терпеновых соединений очитка супротиволистного (см. таблицу) в трех (Х,Э,М)-вытяжках был обнаружен дитерпеновый спирт фитол со структурной формулой $C_{20}H_{40}O$; в виде эфиров присутствовали: производное лупана – лупеол ацетат – $C_{32}H_{52}O_2$ | CID 46887587 – в (Х)-вытяжке, производное олеаноловой кислоты (тритерпеноида) в виде 12-олеанен-3-ил ацетата – $C_{32}H_{52}O_2$ – во всех трех вытяжках и производное урсоловой кислоты (тритерпеноида) в виде метилового эфира 3-оксо-урс-12-ен-24-новой кислоты $C_{12}H_{24}O_2Se$ – в (Х,М)-вытяжках. Эфиры тритерпеновых кислот (олеаноловой и урсоловой с общей формулой $C_{30}H_{48}O_3$) являются основными компонентами эфирных масел. Из тритерпеноидов в очитке супротиволистном идентифицированы: α-амирин – в (Х)-вытяжке, β-амирина с общей формулой $C_{30}H_{50}O$ – в (М)-вытяжке и сквален $C_{30}H_{50}$ – в (Э)-вытяжке.

Олеаноловая кислота (ОА) и урсоловая кислота (UA) являются природными тритерпеноидами, которые обладают противоопухолевой и противогепатитной активностью. Тритерпены содержатся в некоторых лекарственных растениях, в частности в очитках. ВЭЖХ-анализ содержания ОА и UA в различных очитках показал, что они могут быть использованы в качестве богатых источников ОА и UA.

В исследуемом очитке линейном обнаружен широкий терпеновый состав. Идентифицированы производные тритерпеновых сапонинов: лупенон $C_{30}H_{48}O$ – в (Э)-вытяжке, олеанен $C_{30}H_{50}O$ – в (Х,Э)-вытяжках, лупеол $C_{30}H_{50}O$ – в (Х,Э)-вытяжках, производные урсоловой $C_{30}H_{48}O_3$ и олеаноловой $C_{30}H_{48}O_3$ кислот: циклоурсан-3-ол ацеат – в (Х)-вытяжке и 12-олеанен-3-ил ацетат – в (Х,Э)-вытяжках; производное тритерпеноида – циклоартана – метиленциклоартенол – в (Х)-вытяжке, а также дитерпеновый спирт фитол – в (Э)-вытяжке, сесквитерпеновый спирт фарнезол $C_{15}H_{26}O$ и монотерпен лимонен $C_{10}H_{16}$ – в (Х)-вытяжках.

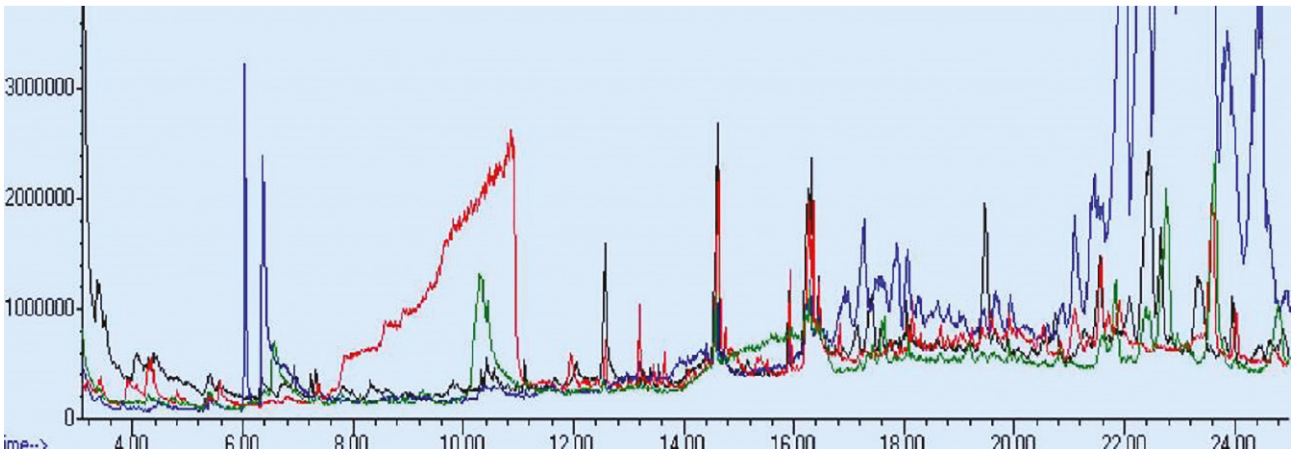
Терпеновый состав представителей семейства толстянковых Crassulaceae DC.
Terpene composition of representatives of the tolstyankovye family Crassulaceae DC.

Систематическое название (IUPAC)	Тривиальное название	Вытяжка	Время удерживания мин/с (пик)	Степень совпадения с библиотечным масс-спектром, %
1	2	3	4	5
Очиток видный (S. spectabile)				
	Фитол/ Fitol	Х	15,910	93
	Лупенон/ Lupenon	Э	21,579	86
Очиток кавказский (S. caucasicum)				
	Фитол/ Fitol	Х, Э	15,887	91
Циклоурсан-3-он/ Cycloursan-3-one	Циклоурсанон/ Cycloursan	Э	19,471	89
	α-амирин/ α-amirin	Э	21,549	90
2,6,10,15,19,23-гексаметил-2,6,10,14,18,22-тетракозагексаен/ 2,6,10,15,19,23-hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene	Сквален/ Squalene	Х	23,936	87
	Геранилгераниол/ Geranil Geraniol	Э	23,971	89
Очиток супротиволиистный (S. oppositifolium)				
Фитол/ Fitol	Фитол/ Fitol	Э, Х, М	15,927	98
	β-амирин/ β -amirin	М	16,413	93
	α-амирин/ α-amirin	Х	16,425	97

Окончание табл.

1	2	3	4	5
12-Олеанен-3-ил ацетат/12-Oleanen-3-yl acetate	Олеаниненил ацетат/ Oleaninenyl acetate	Х, М, Э	21,778	98
Стигмастан-3,5-диен/ Stigmastan-3,5-diene	Стигмастандиен/ Stigmastandien	Э	21,597	98
Лупеол ацетат/ Lupeol acetate		Х	22,883	95
2,6,10,15,19,23-гексаметил-2,6,10,14,18,22-тетракозагексаен/2,6,10,15,19,23-hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene	Сквален/ Сквален	Э	24,024	89
3-оксо-урс-12-ен-24-новой кислоты метиловый эфир/3-oxo-urs-12-en-24-noic acid methyl ester	Оксоурсеновой кислоты метиловый эфир/ Oxoursonic acid methyl ester	Х, М	24,831	99
Очиток линейный (S. lineare Thunb.)				
1-метил-4-изопропенилциклогексен-1/1-methyl-4-isopropenylcyclohexene-1	Лимонен/ Limonene	Х	3,847	98
	Фитол/ Fitol	Э	15,904	96
	Лупеол/ Lupeol	Х, Э	16,588	95
	Ланостерол/ Lanosterol	Э	17,448	93
Олеан-12-ен/ Olean-12-en	Олеанен/ Oleanen	Х, Э	21,070	91
12-олеанен-3-ил ацетат/12-oleanen-3-yl acetate	Олеананеил ацетат/ Oleaneneyl acetate	Х, Э	21,450	96
24-метилен-9,19-циклоностан-3-ол/24-methylene-9,19-cyclonanostan-3-ol	Метиленциклоартенол/ Methylenecycloartenol	Х	21,783	95
Луп-20(29)-ен-3-он/ Loop-20(29)-en-3-on	Лупенон/ Lupenon	Э	22,790	91
Циклоурсан-3-ол ацеат/ Cycloursan-3-ol acetate	Циклоурсанол ацетат/ Cycloursanol acetate	Х	22,351	91
3,7,11-триметилдодека-2,6,10-триен-1-ол/3,7,11-trimethyldodeca-2,6,10-trien-1-ol	Фарнезол/ Farnesol	Х	24,00	90

На рисунке представлены результаты хроматографического анализа исследуемых очитков.



Сравнительная хроматограмма очитков: очиток супротиволистный (S. oppositifolium) – красный график, очиток линейный (S. lineare Thunb.) – синий график, очиток видный (S. spectabile) – зеленый график, очиток кавказский (S. caucasicum) – черный график

Comparative chromatogram of sedums: oppositifolium sedum (S. oppositifolium) - red graph, linear sedum (S. lineare Thunb.) - blue graph, prominent sedum (S. spectabile) - green graph, Caucasian sedum (S. caucasicum) - black graph

Биотехнологические методы определения состава терпенового ряда представителей семейства Crassulaceae DC. позволили рекомендовать богатый качественный состав БАВ (терпенов) для использования в фитобиохимии.

Исследуемые растения семейства Crassulaceae DC., произрастающие в РСО–Алания, являются ценными источниками ряда терпенов – биологически активных веществ широкого спектра действия, что позволяет раскрыть биоресурсный потенциал анализируемых представителей семейства толстянковых и рекомендовать их в качестве ценной сырьевой базы растительного происхождения.

ВЫВОДЫ

1. На основе метода хромато-масс-спектрометрии был установлен компонентный состав терпенового ряда в очитке супротиволистном (S. oppositifolium), очитке кавказском (S. caucasicum), очитке линейном (S. lineare Thunb.) и очитке видном (S. spectabile).

2. Установлено, что в очитке видном содержится два, в очитке кавказском – пять, в очитке супротиволистном – восемь, в очитке линейном – десять компонентов терпенового ряда.

3. Результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать фитоэкстракты очитков для получения БАВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *A modern* solid waste management strategy – the generation of new by-products / S. Fudala-Ksiazek, M. Pierpaoli, E. Kulbat [et al.] // Waste Management. – 2016. – Vol. 49. – P. 516–529. – DOI: 10.1016/j.wasman.2016.01.022.
2. *Kundu D., Talukder P., Sen Raychaudhuri S.* In vitro biosynthesis of polyphenols in the presence of elicitors and upregulation of genes of the phenylpropanoid pathway in Plantago ovate // Studies in Natural Products Chemistry. – 2019. – Vol. 60. – P. 299–344. – DOI: 10.1016/b978-0-444-64181-6.00008-5.
3. *Пентациклические* тритерпеноиды в растительных лекарственных средствах и их фармакологическая активность при сахарном диабете и осложнениях диабета / А. Алькахтани, К. Хамид, А. Кам [и др.] // Curr Med Chem. – 2013. – № 20 (7). – С. 908–931. – PMID: 23210780.
4. *Бейдеман И.Н.* Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 130 с.
5. *Георгиевский В.П., Комиссаренко Н.Ф., Дмитрук С.Е.* Биологически активные вещества лекарственных растений / отв. ред. Т.П. Березовская. – Новосибирск: Наука, 1990. – 327 с.
6. *Государственная* фармакопея Российской Федерации. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. – М., 2018.
7. *Гревцова С.А.* Очиток лекарственный – перспективное растение для использования в кормовых рационах / Земледелие. – 2008. – № 4. – С. 47.
8. *Гревцова С.А.* Химический состав и хозяйственно-биологические свойства некоторых растений семейств: крестоцветные, гречишные, толстянковые, мальвовые, злаковые в условиях РСО–Алания: дис. … канд. биол. наук. – Владикавказ, 2002. – 169 с.
9. *Гревцова С.А., Наниева Л.Б.* Суспензионное культивирование каллусных клеток *S. oppositifolium* // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 50, № 4. – С. 272–274.
10. *Лютикова М.Н., Туров Ю.П., Ботиров Э.Х.* Применение хромато-масс-спектрометрии для определения свободных и этерифицированных жирных кислот при их совместном присутствии в растительном сырье // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. – 2013. – Т. 8, № 2. – С. 52–57. – EDN: QCVQIV.
11. *Рекомендации* по унификации фенологических наблюдений в России / А.А. Минин, А.А. Ананин, Ю.А. Буйволов [и др.] // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2020. – Т. 5, № 4. – С. 89–100. – DOI: 10.24189/ncr.2020.060.
12. *Наниева Л.Б., Гревцова С.А.* Качественный и количественный аминокислотный состав некоторых представителей семейства *Crassulaceae DC.,* интродуцируемых в условиях РСО–Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 50, № 3. – С. 321–323.
13. *Методы* анализа пентациклических тритерпеноидов в лекарственных растениях / С. Сюй, Б. Ван, У. Пу [и др.] // J. Sep Sci. – 2018. – Jan. – № 41 (1). – С. 6–19. – DOI: 10.1002/jssc.201700201. – PMID: 28862795.
14. *Антимикобактериальная* активность сложных эфиров тритерпенов на основе циннамата бетулиновой, олеаноловой и урсоловой кислот / Т. Таначачайратана, Дж.Б. Бремнер, Р. Чокчайсири,

А. Суксамрарн // Chem Pharm Bull (Токио). – 2008. – № 56 (2). – P. 194–198. – DOI: 10.1248/cpb.56.194. – PMID: 18239308.
15. *Сверхкритическая* жидкостная хроматография-тандемная масс-спектрометрия для быстрого количественного определения пентациклических тритерпеноидов в растительных экстрактах /Д.И. Фалев, Д.В. Овчинников, И.С. Воронов [и др.] // Фармацевтические препараты (Базель). – 2022. – № 15 (5). – С. 629. – DOI: 10.3390/ph15050629. – PMID: 35631456; PMCID: PMC9143669.
16. *Распределение* пентациклических тритерпенов в различных растениях – богатые источники для новой группы многоэффективных растительных экстрактов / С. Ягер, Х. Троян, Т. Копп [и др.] // Молекулы. – 2009. – № 14 (6). – С. 2016–2031. – DOI: 10.3390/molecules14062016. – PMID: 19513002; PMCID: PMC6254168.

REFERENCES

1. Fudala-Ksiazek, S.; Pierpaoli, M.; Kulbat, E., et al. A modern solid waste management strategy – the generation of new by-products, *Waste Management*, 2016, Vol. 49, pp. 516–529, DOI: https://doi. org/10.1016/j.wasman.2016.01.022.
2. Kundu D., Talukder P., Sen Raychaudhuri S., In vitro biosynthesis of polyphenols in the presence of elicitors and upregulation of genes of the phenylpropanoid pathway in Plantago ovate, *Studies in Natural Products Chemistry*, 2019, Vol. 60, pp. 299–344, DOI: https://doi. org/10.1016/b978-0-444-64181-6.00008-5.
3. Al`kaxtani A., Xamid K., Kam A. [i dr.], *Curr Med Chem*, 2013, Vol. 20 (7), pp. 908–931, PMID: 23210780. (In Russ.)
4. Bejdeman I.N., *Metodika fenologicheskix nablyudenij pri geobotanicheskix issledovaniyah* (Methodology for phenological observations in geobotanical research), Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954, 130 p.
5. Georgievskij V.P., Komissarenko N.F., Dmitruk S.E., *Biologicheski aktivny`e veshhestva lekarstvenny`x rastenij* (Methodology for phenological observations in geobotanical research), Novosibirsk: Nauka, 1990, 327 p.
6. *Gosudarstvennaya farmakopeya rossijskoj federacii xiv. Obshhie metody` analiza. Lekarstvennoe rastitel`noe sy`r`e* (State Pharmacopoeia of the Russian Federation. General methods of analysis. Medicinal plant raw materials), Moscow, 2018.
7. Grevczova S.A., *Zemledelie*, 2008, No. 4, pp. 47. (In Russ.)
8. Grevczova S.A., *Ximicheskij sostav i xozyajstvenno-biologicheskie svojstva nekotory`x rastenij semejstv: krestoczvetny`e, tolstyankovy`e, grechishny`e, mal`vovy`e, zlakovy`e v usloviyax RSO-Alaniya* (Chemical composition and economic and biological properties of some plants of the families: cruciferous, Crassulaceae, buckwheat, Crassulaaceae, malvaceae, cereals in the conditions of North Ossetia–Alania), Candidate's dissertation, Vladikavkaz, 2002.
9. Grevczova S.A., Nanieva L.B., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, T. 50, No. 4, pp. 272–274. (In Russ.)
10. Lyutikova M.N., Turov Yu.P., Botirov E`.X., *Vestnik MITXT im. M.V. Lomonosova*, 2013, T. 8, No. 2, pp. 52–57, EDN: QCVQIV.
11. Minin A.A., Ananin A.A., Bujvolov Yu.A. [i dr.], *Rekomendacii po unifikacii fenologicheskix nablyudenij v rossii* (Recommendations for the unification of phenological observations in Russia), Nature Conservation Research. Zapovednaya NAA, 2020, No. 4, pp. 89–100, DOI: 10.24189/ncr.2020.060.
12. Nanieva L.B., Grevczova S.A., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, T. 50, No. 3, pp. 321–323. (In Russ.)
13. Syuj S., Van B., Pu U., Tao Dzh., Chzhan T., Metody` analiza pentaciklicheskix triterpenoidov v lekarstvenny`x rasteniyax, *J Sep Sci*, 2018, Jan, Vol. 41 (1), pp. 6–19, DOI: 10.1002/jssc.201700201, PMID: 28862795.
14. Tanachachajratana T., Bremner Dzh.B., Chokchajsiri R., Suksamrarn A., Antimikobakterial`naya aktivnost` slozhny`x e`firov triterpenov na osnove cinnamata betulinovoj, oleanolovoj i ursolovoj kislot, *Chem Pharm Bull (Tokio)*, Fevral` 2008 g., Vol. 56 (2), pp. 194-198, DOI: 10.1248/cpb.56.194, PMID: 18239308.
15. Falev D.I., Ovchinnikov D.V., Voronov I.S., Faleva A.V., Ul`yanovskij N.V., Kosyakov D.S., *Farmacevticheskie preparaty` (Bazel`)*, 2022, Vol. 15 (5):629. DOI: 10.3390/ph15050629, PMID: 35631456, PMCID: PMC9143669.
16. Yager S., Troyan X., Kopp T., Lashhik M.N., Sheffler A., *Molekuly`*, 2009, Vol. 14 (6), pp. 2016-2031, DOI: 10.3390/molecules14062016, PMID: 19513002, PMCID: PMC6254168.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-55-62
УДК 633.358: 635.656: 631.527

ВЛИЯНИЕ ГТК ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА ВЫСОТУ РАСТЕНИЙ ГОРОХА И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОЛЕГАНИЮ

[1]Е.В. Кожухова, кандидат сельскохозяйственных наук

[1]Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия

E-mail: elena.kojuhova@yandex.ru

Ключевые слова: горох, длина растений, устойчивость к полеганию, гидротермический.

Реферат. *В процессе селекционной работы с культурой Pisum sativum L. было замечено, что одни и те же образцы в разные годы могут принадлежать к разным градациям классификации растений по длине стебля. Устойчивость к полеганию (УКП) образцов в контрастные по условиям тепло- и влагообеспечению годы также может иметь разные оценки. В связи с чем целью исследований являлось выявление зависимости высоты растений и устойчивости к полеганию гороха от гидротермического коэффициента (ГТК) вегетационного периода. Исследования проводились в 2019–2023 гг. в лесостепи Красноярского края, в питомнике конкурсного сортоиспытания лаборатории селекции гороха Красноярского НИИСХ. Почва участка представлена черноземом обыкновенным среднемощным, среднегумусным с нейтральной кислотностью. Для исследования были взяты 8 образцов гороха посевного собственной селекции. Образцы располагались систематическим методом в четырехкратной повторности, площадь делянок 15 м^2. В ходе исследований выявлено, что для объективной характеристики образцов гороха по длине стебля и его устойчивости к полеганию необходимо учитывать ГТК вегетационного периода, так как различие между длинами растений в разные по ГТК вегетационного периода годы может изменяться в 2 раза. Длина растений существенно зависела от гидротермического коэффициента вегетационного периода, отдельно по месяцам вегетационного периода выявлено, что наиболее сильная прямая корреляция характерна для августа $r \pm S_r = 0,88 \pm 0,08$. Максимальное полегание образцов было отмечено при избыточно увлажненном вегетационном периоде, минимальное – при засушливом, разница в оценке при этом могла достигать одного балла. Максимальное влияние увеличение ГТК оказывало на снижение устойчивости к полеганию полукарликовых образцов и всей выборки, среднестебельные образцы проявляли среднюю степень зависимости. При анализе по месяцам вегетационного периода наибольшее влияние на снижение устойчивости растений к полеганию имел ГТК августа $r \pm S_r = -0,95 \pm 0,18$, $p = -0,75$.*

INFLUENCE OF HTC OF THE GROWING PERIOD ON THE HEIGHT OF PEAS PLANTS AND THEIR RESISTANCE TO LOGINING

E.V. Kozhukhova, Ph.D. in Agriculture Sciences

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture - Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS", Krasnoyarsk, Russia

E-mail: elena.kojuhova@yandex.ru

Keywords: peas, plant length, resistance to lodging, hydrothermal coefficient (HTC), short stemness.

Abstract. *In the process of breeding work with the Pisum satvum L. it was noticed that the same samples in different years may belong to different gradations of plant classification according to stem length. Resistance to lodging (RL) of samples in years with contrasting heat and moisture conditions may also have different estimates. In this connection, the purpose of the research was to identify the dependence of plant height and resistance to lodging of peas on the hydrothermal coefficient (HTC) of the growing season. The research was carried out in 2019 - 2023 in the forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory, in the competitive variety testing nursery of the pea breeding laboratory of the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture. The soil of the site is represented by ordinary chernozem of medium thickness, medium humus with neutral acidity. For the study, 8 samples of self-selected peas were taken. Samples were arranged in a systematic manner in quadruplicate, the plot area being 15 m^2. During the research, it was revealed that in order to objectively characterize pea samples by stem length and its resistance to lodging, it is necessary to take into account the HTC of the growing season, since the differences between the lengths of plants in years of different HTC of the growing season can change by 2 times. The length of plants depended significantly on the hydrothermal coefficient of the growing season; separately for the months of*

the growing season, it was revealed that the strongest direct correlation is typical for August r ± Sr = 0.88 ± 0.08. The maximum lodging of samples was noted during an excessively humid growing season, the minimum during a dry one, the difference in the assessment could reach one point. An increase in HTC had the maximum effect on reducing the resistance to lodging of semi-dwarf samples and the entire sample; medium-sized samples showed an average degree of dependence. When analyzed by month of the growing season, the greatest influence on the decrease in plant resistance to lodging had the August HTC r ± Sr = -0.95 ± 0.18, p = -0.75.

Горох является наиболее распространенной зернобобовой культурой в России. Одним из приоритетных направлений в селекционной работе с культурой, помимо ее продуктивности, является ее технологичность – пригодность сортов к механизированной уборке, главным критерием которой является устойчивость сортов к полеганию (УКП). Устойчивыми к полеганию, как правило, являются образцы с укороченным стеблем [1, 2]. Такая тенденция по устойчивости к полеганию актуальна и для других культур [3]. Короткостебельные образцы, обладая большей устойчивостью к полеганию более технологичны и перспективны для использования в производстве, чем среднестебельные [4].

В процессе ведения селекционной работы с культурой горох было замечено, что одни и те же образцы в разные годы могут принадлежать к разным градациям классификации растений по длине их стебля, устойчивость к полеганию образцов может иметь в разные годы также разные оценки. Многолетнее изучение селекционного материала позволяет проследить и выявить закономерности проявления признака «высота растения» и соотнести их с условиями выращивания [5, 6]. Выявление взаимодействия таких факторов, как генотип и среда является важным фактором селекционной работы [7].

Установлено, что на высоту растений и их устойчивость к полеганию оказывают влияние различные факторы, даже такие, как вносимые удобрения [8]. Кроме того, было выявлено, что на полегание образцов гороха разных морфотипов значительное влияние оказывают вес семян с растения и вес зеленой массы растений [9].

Ранее исследована и доказана зависимость урожайности зерна от складывающихся погодных условий [10–13], но влияние тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода на технологичность (устойчивость к полеганию и длину растений) исследовано недостаточно. Так как в практике были случаи, когда передаваемый на сортоиспытание образец показывал устойчивость к полеганию на уровне 4–5 баллов, а в годы испытания 3 балла, то возникла необходимость выявить взаимосвязь высоты растений образцов гороха и их устойчивости к полеганию от тепло- и влагообеспечения вегетационного периода.

Цель исследования: выявление зависимости высоты растений и УКП гороха от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

Задачи исследования:

выявить влияние ГТК вегетационного периода на высоту образцов гороха;

проанализировать зависимость УКП образцов гороха от ГТК.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2019–2023 гг. в лесостепи Красноярского края, на полях Красноярского НИИСХ, расположенных в д. Минино, в питомнике конкурсного сортоиспытания лаборатории селекции гороха Красноярского НИИСХ. Почва участка представлена черноземом обыкновенным среднемощным, среднегумусным, тяжелосуглинистым с нейтральной кислотностью.

Для исследования были взяты 8 образцов гороха посевного собственной селекции. Образцы располагались систематическим методом в четырехкратной повторности, площадь делянок 15 м^2.

Оценка длины растений и устойчивости к полеганию образцов проводилась по методике Госсортосети [14], согласно которой неполегающие сорта оцениваются в 5 баллов; полегшие в слабой степени – 4 балла; средняя степень полегания – 3 балла; сильно полегшие сорта, затрудняющие уборку, – 2 балла; сильно полегшие сорта, непригодные к машинной уборке, – 1 балл. При оценке полегания проводили округление до целого значения согласно общепринятым правилам.

При градации образцов гороха по длине стебля использовалась классификация Макашовой, согласно которой к низкорослым (карликовым формам) относятся образцы с длиной стебля ниже 51 см, к полукарликовым формам – образцы с длиной стебля 51–80 см. Некарликовые растения: 81–150 см – среднерослый, 151–300 – высокорослые [15].

Двухфакторный дисперсионный анализ полученных данных проведен в программе Snedecor. Корреляционные индексы рассчитывались в программе Exel, ошибка корреляции и ее интерпретация проведена по методике Доспехова [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидротермический коэффициент существенно изменялся по годам и месяцам вегетационных периодов. К засушливым относились условия вегетационных периодов 2019 и 2023 гг., к условиям умеренного увлажнения – период 2022 г., избыточного увлажнения – 2020 и 2021 гг.

Во все годы минимальным ГТК был в мае, все остальные месяцы вегетационного периода наиболее увлажненного 2020 г., характеризовались как избыточно увлажненные, самого засушливого 2023 г. – как засушливые. В остальные годы показатели ГТК по месяцам изменялись (табл. 1).

Таблица 1

ГТК по месяцам и годам вегетационного периода
State Customs Committee by months and years of the growing season

Месяц	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Май	0,06	0,38	0,13	0,38	1,59
Июнь	0,80	1,85	2,72	1,36	0,64
Июль	1,40	1,86	0,79	0,89	0,78
Август	0,76	1,45	1,15	1,46	0,76
За вегетационный период	0,90	1,46	1,34	1,04	0,82
Общая характеристика вегетационного периода по ГТК	Засушливый	Избыточного увлажнения	Избыточного увлажнения	Умеренного увлажнения	Засушливый

Все образцы по результатам пятилетних исследований делились на две группы: среднерослые – длина растений 81–150 см (Радомир, Яхонт, Ж-55, Ж-58) и короткостебельные или полукарликовые – длина растений 51–81 см. Отмечено, что длина растений была максимальной в год избыточного увлажнения – 2020-й, для этого года максимальное увлажнение было характерно в июне, июле и августе – среднестебельные образцы проявляли себя как длинностебельные, а полукарликовые – как среднестебельные, что подчеркивает необходимость учета гидротермического коэффициента для отнесения сортов к разным по длине растений группам. В 2021 г., также избыточно увлажненном, несмотря на то, что июнь был избыточно увлажнен (ГТК = 2,72), июль был засушливым (ГТК = 0,79), в результате чего длина растений существенно уступала показателям 2020 г., а по среднерослым образцам в среднем уступала показателям умеренно увлажненного 2021 г.

В засушливые года, 2019 и 2023 гг. длина образцов была минимальной: некоторые среднестебельные образцы по градации относились к полукарликам, а полукарликовые образцы показывали себя как низкорослые. Так, в засушливом 2023 г. длина растений среднестебельной группы в 2 раза уступала длине растений избыточно увлажненного 2020 г.: показатели 70,6 и 142,4 см соответственно, для полукарликовых среднее соотношение составило 1,8; 47,2 см в засушливый год (2023) и 87,1 см в максимально увлажненный (2020) (табл. 2).

Таблица 2

Высота образцов гороха по годам, см
Height of samples by year, cm

Образец гороха	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	Характеристика образца по высоте растений
Радомир	100,8	153,8	110,0	128,5	75,0	113,6	Среднерослый
Яхонт	76,8	121,5	99,3	94,3	57,5	89,9	Среднерослый
Ж-55	92,5	158,8	125,0	121,3	82,5	116,0	Среднерослый
Ж-58	74,5	135,8	92,5	92,5	67,5	92,6	Среднерослый
Среднерослые	86,1	142,4	106,7	109,1	70,6	103,0	–
Красноярский 20	56,3	85,8	66,3	67,5	45,0	64,2	Полукарликовый
Д-40	50,8	84,3	79,3	71,3	47,5	66,6	Полукарликовый
И-94	50,0	77,3	71,5	60,0	43,8	60,5	Полукарликовый
Л-24	61,5	101,3	76,3	80,0	52,5	74,3	Полукарликовый
Полукарликовые	54,6	87,1	73,3	69,7	47,2	66,4	–
Среднее по всей выборке	70,4	114,8	90,0	89,4	58,9	84,7	–

Примечание. $НСР_{05}$ сорт 4,95. $НСР_{05}$ год 5,18.

Посредством проведения двухфакторного дисперсионного анализа, в котором фактор А – сорт, а фактор В – год, рассчитана доля влияния факторов в формировании длины растений, в результате чего выявлено, что влияние фактора А составило 47,89 %; а фактора В – 46,84 %, т.е. оба фактора, как генотипические особенности образца, так и складывающиеся условия выращивания, практически в равной мере влияли на длину растений. Доля одновременного взаимодействия факторов «Сорт» и «Год» А×В составила 5,27 %.

Значительная зависимость высоты растений от гидротермического коэффициента вегетационного периода подкреплена существенной положительной корреляцией показателей (по Пирсону), которая для среднерослых образцов составила $r \pm S_r = 0,90 \pm 0,25$, для короткостебельных $r \pm S_r = 0,95 \pm 0,18$, по всей выборке $r \pm S_r = 0,92 \pm 0,22$.

При корреляции длины образцов всей выборки с ГТК по месяцам вегетационного периода выявлено, что сильная прямая корреляция характерна для августа: $r \pm S_r = 0,88 \pm 0,08$, средняя – для июня и июля: $r \pm S_r = 0,67 \pm 0,18$ и $r \pm S_r = 0,60 \pm 0,21$ соответственно, средняя отрицательная для мая: $r \pm S_r = -0,52 \pm 0,24$.

Так как речь идет о связи между гидротермическим коэффициентом, имеющим небольшое числовое значение, и ограниченным количеством лет, дополнительно был применен непараметрический метод определения коэффициент корреляции (по Спирмену), характеризующий взаимосвязь между рангами, который также подтвердил наличие сильной связи между ГТК и длиной растений, как для всей выборки, так и для отдельных групп (табл. 3).

Таблица 3

Сопряженность ГТК с длиной растений
Correlation of HTC with plant length

Показатель	Коэф. корреляции Пирсона r	Ошибка коэф. корреляции Пирсона S_r	Коэф. детерминации d_{yx}	Коэф. корреляции Спирмена p
1	2	3	4	5
ГТК всего вегетационного периода и длина образцов по группам				
Вся выборка	0,92	0,22	0,85	1,00
Среднерослые образцы	0,90	0,25	0,81	0,90

Окончание табл.3.

1	2	3	4	5
Полукарликовые образцы	0,95	0,18	0,90	1,00
ГТК по месяцам вегетационного периода и всей выборки образцов				
Май	-0,53	0,24	0,28	-0,10
Июнь	0,67	0,18	0,45	0,90
Июль	0,60	0,21	0,36	0,60
Август	0,88	0,08	0,77	0,61

Анализ устойчивости к полеганию образцов выявил, что наиболее полегаемыми образцы были также в избыточно увлажненном 2020 г.: для среднестебельных УКП составила 2,0 балла, для полукарликовых – 3,4 балла, тогда как в наиболее засушливом 2023 г. их УКП составила 2,5 и 3,8 баллов соответственно.

Для среднерослых образцов устойчивость к полеганию в избыточно увлажненном по ГТК 2021 г. была максимальной из-за засушливого июля и умеренно увлажненного августа.

В засушливом 2020 г. УКП, в среднем по всей выборке, практически на 1 балл превышала УКП наиболее увлажненного 2023 г. (УКП 2020 г. – 2,7 балла, 2023 г. – 3,6 балла) (табл. 4).

Таблица 4

Устойчивость к полеганию образцов гороха по годам, баллы
Resistance to lodging of pea samples by year, points

Образец гороха	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	Характеристика образца по устойчивости к полеганию
Радомир	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	Сильнополегающий
Яхонт	3,0	3,0	3,0	2,3	3,0	2,9	Среднеполегающий
Ж-55	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,8	Среднеполегающий
Ж-58	2,0	1,0	3,0	1,8	2,0	2,0	Сильнополегающий
Среднерослые	2,5	2,0	2,8	2,3	2,5	2,4	–
Красноярский 20	4,5	3,0	3,0	3,3	4,5	3,7	Слабополегающий
Д-40	4,0	3,0	3,0	3,0	4,5	3,5	Слабополегающий
И-94	4,0	3,0	4,0	4,5	5,0	4,1	Слабополегающий
Л-24	4,5	4,5	3,0	3,5	4,5	4,0	Слабополегающий
Полукарликовые	4,3	3,4	3,3	3,6	4,6	3,8	–
Среднее по всей выборке	3,4	2,7	3,0	2,9	3,6	3,1	–

При расчете корреляционной связи между УКП всех образцов и ГТК за весь период выявлена сильная обратная линейная корреляция $r \pm S_r = -0{,}87 \pm 0{,}29$, которая подтверждена коэффициентом детерминации и коэффициентом корреляции по Спирмену. Для полукарликовых образцов гороха обратная корреляционная зависимость от ГТК была сильной ($r \pm S_r = -0{,}90 \pm 0{,}25$; $d_{yx} = 0{,}75$; $p = -0{,}90$) в то время как для среднестебельных зависимость была более слабой ($r \pm S_r = -0{,}28 \pm 0{,}55$; $d_{yx} = 0{,}75$; $p = -0{,}48$).

При анализе по месяцам более значимая линейная отрицательная зависимость наблюдалась в августе: $r \pm S_r = -0{,}95 \pm 0{,}18$. В мае корреляция средняя прямая $r \pm S_r = 0{,}56 \pm 0{,}48$, в июне – средняя обратная: $r \pm S_r = -0{,}69 \pm 0{,}41$, в июле – средняя обратная $r \pm S_r = -0{,}43 \pm 0{,}52$, однако значительная ошибка не позволяет учитывать эти результаты, в то время как коэффициент Спирмена демонстрирует наличие заметной, близкой к высокой отрицательной связи в июне и июле (табл. 5).

Таблица 5

Сопряженность ГТК с устойчивостью образцов к полеганию
Relationship between HTC and resistance of samples to lodging

Показатель	Коэф. корреляции Пирсона r	Ошибка коэф. корреляции Пирсона S_r	Коэф. детерминации d_{yx}	Коэф. корреляции Спирмена p
ГТК всего вегетационного периода и УКП образцов по группам				
Вся выборка	-0,87	0,29	0,75	-0,90
Среднерослые образцы	-0,28	0,55	0,08	-0,48
Полукарликовые образцы	-0,90	0,25	0,81	-0,90
ГТК по месяцам вегетационного периода и всей выборки образцов				
Май	0,57	0,48	0,32	-0,10
Июнь	-0,70	0,41	0,49	-0,70
Июль	-0,43	0,52	0,19	-0,70
Август	-0,95	0,18	0,91	-0,85

ВЫВОДЫ

1. Для объективной характеристики образцов гороха по длине стебля и его устойчивости к полеганию необходимо учитывать ГТК вегетационного периода, так как различия между длинами растений в разные по ГТК вегетационного периода годы может достигать двукратного уровня.

2. Длина растений существенно зависела от гидротермического коэффициента вегетационного периода для среднерослых образцов, корреляция составила $r \pm S_r = 0,90 \pm 0,25$, для короткостебельных $r \pm S_r = 0,95 \pm 0,18$, и по всей выборке $r \pm S_r = 0,92 \pm 0,22$.

3. Максимальное полегание было характерно при избыточно увлажненном вегетационном периоде (ГТК > 1,3), минимальное – при засушливом (ГТК 0,7–1,0). При расчете корреляционной связи между УКП и ГТК выявлена наиболее значимая отрицательная зависимость по всей выборке и для полукарликовых образцов, при анализе по месяцам наибольшее влияние на снижение устойчивости растений к полеганию имел ГТК августа $r \pm S_r = -0,95 \pm 0,18$, $p = -0,75$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зеленов А.Н., Зеленов А.А.* Сто лет Орловской селекции гороха. Итоги и перспективы // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 2 (42). – С. 41–59. – DOI: 10.24412/2309–348X–2022–2–41–59.
2. *Селекция* гороха овощного на технологичность / И.П. Котляр, В.А. Ушаков, И.М. Кайгородова, Е.П. Пронина // Овощи России. – 2019. – № 2 (46). – С. 34–38. – DOI: 10.18619/2072–9146–2019–2–34–38.
3. *Оценка* короткостебельных образцов яровой пшеницы на короткостебельность и устойчивость к полеганию / Т.Ю. Таранова, А.И. Кинчаров, Е.А. Демина, О.С. Муллаянова // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 4. – С. 48–53. – DOI: 10.17513/use.37361.
4. *Кожухова Е.В.* Исследование изменчивости длины растений гороха посевного в условиях Енисейской Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. № 11. – С. 11–19. – DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_15.
5. *Изучение* признака «высота растения» у озимой мягкой пшеницы в условиях южной зоны Ростовской области / А.П. Самофалов, С.В. Подгорный, О.В. Скрипка, В.Л. Чернова // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 2 (68). – С. 18–22. – DOI: 10.31367/2079–8725–2020–68–2–18–22.
6. *Пучкова Е.В., Коробова Н.А., Коробов А.П.* Продуктивность и технологичность стародавних и современных сортов гороха донской селекции // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 1–2 (40). – С. 40–44. – DOI: 10.24411/2500–1000–2020–10057.

7. *Кибальник О.П.* Изменчивость основных селекционных признаков ЦМС линий сорго в зависимости от метеоусловий Саратовской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2. – С. 35–43. – DOI: 10.31677/2072–6724–2023–67–2–35–43.
8. *Жогалева О.С., Стрельцова Л.Г.* Высота растений и устойчивость к полеганию сортов гороха под влиянием хелатных микроудобрений // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 5 (208). – С. 31–39. – DOI: 10.32417/1997–4868–2021–208–05–31–39.
9. *Кожухова Е.В.* Анализ различных морфотипов гороха по полеганию в Красноярской лесостепи // Научная жизнь. – 2020. – № 7 (107). – С. 932–940. – DOI: 10.35679/1991–9476–2020–15–7–932–940.
10. *Галиченко А.П., Фомина Е.М.* Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои селекции ВНИИ сои // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 7 (222). – С. 16–25. – DOI: 10.32417/1997–4868–2022–222–07–16–25.
11. *Лысенко А.А.* Урожайность сортов зернового гороха при изменении погодных условий в Приазовской зоне Ростовской области // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 2 (34). – С. 13–20. – DOI: 10.24411/2309–348X–2020–11164.
12. *Influence* of genotype, nitrogen fertilisation and weather conditions on yield variability and grain quality in spring malting barley / V. Stupar, A. Paunovic, M. Madic [et al.] // Journal of Central European Agroculture. – 2021 – № 22 (1). – P. 86–95. – DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2858.
13. *Pislegina S.S., Chetvertnykh A.A.* Influence of weather conditions on the duration of the growth season and yield of peas // Agricultural science Euro–North–East. – 2020. – № 21 (5). – P. 521–530. – DOI:10.30766/2072–9081.2020.21.5.521–530.
14. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общ. часть. – М.: Госкомиссия по сортоиспытанию с.–х. культур, 2019. – 329 с.
15. *Макашева Р.Х.* Зерновые бобовые культуры. Ч. 1. Горох. – Л.: Колос,1979. – 325 с.
16. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

REFERENCES

1. Zelenov A.N., Zelenov A.A., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury*, 2022, No. 2 (42), DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-41-59. (In Russ.)
2. Kotljar I.P., Ushakov V.A., Kajgorodova I.M., Pronina E.P., *Ovoshhi Rossii*, 2019, No. 2 (46), pp. 34–38, DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-34-38. (In Russ.)
3. Taranova T.Ju, Kincharov A.I., Demina E.A. Mullajanova O.S., *Uspehi sovremennogo estestvoznanija*, 2020, No. 4, pp. 48–53, DOI: 10.17513/use.37361. (In Russ.)
4. Kozhuhova E.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK,* 2021, No. 11 (35), pp. 11–19, DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_15. (In Russ.)
5. Samofalov A.P., Podgornyj S.V., Skripka O.V., Chernova V.L., *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, 2020, No. 2 (68), pp. 18–22, DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-18-22. (In Russ.)
6. Puchkova E.V., Korobova N.A, Korobov A.P., *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 2020, No. 1–2 (40), pp. 40–44, DOI: 10.24411/2500-1000-2020-10057. (In Russ.)
7. Kibal'nik O.P., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 2, pp. 35–43, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-35-43. (In Russ.)
8. Zhogaleva O.S., Strel'cova L.G., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2021, No. 05 (208), pp. 31–39, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-31-39. (In Russ.)
9. Kozhuhova E.V., *Nauchnaja zhizn'*, 2020, No. 7 (107), pp. 932–940, DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-7-932-940. (In Russ.)
10. Galichenko A.P., Fomina E.M., *Agrarnyj vestnik Urala,* 2022, No. 7 (222), pp. 16–25, DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-16-25. (In Russ.)
11. Lysenko A.A., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury*, 2020, No. 2 (34), pp. 13–20, DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11164. (In Russ.)
12. Stupar V., Paunovic A., Madic M., Knezevik D., Durovik D., Influence of genotype, nitrogen fertilisation and weather conditions on yield variability and grain quality in spring malting barley, *Journal of Central European Agroculture*, 2021, No. 22 (1), pp. 86–95, DOI: https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2858.

13. Pislegina S.S., Chetvertnykh A.A., Influence of weather conditions on the duration of the growth season and yield of peas, *Agricultural Science Euro-North-East*, 2020, No. 21 (5), pp. 521–530, DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530.
14. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur* (The methodology of the state variety testing of agricultural), Moscow: Goskomissija po sortoispytaniju s.-h. kul'tur, 2019, 329 p.
15. Makasheva R.H., *Zernovye bobovye kul'tury. Chast' 1. Goroh*, (Legume crops. Part 1. Peas), Leningrad: Kolos, 1979, 325 p.
16. Dospehov B.A., *Metodika polevogo opyta* (The methodology of field experience), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-63-73
УДК 633 2/3

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БОБОВО-ЗЛАКОВЫЕ ТРАВОСМЕСИ ДЛЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Н.Ю. Коновалова, старший научный сотрудник
С.С. Коновалова, лаборант-исследователь
Вологодский научный центр РАН, Вологда, Россия
E-mail: szniirast@mail.ru

Ключевые слова: многолетние травы, перспективные виды, травосмеси, питательность, урожайность.

Реферат. *В статье представлены результаты научных исследований за 1991–2021 гг. Северо–Западного научно–исследовательского института молочного и лугопастбищного хозяйства – обособленного подразделения ФГБУН ВолНЦ РАН по вопросам создания высокоурожайных бобовозлаковых травосмесей для агроклиматических условий Европейского Севера России. По результатам исследований разработаны технологии выращивания перспективных культур (козлятник восточный, люцерна изменчивая, фестулолиум, овсяница тростниковая) в одновидовых и смешанных посевах. Беспокровные посевы козлятника и травосмеси за два укоса обеспечили получение 7,2–7,9 т/га сухого вещества. По продуктивности одновидовые посевы достоверно превосходили смешанные посевы. Из травосмесей выделились посевы с овсяницей луговой, ежой сборной и кострецом безостым. Урожайность люцерны изменчивой и травосмесей с ее участием за два укоса составила от 7,8 до 9,5 т/га сухого вещества. Существенно уступали люцерне на 0,86–1,04 т/га сухого вещества травосмеси с тимофеевкой. Одновидовые посевы фестулолиума при двухукосном использовании достоверно уступали по урожайности травосмесям с бобовыми видами трав на 0,9–4,0 т/га СВ. Бобовозлаковые травосмеси отличались повышенным содержанием протеина (в 1,7–2,1 раза), жира (в 1,1–1,2 раза), пониженным содержанием клетчатки (в 1,2–1,3 раза). Уборка первого укоса в фазу бутонизации бобовых, начала колошения фестулолиума достоверно снижала выход сухого вещества на 20 % в сравнении с уборкой в фазу цветения. При этом в растительной массе раннего скашивания возрастало содержание протеина на 12 % у фестулолиума, на 21–36 % у фестулолиума с клевером и лядвенцем и на 3–11 % у травостоев с люцерной. Эффективно для трехукосного использования включать в бобово-злаковые травосмеси овсяницу тростниковую. Травосмеси с ее участием за три укоса обеспечивают урожайность на уровне контроля (два укоса), а по выходу протеина с гектара превосходят его на 26–31%.*

PROMISING LEGUME-CEREAL GRASS MIXTURES FOR AGROCLIMATIC CONDITIONS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

N.Y. Konovalova, the senior scientific employee
S.S. Konovalova, laboratory assistant-researcher
Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences
E-mail: szniirast@mail.ru

Keywords: perennial grasses, promising species, grass mixtures, nutritional value, productivity.

Abstract. *The article presents the results of scientific research for 1991–2021 years the North-Western Research Institute of Dairy and Grassland Farming, a separate subdivision of the VolRC RAS (Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences) on the creation of high-yielding legume-cereal grass mixtures for the agroclimatic conditions of the European North of Russia. According to the research results, technologies for growing promising crops (eastern goat, variable alfalfa, festulolium, reed fescue) in single-species and mixed crops have been developed. Bloodless crops of goat and grass mixtures for two mowing ensured the production of 7.2–7.9 t / ha of dry matter. In terms of productivity, single-species crops significantly exceeded mixed crops. From grass mixtures, stand out crops with meadow fescue, hedgehog and awnless rump stood out. The yield of variable alfalfa and grass mixtures with its participation for two mowing ranged from 7.8 to 9.5 t/ ha of dry matter. Significantly inferior to alfalfa by 0.86–1.04 t/ha of dry matter were grass mixtures with timofeevka. Single-species festulolium crops with two-mowing use were significantly inferior in yield to grass mixtures with leguminous grass species by 0.9-4.0 t/ha of SV. Legume-cereal grass mixtures were characterized by an increased protein*

content (1.7–2.1 times), fat (1.1–1.2 times), reduced fiber (1.2–1.3 times). Harvesting of the first mowing during the budding phase of legumes, the beginning of earing of the festulolium significantly reduced the yield of dry matter by 20% compared with harvesting during the flowering phase. At the same time, the protein content in the plant mass of early mowing increased by 12 % in festulolium, by 21–36 % in festulolium with clover and bird's-foot trefoil, and by 3–11 % in herbage with alfalfa. It is effective for three-mowing use to include reed fescue in legume-cereal grass mixtures. Grass mixtures with her participation in three mowing provide yields at the control level (two mowing), and in terms of protein yield per hectare exceed it by 26–31 %.

Многолетние травы в одновидовых посевах не способны сбалансировать корма по таким питательным веществам, как протеин и сахар. Для получения полноценных кормов бобовые и злаковые травы рекомендуется выращивать в смешанных посевах [1–3].

Возделывание многолетних травосмесей, отличающихся сроками наступления укосной спелости, позволяет повысить качество заготовляемых кормов. Ранее проведенные исследования ряда ученых доказывают, что наряду с клевером луговым эффективно внедрять скороспелые виды таких бобовых трав, как козлятник восточный, люцерна изменчивая в чистом виде и в составе травосмесей [4, 5]. Использование бобово-злаковых травосмесей с включением козлятника и люцерны способствует повышению продуктивности пашни, получению высокопитательного сырья, устойчивости кормопроизводства, снижению затрат на единицу продукции [6–8].

В условиях Европейского Севера целесообразно включать в состав травосмесей люцерну изменчивую, которая характеризуется высокой продуктивностью, питательностью зеленой массы [9–11].

Как отмечает широкий круг исследователей, эффективно наряду с такими распространенными злаковыми травами, как тимофеевка, ежа сборная и овсяница луговая, высевать фестулолиум и овсяницу тростниковую. Межвидовой гибрид фестулолиум характеризуется зимостойкостью, высокой урожайностью, хорошо растет в одновидовом посеве и в составе травосмесей с бобовыми видами трав (клевером луговым, люцерной изменчивой, лядвенцем рогатым) [12–15].

Включение в состав травосмесей с бобовыми видами трав овсяницы тростниковой, отличающейся хорошим отрастанием после укосов, позволяет получать за летний период до 3–4 укосов [16, 17].

В хозяйствах региона используют преимущественно одноукосное и двуукосное использование травостоев, что не позволяет получать корма для потребностей животноводства с повышенной питательностью. В условиях северного региона для получения энергонасыщенных кормов необходимо шире применять многоукосное использование травосмесей в ранние фазы развития растений, что установлено большим рядом проведенных научных исследований [18–21].

Цель исследований – разработать технологии выращивания перспективных бобово-злаковых травосмесей для агроклиматических условий Европейского Севера России. Задачи исследований: заложить полевые опыты, изучить влияние состава травосмеси, способа посева на ботанический состав, продуктивность и питательную ценность растительного сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований были многолетние бобовые и злаковые виды травы. Полевые опыты проводились на основе методических указаний по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса [22]. Для обработки полученных результатов использовался дисперсионный анализ [23].

Опыты размещались на опытном поле Северо-Западного научно-исследовательского института молочного и лугопастбищного хозяйства (СЗНИИМЛПХ) с 1991 по 2021 гг., расположенном в условиях Вологодской области. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, осушенная. Степень окультуренности – средняя. Предпосевная подготовка почвы типичная для региона. Срок сева – ранневесенний, рядовой через 15 см. Для определения видового состава и питательной ценности отбирались образцы травы на ана-

лиз. Химический анализ проводился в ЦКП СЗНИИМЛПХ по общепринятым методикам.

В полевом опыте 1-м изучался козлятник восточный в одновидовом посеве и в составе травосмесей (проводился с 1991 по 2000 г.). Вариантов в опыте семь, три повторности, площадь делянки составляла 32 м^2. Использовали следующие сорта: козлятник Гале, клевер местный Вологодский, овсяница Московская 62, кострец Северодвинский 38, ежа Нева, тимофеевка Вологодская местная. Ежегодно весной вносились удобрения в дозе $N_{20}P_{60}K_{60}$ кг действующего вещества (д.в.) на 1 га.

В полевом опыте 2-м изучался способ посева (беспокровный и подпокровный) и нормы высева козлятника с клевером луговым и овсяницей луговой (проводился с 1996 по 1999 г.). Вариантов – 8*2 (метод расщепленных делянок), три повторности, площадь делянки – 24 м^2. Высевали такие сорта, как козлятник Гале, клевер одноукосный Седум, клевер двуукосный Дымковский, овсяница Московская 62. Покровная культура – ячмень сорта Отра на зерносенаж. Вносились удобрения в дозе $N_{20}P_{60}K_{60}$ кг/га д.в. весной ежегодно.

В 3-м полевом опыте изучалась люцерна изменчивая (проводился с 2001 по 2004 г.). В опыте было семь вариантов, три повторности, площадь делянки – 32 м^2. Высевали следующие сорта: люцерна изменчивая Вега 87, овсяница Московская 62, кострец Северодвинский 38, ежа Нева, тимофеевка Вологодская местная. Минеральные удобрения вносили в дозе $N_{20}P_{60}K_{60}$ кг/га д.в. ежегодно весной.

В 4-м полевом опыте изучался фестулолиум в чистом посеве и в составе травосмесей (2011–2016 гг.). Вариантов 5*2, три повторности, площадь делянки – 20 м^2. Использовались такие сорта, как люцерна изменчивая Вега 87, клевер двуукосный Кармин, лядвенец Солнышко, фестулолиум ВИК 90. Под фестулолиум вносили удобрения в дозе $N_{45}P_{30}K_{60}$ весной и в подкормку N_{35}, под бобово-злаковые травосмеси только весной $N_{20}P_{60}K_{60}$ кг/га д.в. Сроки скашивания первого укоса: первый – в фазу начала колошения фестулолиума и начала бутонизации бобовых; второй – в фазу начала цветения бобовых трав и колошения фестулолиума.

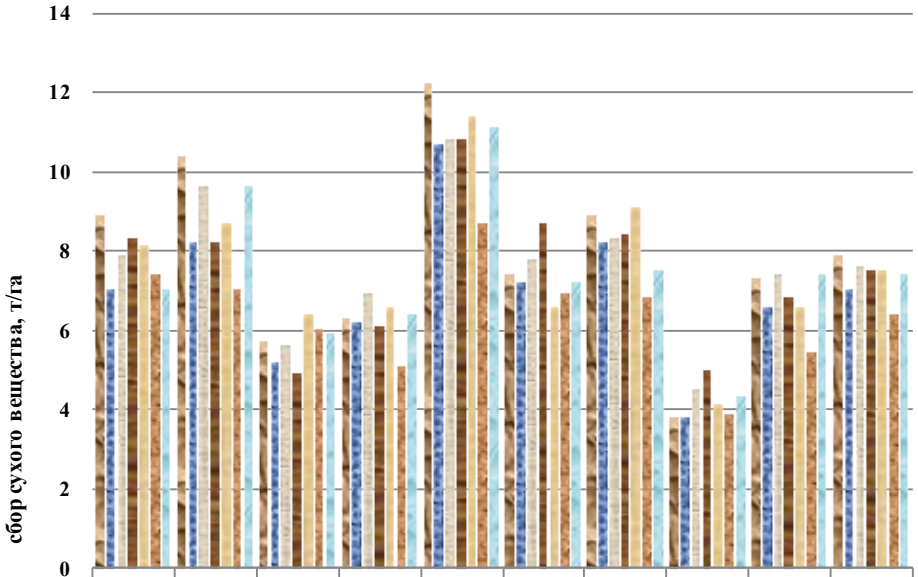
В 5-м полевом опыте был изучен состав бобово-злаковых травосмесей, способ посева и количества укосов (два и три). Вариантов в опыте 9*2 (метод расщепленных делянок), три повторности, площадь делянки – 20 м^2. Высевали следующие сорта: злаковые травы – тимофеевка Ленинградская 204, кострец СИБНИИСХОЗ 189, райграс ВИК 66, овсяница луговая Свердловская 37, овсяница тростниковая Лосинка; бобовые травы – люцерна изменчивая Вега 87, клевер двуукосный Дымковский, клевер одноукосный Пермский местный. При подпокровном посеве (ячмень на зерносенаж) в год закладки опыта внесены удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$, при беспокровном посеве – $N_{20}P_{60}K_{60}$ кг д.в. на 1 га. В дальнейшем под первый укос вносили $N_{30}P_{60}K_{60}$ и после первого укоса применяли подкормку (в 1–2-й год пользования – N_{35}, с 3-го года пользования травами – N_{45} кг/га д.в.). С травосмесей вариантов 2–9 получали за сезон три укоса, первый – в фазу начала бутонизации бобовых видов.

Климатические условия в годы проведения исследований имели значительные различия по обеспеченности теплом и влагой, что оказывало влияние на продуктивность, питательность и видовой состав изучаемых травосмесей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам наших исследований установлено, что на основе козлятника восточного в условиях региона следует формировать раннеспелые травостои с двухукосным использованием.

За время проведения полевого опыта продуктивность беспокровных посевов козлятника и травосмесей на его основе составила с 1 га за два укоса: 348–386 т зеленой массы; 7,2–7,9 т сухого вещества (СВ); 1,1–1,3 т сырого протеина. Одновидовые посевы козлятника в среднем за годы наблюдений достоверно превосходили бобово-злаковые травосмеси ($НСР_{05}$ = 0,2 т/га СВ). Из травосмесей выделились 2-компонентные посевы с овсяницей луговой, ежой сборной и кострецом безостым (вар. 3, 4, 5) с выходом сухого вещества 7,5–7,6 т/га (рис. 1).



	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	ср.
1 .Козлятник, н.в. 30 кг/га, контроль	8,9	10,4	5,7	6,3	12,2	7,4	8,9	3,8	7,3	7,9
2. Козл.+ тимофеевка, н.в. 20+10 кг/га"	7	8,2	5,2	6,2	10,7	7,2	8,2	3,8	6,6	7
3. Козл.+ овсяница луг., н.в. 20+10 кг/га"	7,9	9,6	5,6	6,9	10,8	7,8	8,3	4,5	7,4	7,6
4. Козл.+ ежа, н.в. 20+12 кг/га"	8,3	8,2	4,9	6,1	10,8	8,7	8,4	5	6,8	7,5
5. Козл.+ кострец, н.в 20+10 кг/га"	8,1	8,7	6,4	6,6	11,4	6,6	9,1	4,1	6,6	7,5
6. Козл.+ овсяница+ ежа, н.в 15+6+6 кг/га"	7,4	7	6	5,1	8,7	6,9	6,8	3,9	5,4	6,4
7. Козл.+ овсяница+ кострец, н.в. 15+6+5 кг/га"	7	9,6	5,9	6,4	11,1	7,2	7,5	4,3	7,4	7,4

НСР05 по годам: 1992 = 0,39;,1993 = 0,32; 1994 = 0,47; 1995 = 0,36;, 1996 = 0,33; 1997 = 0,15 ;1998 = 0,22; 1999 = 0,11; 2000 нет , в ср. = 0,2 т/га СВ

Рис. 1. Урожайность козлятника и травосмесей по годам пользования и в среднем за 9 лет, т/га СВ
Productivity of goat`s-rue Eastern and grass mixtures by years of use and on average for 9 years, t/ha of SV

Урожайность агрофитоценозов в разрезе по годам пользования изменялась в зависимости от складывающихся климатических условий и была пониженной из-за недостаточной влагообеспеченности в 1994, 1995 и 1999 гг.

В среднем за период использования травостоев сбор протеина был выше у одновидовых посевов 1,28 т/га козлятника и у травосмеси козлятника с овсяницей луговой 1,26 т/га. Содержание протеина в растительной массе первого укоса у козлятника было выше (19,3 %), чем в травосмесях (15,6–18,2 %). Во втором укосе эти различия из-за повышенного содержания козлятника восточного в урожае были менее значительными.

Установлена высокая сохранность козлятника восточного к периоду завершения исследований. В первом укосе содержание козлятника было на уровне 62 %. В смесях его доля составляла 43 % с тимофеевкой, 60 % – с овсяницей, 58 % – с ежой, 43 % – с кострецом, 53 % – с овсяницей и кострецом, 39 % – с ежой и овсяницей. Во втором укосе его количество в урожае возрастало до 63–76 % во всех изучаемых агрофитоценозах. В травосмесях с козлятником наиболее устойчивыми были кострец безостый и ежа сборная.

В полевом 2-м опыте козлятник восточный был включен в травосмеси с одноукосным и двуукосным клевером, с овсяницей луговой при беспокровном и подпокровном способе посева. Травосмеси козлятника с клеверами (вар. 2–6) обеспечили продуктивность от 6,74 до 7,12 т/га СВ, что соответствует одновидовым посевам козлятника (табл. 1).

Существенную прибавку – 0,84–1,04 т СВ с 1 га к контрольному варианту – обеспечили травосмеси, включающие два вида бобовых трав и дополнительно овсяницу луговую (вар. 7–8).

Таблица 1

Урожайность козлятника восточного при посеве с клевером и овсяницей в среднем за 1997–2000 гг. с 1 га
Yield of goat`s-rue Eastern when sown with clover and fescue on average for 1997–2000 years per 1 ha

Вариант и нормы высева, кг/га	Зеленая масса, ц/га			Сухое вещество, т/га				
	б/п посев	п/п посев	в среднем по травосмесям	б/п посев	п/п посев	± б/п к п/п посеву	в среднем по травосмесям	± к контролю
1. Козлятник восточный (30) (контроль)	371	312	341,5	7,22	6,36	+0,86	6,79	–
2. Двуукосный клевер + козлятник (8+30)	397	376	386,5	7,23	6,68	+0,55	6,96	0,16
3. Двуукосный клевер + козлятник (8+20)	403	384	393,5	7,5	6,69	+0,81	7,09	0,31
4. Двуукосный клевер + козлятник (8+15)	405	389	397	7,54	6,54	+1,00	7,12	0,25
5. Одноукосный клевер + козлятник (10+20)	427	376	401,5	7,62	6,26	+1,36	7,00	0,15
6. Одноукосный клевер + козлятник (6+20)	402	375	388,5	7,18	6,3	+0,88	6,74	-0,05
7. Двуукосный клевер + овсяница + козлятник (8+8+20)	360	341	350,5	8,19	7,07	+1,12	7,63	0,84
8. Двуукосный клевер + овсяница + козлятник (8+4+20)	370	342	356	8,24	7,43	+0,81	7,83	1,04
$НСР_{05}$						0,21		0,66

В среднем за четыре года пользования беспокровные посевы (б/п) достоверно превосходили по сбору сухого вещества на 0,55–1,36 т/га подпокровные посевы (п/п) изучаемых травостоев. Травосмеси с клевером двуукосным (вар. 2 и 4) и с клевером и овсяницей (вар.7 и 8) при подпокровном посеве превосходили по сбору сухого вещества на 0,32–1,07 т/га аналогичный одновидовой посев козлятника. Способ посева имел достоверное преимущество по урожайности травосмесей с двумя видами бобовых и двумя видами бобовых и овсяницей только в первый год пользования. В дальнейшем эти различия сгладились. Козлятник восточный подпокровного способа посева достиг по продуктивности беспокровные посевы только на третий год пользования.

Содержание протеина в растительной массе козлятника было на уровне 155 г/кг СВ, что выше, чем у травосмесей с клевером на 12–14 % (134–137 г/кг СВ), с овсяницей и клевером на 38 % (97 г/кг СВ).

В изучаемых бобово-злаковых травосмесях за весь период исследований наблюдалось повышенное содержание сеяных видов трав. Козлятник восточный в первый год пользования лучше развивался при беспокровном способе посева, его доля в урожае равнялась 21,9–90,0 %. При подпокровном способе его количество было ниже – 6,6–85,0 %, особенно существенно в травосмесях с добавлением овсяницы луговой (табл. 2).

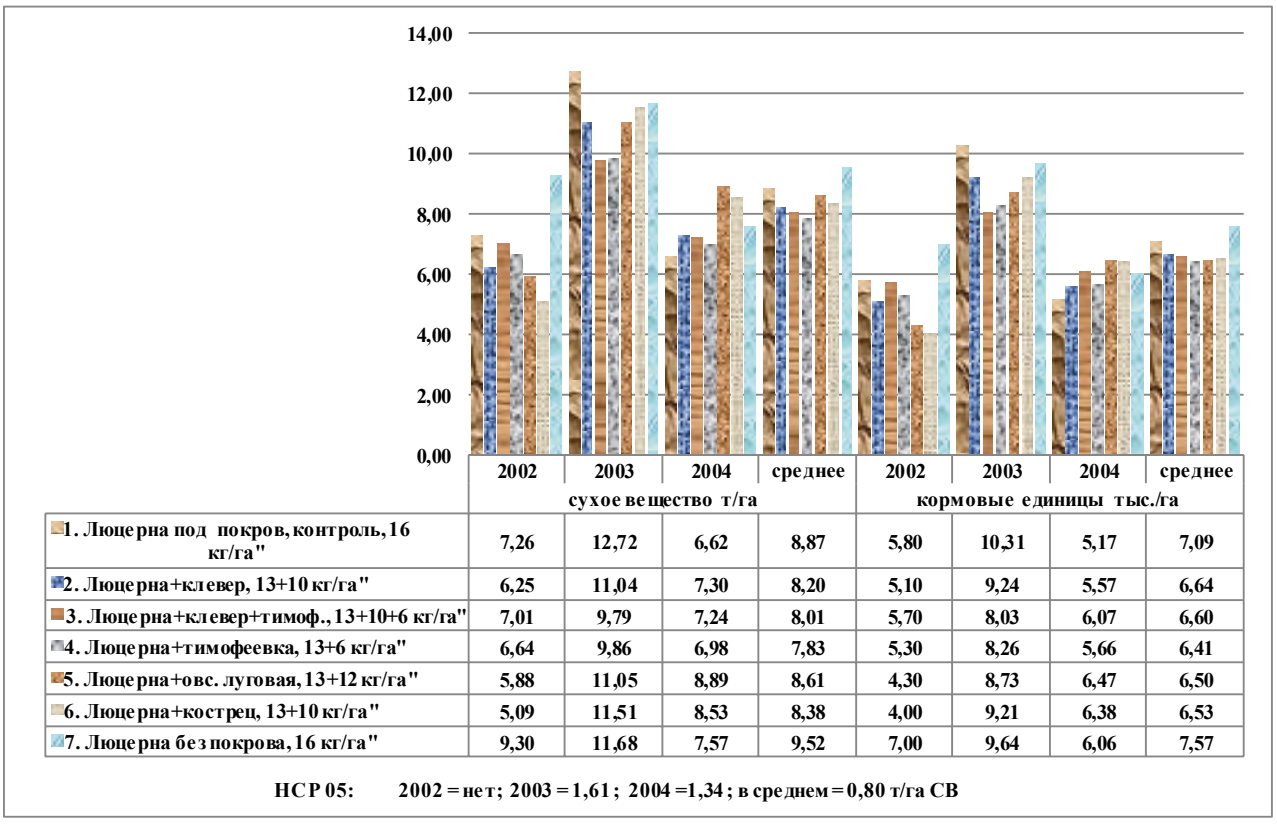
Как видно из таблицы, к четвертому году пользования содержание козлятника в травостоях при разных способах посева почти сравнялось.

Таблица 2

Содержание козлятника в агрофитоценозах в зависимости от способа посева, %
The content of eastern goat in agrophytocenoses, depending on the method of sowing, %

Вариант	Беспокровный посев		Подпокровный посев	
	1-й год пользования	4-й год пользования	1-й год пользования	4-й год пользования
1	90	64,2	85,0	72,7
2	61,2	55,2	36,6	59,9
3	50,2	60,2	23,3	49,3
4	52,5	71,8	22,8	53,3
5	37,6	53,6	24,9	46,7
6	41,1	52,7	27,5	52,4
7	21,9	54,0	6,6	35,1
8	23,3	49,0	8,2	45,3

Результаты проведенных исследований по 3-му опыту подтвердили эффективность включения в состав среднеспелых травосмесей люцерны изменчивой при ранневесенних сроках сева. В среднем за три года пользования урожайность люцерны и травосмесей на ее основе была получена высокая и составила 443–557 ц/га зеленой массы. Один гектар посева обеспечил формирование 7,83–9,52 т/га СВ, 6,41–7,57 тыс. кормовых единиц (рис. 2).



	2002	2003	2004	среднее	2002	2003	2004	среднее
	сухое вещество т/га				кормовые единицы тыс./га			
1. Люцерна под покров, контроль, 16 кг/га"	7,26	12,72	6,62	8,87	5,80	10,31	5,17	7,09
2. Люцерна+клевер, 13+10 кг/га"	6,25	11,04	7,30	8,20	5,10	9,24	5,57	6,64
3. Люцерна+клевер+тимоф., 13+10+6 кг/га"	7,01	9,79	7,24	8,01	5,70	8,03	6,07	6,60
4. Люцерна+тимофеевка, 13+6 кг/га"	6,64	9,86	6,98	7,83	5,30	8,26	5,66	6,41
5. Люцерна+овс. луговая, 13+12 кг/га"	5,88	11,05	8,89	8,61	4,30	8,73	6,47	6,50
6. Люцерна+кострец, 13+10 кг/га"	5,09	11,51	8,53	8,38	4,00	9,21	6,38	6,53
7. Люцерна без покрова, 16 кг/га"	9,30	11,68	7,57	9,52	7,00	9,64	6,06	7,57

НСР 05: 2002 = нет; 2003 = 1,61; 2004 =1,34; в среднем = 0,80 т/га СВ

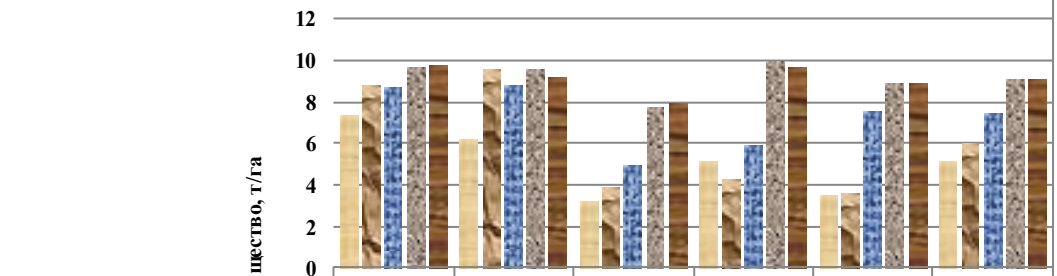
Рис. 2. Урожайность люцерны изменчивой и травосмесей
Productivity of variable alfalfa and grass mixtures

Урожайность травосмесей люцерны с клевером, овсяницей луговой и кострецом (вар. 2, 5, 6) была получена на уровне одновидовых посевов люцерны. Существенно уступали контролю две травосмеси вар. 3 и 4, включающие тимофеевку на 0,86–1,04 т/га СВ при $НСР_{05}$

= 0,80 т/га СВ. Сбор протеина у одновидовых посевов люцерны составил 1,60 и 1,77 т/га, по бобово-злаковым травосмесям 1,39–1,46 т/га. Наблюдались различия по содержанию протеина в зависимости от состава травостоя и укоса. В первом укосе количество протеина составляло от 14,8 до 17,8 %, во втором укосе – от 16,5 до 19,7 %, с преимуществом одновидовых посевов люцерны.

За все годы наблюдений отмечалось высокое содержание люцерны в посевах. На третий год пользования ее количество в первом укосе было на уровне 82 %, во втором укосе – до 91 %. В составе травосмесей ее содержание изменялось в зависимости от вида используемой злаковой культуры и составляло по укосам с тимофеевкой 67 и 86 %, с кострецом – 45 и 75 %, с овсяницей – 58 и 77 %, с клевером луговым – 58 и 92 % соответственно.

По результатам полевых исследований разработаны технологические приемы выращивания фестулолиума (опыт 4). Урожайность одновидовых посевов фестулолиума при двухукосном использовании составила 5,1 т/га СВ и уступала достоверно травосмесям с бобовыми травами на 0,9–4,0 т/га СВ ($НСР_{05}$ = 0,53 т/га СВ). Травосмесь с клевером превышала по урожайности фестулолиум на 0,9 т/га, с клевером и лядвенцем на 2,3 т/га и с включением люцерны на 4,0 т/га СВ (рис. 3).



	2012	2013	2014	2015	2016	в ср. за 2012-2016
1. Фестулолиум, контроль, 20 кг/га"	7,3	6,2	3,2	5,1	3,5	5,1
2. Фестулолиум+клевер, 14+8 кг/га"	8,8	9,5	3,9	4,2	3,6	6
3. Фестул. + клевер + лядвенец, 12+6+4 кг/га"	8,7	8,8	4,9	5,9	7,5	7,4
4. Фестул. + клевер +люцерна, 12+6+6 кг/га"	9,6	9,5	7,7	9,9	8,9	9,1
5. Фестул. +клевер+ лядвенец +люцерна, 14+6+4+4 кг/га"	9,7	9,2	7,9	9,6	8,9	9,1

НСР05: 2012 = 1,1; 2013 = 1,3; 2014 = 0,9; 2015 = 0,7; 2016 = 0,6; среднее = 0,53 т/га СВ

Рис. 3. Урожайность фестулолиума в одновидовых и смешанных посевах, т/га СВ
Productivity of festulolium in single-species and mixed crops, t/ha of SV

Посевы фестулолиума и фестулолиума с клевером луговым эффективно использовать 2–3 года (вар. 1 и 2). В травосмеси для более длительного использования следует включать кроме клевера дополнительно люцерну и лядвенец (вар. 3–5).

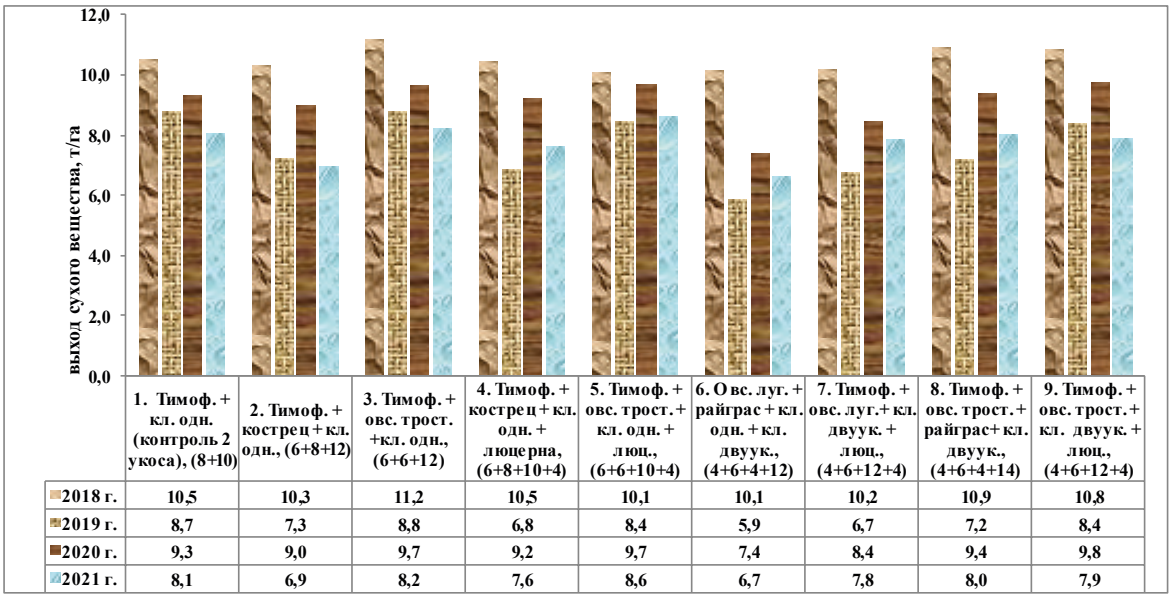
Проведение первого укоса в 1-й срок скашивания существенно снижало урожай на 1,08–1,47 т/га СВ, или на 15–22 % ($НСР_{05}$ = 0,34 т СВ с 1 га). Но при этом растительная масса отличалась от 2-го срока скашивания повышенным содержанием сырого протеина и пониженным содержанием клетчатки: протеин у фестулолиума 8,8 %, у травосмесей до 16,5 %; клетчатки 26,2 % у фестулолиума и до 24,6 % у травосмесей.

В целом бобово-злаковые травосмеси отличались повышенным содержанием протеина (в 1,7–2,1 раза), жира (в 1,1–1,2 раза), пониженным клетчатки (в 1,2–1,3 раза) в сравнении с чистыми посевами фестулолиума.

За весь период исследований по ботаническому составу в травосмесях преобладали сеяные виды. Количество фестулолиума в одновидовых посевах стало снижаться на второй год пользования. Лучше сохранялся он в смесях с клевером и лядвенцем. Снижение содержания клевера отмечено с четвертого года жизни, увеличение лядвенца – с третьего года жизни. Высокое содержание люцерны в урожае отмечено за весь период исследований, она угнетающе влияла на остальные виды трав и преобладала в урожае.

По результатам исследований 5-го полевого опыта, проведенного в 2017–2021 гг., установлено положительное влияние трехукосного использования бобово-злаковых травостоев на питательную ценность получаемого растительного сырья, включения в состав смесей овсяницы тростниковой.

На урожайность травосмесей оказывали влияние складывающиеся погодные условия (рис. 4).



	1. Тимоф. + кл. одн. (контроль 2 укоса), (8+10)	2. Тимоф. + кострец + кл. одн., (6+8+12)	3. Тимоф. + овс. трост. +кл. одн., (6+6+12)	4. Тимоф. + кострец + кл. одн. + люцерна, (6+8+10+4)	5. Тимоф. + овс. трост. + кл. одн. + люц., (6+6+10+4)	6. Овс. луг. + райграс + кл. одн. + кл. двуук., (4+6+4+12)	7. Тимоф. + овс. луг.+ кл. двуук. + люц., (4+6+12+4)	8. Тимоф. + овс. трост. + райграс+ кл. двуук., (4+6+4+14)	9. Тимоф. + овс. трост. + кл. двуук. + люц., (4+6+12+4)
2018 г.	10,5	10,3	11,2	10,5	10,1	10,1	10,2	10,9	10,8
2019 г.	8,7	7,3	8,8	6,8	8,4	5,9	6,7	7,2	8,4
2020 г.	9,3	9,0	9,7	9,2	9,7	7,4	8,4	9,4	9,8
2021 г.	8,1	6,9	8,2	7,6	8,6	6,7	7,8	8,0	7,9

Рис. 4. Урожайность травосмесей при трехукосном использовании, т/га СВ

Yield of grass mixtures with three mowing, t/ha SV

Более низкой урожайность была получена в 2019 г., что связано с недостаточной влагообеспеченностью при повышенном температурном режиме и в 2021 г. из-за недостатка тепла и осадков.

По выходу сухого вещества травосмеси с овсяницей тростниковой (вар. 3, 5, 8, 9) за три укоса были на уровне контроля (вар. 1 с двумя укосами). Травосмеси с включением в состав таких культур, как кострец, райграс, овсяница луговая, существенно уступали от 0,7 до 1,7 т СВ с 1 га контролю (табл. 3).

Таблица 3

Продуктивность травосмесей при трехукосном использовании в среднем за 2018–2021 гг.

Productivity of grass mixtures with three-axis use in cf. for 2018–2021 years

Вариант	Зеленая масса, ц/га	Сухое вещество, т/га	± к контролю, т/га СВ	Выход с 1 га		Содержание протеина, % в 1 кг СВ
				протеин, кг	клетчатка, т	
1	2	3	4	5	6	7
1. Одноукосный клевер + тимофеевка (контроль, 2 укоса)	379	9,2	–	940	2,5	10,1

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
2. Одноукосный клевер + тимофеевка + кострец	443	8,4	-0,8	1100	2,1	13,1
3. Одноукосный клевер + тимофеевка + овс. тростниковая	463	9,5	+0,3	1190	2,3	12,5
4. Одноукосный клевер + люцерна + тимофеевка + кострец	435	8,5	-0,7	1210	2,1	14,2
5. Одноукосный клевер + люцерна + тимоф. + овс. тростниковая	439	9,2	–	1180	2,3	12,8
6. Двуукосный клевер + одноукосный клевер + овсяница луговая + райграс	379	7,5	-1,7	1040	1,7	13,7
7. Двуукосный клевер + люцерна + тимофеевка + овсяница луговая	411	8,3	-0,9	1201	2,0	14,6
8. Двуукосный клевер + овс. трост. + тимофеевка + райграс	440	8,9	-0,3	1190	2,1	13,5
9. Двуукосный клевер + люцерна + овс. тростниковая + тимофеевка луговая	455	9,2	–	1230	2,3	13,3
$НСР_{05}$ т/га СВ			0,44			

Выход сырого протеина с одного гектара составил 940–1230 кг. Существенная прибавка к контролю на 11–31 % по выходу протеина получена у бобово-злаковых травосмесей, обеспечивающих три укоса за сезон (вар. 2–9).

В растительной массе травосмесей второго и третьего укосов по сравнению с первым укосом выявлено повышенное содержание протеина и жира: первый укос 11,1–12,2 % протеина и 2,4–2,7 % жира; второй укос − 12,9–15,2 % и 3,2–3,6 %; третий укос − 14,5–16,6 % и 3,1–3,7 % соответственно.

На ботанический состав травосмесей оказал влияние ряд факторов: способ посева, видовой состав, количество укосов, годы жизни трав, погодные условия. Повышенное содержание в травосмесях бобовых видов было отмечено в первый год пользования. В последующие годы в урожае преобладали злаковые виды трав. Снижение доли клевера произошло с третьего года пользования, увеличение доли люцерны – с четвертого года пользования до 19–26 %.

Не установлено достоверного влияния на урожайность способа посева, но при этом выявлено, что при подпокровном посеве в первые три года пользования наблюдалось повышенное содержание сорной растительности в 1,1–1,3 раза в сравнении с беспокровными посевами.

За все годы наблюдений в травостоях при 3-укосном использовании преобладали на 80–90 % сеяные виды трав. Количество сорной растительности возросло только в четвертый год пользования, при этом содержание сеяных видов трав оставалось высоким (на уровне 65,5–86,6 %).

ВЫВОДЫ

1. Установлена высокая эффективность включения в состав травосмесей в агроклиматических условиях Европейского Севера России перспективных видов трав, таких как козлятник восточный, люцерна изменчивая, фестулолиум, овсяница тростниковая.

2. Беспокровные посевы козлятника и травосмеси на его основе со злаковыми видами трав при двухукосном использовании обеспечили получение 348–386 ц/га зеленой массы, 7,2–7,9 т/га СВ. Посевы козлятника превосходили по выходу сухого вещества травосмеси ($НСР_{05}$ = 0,2 т СВ с 1 га). Из травосмесей выделяются 2-компонентные посевы с овсяницей луговой, ежой сборной и кострецом безостым (вар. 3, 4, 5) с выходом 7,5–7,6 т/га СВ. Травосмеси козлятника с клеверами обеспечили продуктивность от 6,7 до 7,1 т/га СВ, что соответствует одновидовым посевам козлятника. Достоверную прибавку к контролю – 0,84–1,04 т/га СВ – обеспечили травосмеси с овсяницей луговой. По продуктивности беспокровные посевы в среднем за четыре года пользования уступали беспокровным на 0,55–1,36 т/га СВ.

3. Травосмеси люцерны изменчивой и ее смеси со злаковыми травами обеспечили получение 7,8–9,5 т СВ, 6,4–7,6 тыс. кормовых единиц с 1 га. Существенно уступали контролю травосмеси, включающие тимофеевку (на 0,86–1,04 т СВ с 1 га). Из травосмесей лучшие результаты получены при посеве люцерны с ежой сборной, кострецом и овсяницей луговой.

4. Одновидовые посевы фестулолиума существенно уступали по урожайности бобово–злаковым травосмесям на 0,9–4,0 т СВ с 1 га. Травосмеси превосходили фестулолиум по содержанию протеина в 1,7–2,1 раза, жира в 1,1–1,2 раза, отличались пониженным содержанием клетчатки в 1,2–1,3 раза. Уборка первого укоса в первый срок скашивания приводила к снижению урожая на 15–22 % в сравнении со вторым, но обеспечивала получение зеленой массы с повышенным содержанием протеина и пониженным содержанием клетчатки.

5. Для получения трех укосов за сезон необходимо включать в бобово–злаковые травосмеси овсяницу тростниковую. Травосмеси вар. 3, 5, 8, 9 за три укоса обеспечивают урожайность на уровне контроля (два укоса), а по выходу протеина с гектара превосходят его на 26–31 %. Травосмеси вар. 2, 4, 6–7, включающие кострец, райграс, овсяницу луговую, достоверно уступали контролю на 0,7–1,7 т СВ с 1 га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дьяченко В.В., Дронов А.В., Дьяченко О.В.* Высокоурожайные бобово-мятликовые травосмеси для агроклиматических условий юго-западной части Центрального региона // Земледелие. – 2016. – № 7. – С. 31–35.
2. *Повышение* эффективности производства молока на основе совершенствования региональной системы кормопроизводства / К.А. Задумкин, А.Н. Анищенко, В.В. Вахрушева, Н.Ю. Коновалова // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – Т. 10, № 6. – С. 170–191.
3. *Haynes R. J.* Competitive aspects of the grass-legume association // Adv. Agron. – 1980. – Vol. 33. – P. 227–261.
4. *Капустин Н.И.* Новые кормовые культуры для севера НЗ России. – Вологда, 1996. – 20 с.
5. *Вавилов П.П., Кондратьев А.А.* Новые кормовые культуры. – М.: Россельхозиздат, 1975. – С. 227–247.
6. *Зарьянова З.А., Зотиков В.И., Кирюхин С.В.* Видовое и сортовое разнообразие многолетних трав для условий Орловской области // Кормопроизводство. – 2017. – № 11. – С. 32–37
7. *Binary* legume-grass mixtures improve forage yield, quality, and seasonal distribution / B. Sleugh, K.J. Moore, J.R. George, E.C. Brummer // Agron. J. – 2000. – Vol. 92. – P. 24–29.
8. *Состояние* и перспективы развития кормопроизводства Вологодской области / А.В. Маклахов, В.К. Углин, Н.Ю. Коновалова, В.Е. Никифоров // Адаптивное кормопроизводство. – 2016. – № 1. – С. 6–16.
9. *Лазарев Н.Н., Кухаренкова О.В., Куренкова Е.М.* Люцерна в системе устойчивого кормопроизводства // Кормопроизводство. – 2019. – № 4. – С. 18–25.
10. *Смирнов С.Н., Евстратова Л.П., Евсеева Г.В.* Возделывание люцерны изменчивой (Medicago varia Mart.) в составе бобово-злаковых травосмесей в условиях Европейского Севера // Кормопроизводство. – 2018. – № 11. – С. 23–26.
11. *Mäkiniemi K., Niskanen M., Seppänen M.* Optimization of the harvesting time of pure lucerne (Medicago sativa L.) swards in Finland // Grassland Science in Europe. – 2016. – Vol. 21. – P. 290–292.
12. *Эседуллаев С.Т.* Фотосинтетическая деятельность смешанных посевов трав, их продуктивность и влияние на плодородие дерново-подзолистой почвы в условиях Верхневолжья // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 34–45.
13. *Возделывание* и использование новой кормовой культуры фестулолиума на корм и семена: метод. пособие / Н.И. Переправо, В.М. Косолапов, В.Э. Рябова [и др.] – М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2012. – 28 с.
14. *Продуктивность* фестулолиума в чистых и смешанных посевах в условиях Европейского Севера России / Е.А. Тяпугин, Н.Ю. Коновалова, П.Н. Калабашкин, С.С. Коновалова // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 5. – С. 24–27.
15. *Бакшаев Д.Ю., Кашеваров Н.И., Жданова И.Л.* Возделывание фестулолиума в смеси с люцерной на кормовые цели в лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ – 2023. – № 1. – С. 12–20.
16. *Mayer W.A., Watkins E.* Tall Fescue (Festuca arundinacea) // Turfgrass Biology, Genetics and Breeding. – Hoboken, NJ, USA, 2003. – P. 107–127.

17. *Коновалова Н.Ю., Коновалова С.С.* Влияние способа посева и интенсивности использования на ботанический состав, продуктивность и питательность бобово-злаковых агрофитоценозов // АгроЗооТехника. – 2021. – Т. 4, № 3. – С. 1–16.
18. *Евстратова Л.П., Евсеева Г.В.* Питательная ценность кормовой массы в зависимости от режима скашивания многолетних травостоев // Кормопроизводство. – 2020. – № 9. – С. 7–11.
19. *Сатаров М.Ю.* Оптимальный режим скашивания люцерно-кострецовой травосмеси // Кормопроизводство. – 2014. – № 5. – С. 8–12.
20. *Coruh I., Tan M*. Lucerne persistence, yield and quality as influenced by stand aging // New Zealand Journal of Agricultural Research. – 2008. – Vol. 51. – P. 39–43.
21. *Dry* matter yield and plant density of alfalfa as affected by cutting schedule and seeding rate / S. Katanski, D. Milić, D. Karagić, S. Vasiljević [et al.] // Grassland Science in Europe. – 2018. – Vol. 23. – P. 265–267.
22. *Методические* указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новоселов [и др.]. 2-е изд. – М.: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 1987. – 197 с.
23. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 1985. – 351 с.

REFERENCES

1. Dyachenko V.V., Dronov A.V., Dyachenko O.V., *Zemledelie*, 2016, No. 7, pp. 31–35. (In Russ.)
2. Zadumkin K.A., Anishchenko A.N., Vakhrusheva V.V., Konovalova N.Yu., *Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 2017, Vol. 10. No. 6, pp. 170–191. (In Russ.)
3. Haynes R.J., Competitive aspects of the grass–legume association, *Adv. Agron.*, 1980, Vol. 33, pp. 227–261.
4. Kapustin N.I., *Novye kormovye kul'tury dlja severa NZ Rossii* (New forage crops for the north of New Zealand Russia), Vologda, 1996, 20 p.
5. Vavilov P.P., Kondrat'ev A.A., *Novye kormovye kul'tury* (New forage crops), Moscow: Rossel'hozizdat, 1975, pp. 227–247.
6. Zaryanova Z.A., Zotikov V.I., Kiryukhin S.V., *Kormoproizvodstvo,* 2017, No. 11, pp. 32–37. (In Russ.)
7. Sleugh B., Moore K.J., George J.R., Brummer E.C., Binary legume-grass mixtures improve forage yield, quality, and seasonal distribution, *Agron. J.,* 2000, Vol. 92, pp. 24–29.
8. Maklakhov A.V., Uglin V.K., Konovalova N.Yu., Nikiforov V.Ye., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*, 2016, No. 1, pp. 6–16. (In Russ.)
9. Lazarev N.N., Kukharenkova O.V., Kurenkova Ye.M., *Kormoproizvodstvo,* 2019, No. 4, pp. 18–25. (In Russ.)
10. Smirnov S.N., Yevstratova L.P., Yevseeva G.V., *Kormoproizvodstvo,* 2018, No. 11, pp. 23–26. (In Russ.)
11. Mäkiniemi K., Niskanen M., Seppänen M., Optimization of the harvesting time of pure lucerne (Medicago sativa L.) swards in Finland, *Grassland Science in Europe,* 2016, Vol. 21, pp. 290–292.
12. Esedullaev S.T., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo,* 2021, No. 1, pp. 34–45. (In Russ.)
13. Perepravo N.I., Kosolapov V.M., Rjabova V.Je. [et al.], *Vozdelyvanie i ispol'zovanie novoj kormovoj kul'tury festuloliuma na korm i semena* (Cultivation and use of the new forage crop Festulolium for feed and seeds), Moscow: Izd. RGAU–MSHA, 2012, 28 p.
14. Tyapugin Ye.A., Konovalova N.Yu., Kalabashkin P.N., Konovalova S.S., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017, No. 5, pp. 24–27. (In Russ.)
15. Bakshaev D.Yu., Kashevarov N.I., Zhdanova I.L, *Vestnik NGAU,* 2023, No. 1, pp. 12–20. (In Russ.)
16. Mayer W.A., Watkins E., Tall Fescue (Festuca arundinacea), *Turfgrass Biology, Genetics and Breeding*, Hoboken, NJ, USA, 2003, pp. 107–127.
17. Konovalova N.Yu., Konovalova S.S., *AgroZooTekhnika,* 2021, Vol. 4. No. 3, pp. 1–16. (In Russ.)
18. Yevstratova L.P., Yevseeva G.V., *Kormoproizvodstvo,* 2020, No. 9, pp. 7–11. (In Russ.)
19. Satarov M.Yu., *Kormoproizvodstvo,* 2014, No. 5, pp. 8–12. (In Russ.)
20. Coruh I., Tan M., Lucerne persistence, yield and quality as influenced by stand aging, *New Zealand Journal of Agricultural Research,* 2008, Vol. 51, pp. 39–43.
21. Katanski S., Milić D., Karagić D., Vasiljević S. et al., Dry matter yield and plant density of alfalfa as affected by cutting schedule and seeding rate, *Grassland Science in Europe,* 2018, Vol. 23, pp. 265–267.
22. Novoselov Yu.K. i dr., *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kulturami* (Guidelines for conducting field experiments with fodder crops), Moscow: VNII kormov im. V.R. Vilyamsa, 1987, 197 p.
23. Dospehov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methods of field experience), Moscow, 1985, 351 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-74-85
УДК 631.527:633.111.1

ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОЛЕГАНИЮ У ОБРАЗЦОВ ГОРОХА ОВОЩНОГО РАЗНОГО МОРФОТИПА В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С.П. Кузьмина, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Н.Г. Казыдуб, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
П.Э. Пендер, бакалавр
Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия
E-mail: sp.kuzmina@omgau.org

Ключевые слова: горох овощной, устойчивость к полеганию, морфотип, безлисточковость, продуктивность.

Реферат. *Урожайность гороха овощного существенно снижается при полегании растений. Для решения этой проблемы в селекции могут быть использованы мутантные безлисточковые генотипы с видоизмененной морфологией листа. Сравнительную оценку коллекционных образцов гороха овощного обычного и мутантного усатого морфотипа по устойчивости к полеганию и семенной продуктивности проводили в учебно-опытном хозяйстве Омского ГАУ в 2017–2018 гг. В качестве объекта для изучения были использованы 62 образца гороха овощного коллекции ВИР, ВНИИССОК и иностранной селекции. В результате исследований установлено, что доля устойчивых и высокоустойчивых форм у растений с обычным (листочковым) морфотипом составила суммарно 30 %, у усатых (безлисточковых) таких было существенно больше – 77 %. Усатые формы гороха овощного имеют большую устойчивость к полеганию в фазу биологической спелости. Коэффициент устойчивости образцов с усатым морфотипом составил в среднем 0,85, листочковых – 0,64. Установлена средняя зависимость между высотой травостоя и устойчивостью к полеганию у гороха овощного, причем у листочковых образцов она была выше, коэффициент корреляции составил r = 0,56, у усатых – r = 0,43. Выделены источники высокой устойчивости к полеганию для каждого морфотипа гороха овощного: усатого – Крейсер, Флагман 8, Venture, Немчинский, Afilla, Полтавец, Azur, Памяти Хангильдина, Терас 888; листочкового – SH-92-79-3-3-1-1, Альдея, Norli, Адрианна, Грибовский Юбилейный. Рекомендованы для селекции гороха овощного образцы, сочетающие высокую выраженность элементов продуктивности с устойчивостью к полеганию для каждого морфотипа: по числу бобов – Azur, Afilla (усатого), Альдея, Fruhe (обычного); по массе бобов – Azur, Afilla (мутантного), Флагман 8, Fruhe, Альдея, SH-92-79-3-3-1-1 (листочкового); по числу семян в бобе – Afilla, Venture (усатого), Альдея, Norli, SH-92-79-3-3-1-1 (листочкового); по массе семян с одного растения – Azur, Afilla (мутантного), Fruhe, Альдея, SH-92-79-3-3-1-1 (листочкового); по массе 1 000 семян – Флагман 8, Памяти Хангильдина, Azur (усатого), Fruhe, Альдея (листочкового).*

STUDYING RESISTANCE TO DEPOSITION IN SAMPLES VEGETABLE PEAS OF DIFFERENT MORPHOTYPE IN WESTERN SIBERIA

S.P. Kuzmina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
N.G. Kazydub, Dr of Agricultural Sc, Professor
P.E. Pender, B.A.
Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia
E-mail: sp.kuzmina@omgau.org

Keywords: vegetable peas, resistance to lodging, morphotype, leaflessness, productivity.

Abstract. *The yield of vegetable peas is significantly reduced when plants are lodging. To solve this problem, mutant leafless genotypes with modified leaf morphology can be used in breeding. A comparative assessment of collection samples of vegetable peas of the regular and mutant mustachioed morphotype for resistance to lodging and seed productivity was carried out at the educational and experimental farm of the Omsk State Agrarian University in 2017–2018. As an object for study, 62 samples of vegetable peas from the collection of VIR, VNIISSOK and foreign selection were used. As a result of the research, it was established that the proportion of resistant and highly resistant forms in plants with a common (leafy) morphotype amounted to a total of 30 %, in baleen (leafless) plants there were significantly more of these – 77 %. The mustachioed forms of vegetable peas have greater resistance to lodging in the phase of biological ripeness. The resistance coefficient of samples with a mustachioed morphotype was on average 0.85, and that of leafy ones – 0.64. An average relationship was established between*

the height of the grass stand and resistance to lodging in vegetable peas, and in leafy samples it was higher, the correlation coefficient was r = 0.56, in baleen samples – r = 0.43. Sources of high resistance to lodging were identified for each morphotype of vegetable pea: mustachioed – Cruiser, Flagman 8, Venture, Nemchinsky, Afilla, Poltavets, Azur, P. Khangilda, Teras 888; leaflet - SH-92-79-3-3-1-1, Aldea, Norli, Adrianna, Gribovsky Jubilee. Vegetable pea samples are recommended for breeding that combine high expression of productivity elements with resistance to lodging for each morphotype: by the number of beans – Azur, Afilla (mustachioed), Aldea, Fruhe (regular); by weight of beans – Azur, Afilla (mutant), Flagship 8, Fruhe, Aldea, SH-92-79-3-3-1-1 (leaf); by the number of seeds in a bean – Afilla, Venture (baleen), Aldea, Norli, SH-92-79-3-3-1-1 (leaf); by weight of seeds per plant – Azur, Afilla (mutant), Fruhe, Aldea, SH-92-79-3-3-1-1 (leaf); by weight of 1 000 seeds – Flagman 8, In Memory of Khangildin, Azur (mustached), Fruhe, Aldea (leafy).

Горох овощной распространен повсеместно и ценится за высокое содержание витаминов, белка и клетчатки, что делает его ценной диетической культурой [1–5]. В Омской области овощной горох – культура, дающая самую раннюю сельскохозяйственную продукцию. Сахарные бобы и зеленый горошек достигают технической спелости уже в конце июня и неизменно пользуются популярность у садоводов-любителей [6–7].

Лимитирующим фактором, снижающим урожайность гороха овощного, наряду с воздействием других стрессовых абиотических и биотических факторов, является низкая устойчивость растений к полеганию, особенно сильно проявляющаяся в благоприятных для формирования высокой урожайности условиях [8–12]. При этом растения, имеющие значительную облиственность и образующие большую вегетативную массу, начинают полегать уже во время цветения [13–17]. В результате полегания растений наблюдается раннее снижение фотосинтетической деятельности, выпревание и гниение листьев и бобов нижнего яруса [18–21].

Полегание приводит к серьезным потерям урожая зеленого горошка в фазу технической спелости, а механизированная уборка во время полной спелости растений связана с большими трудностями и сопровождается недобором зерна. В годы с избыточным увлажнением вследствие полегания урожайность зерна может снижаться на 25–60 % по сравнению с биологическим потенциалом [22–25].

Для решения проблемы полегания растений гороха овощного в селекции были успешно использованы мутантные генотипы с видоизмененной морфологией листа: усатые, рассеченнолисточковые, усиковые акации, акациевидные, многократнонепарноперистые, хамелеон, агритум и др. [26–30]. Однако наибольшее распространение и практическое использование в селекции получила мутация листа, вызывающая безлисточковость, которая совершила в селекции «гороховую революцию» [31–34].

У усатого (или безлисточкового) морфотипа прилистники сохранены, как и у обычных листочковых форм, а листочки видоизменены в сильно развитые усы, которые прочно сцепляют стебли между собой, обеспечивая повышенную устойчивость растений к полеганию [26, 35–37]. Морфотипы гороха овощного представлены на рис. 1.

Впервые мутация была обнаружена на Грибовской овощной селекционно-опытной станции В.К. Соловьевой у сорта Свобода 10 [38], затем аналогичную мутацию выделил V. Kujala [39] и установил рецессивный характер ее наследования af (afilla).

В связи с этим весьма актуальным является изучение образцов гороха овощного разного морфотипа для определения устойчивости к полеганию и влияния данной мутации на формирование продуктивности растений и адаптивного потенциала. Это и определило цель данной работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная часть работы выполнялась в 2017–2018 гг. на полях селекционного севооборота учебно-опытного хозяйства Омского ГАУ, расположенного в южной лесостепи Омской области. Объектом для исследования послужили 62 образца коллекции ВИР, ВНИИССОК и иностранной селекции. В качестве стандарта использовали сорт Неистощимый 195 обычного морфотипа. Посев проводился вручную в четырехкратной повторности. Площадь делянки – 5,2 м^2.



а *б*

Рис. 1. Морфотипы коллекции гороха овощного: *а* – усатые (мутантные); *б* – обычные (листочковые)
Morphotypes of the vegetable pea collection: *a* – baleen (mutant); *b* – ordinary (leaf-shaped)

Наблюдения, учеты и анализы проводили согласно Методическим указаниям по изучению коллекции зерновых бобовых культур (1975 г.). Устойчивость растений к полеганию определяли по методике И.М. Кайгородовой (2014 г.) как соотношение высоты травостоя к длине стебля во время биологической спелости растений [40]. Образцы с коэффициентом устойчивости менее 0,5 имеют полегающий тип стебля (неустойчивые), 0,5–0,75 – относительно устойчивые, 0,75–0,9 – устойчивые (среднеполегающие), более 0,9 – высокоустойчивые (неполегающие).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условиях периодов вегетации 2017–2018 гг. существенно различались: 2017 г. был засушливым (ГТК = 0,72), 2018 г. – слабо засушливым (ГТК = 1,1). Причем тепло- и влагообеспеченность в разные фазы роста и развития растений существенно варьировала. Так, в условиях 2017 г. период от «посева до всходов» сопровождался сильной засухой (ГТК = 0,63), которая сохранялась почти до фазы «цветения» (ГТК = 0,73), что крайне неблагоприятно отразилось на закладке элементов урожайности и в целом продуктивности растений; период от «цветения до созревания» характеризовался как засушливый (ГТК = 0,91). В 2018 г. период от «посева до всходов» характеризовался оптимальной тепло- и влагообеспеченностью (ГТК = 1,49, однако от фазы «всходов до цветения» условия были засушливые (ГТК = 0,89), фаза созревания проходила в слабозасушливых условиях (ГТК = 1,18).

Динамика изменений ГТК в периоды прохождения растениями разных фаз развития представлена на рис. 2.

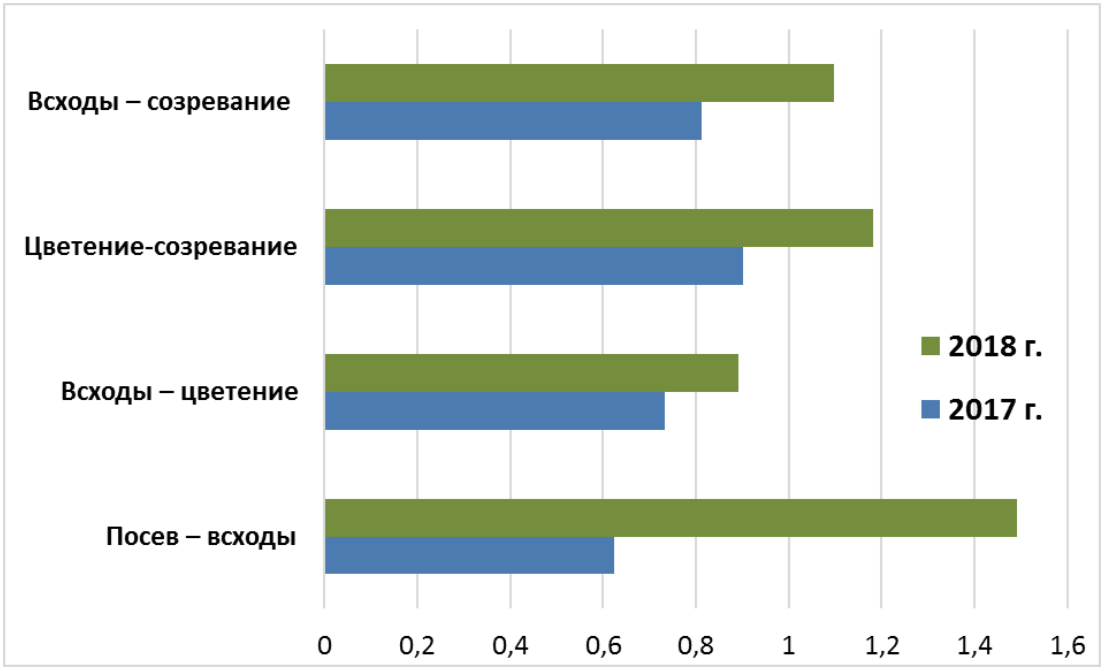


Рис. 2. Динамика изменения ГТК в различные межфазные периоды развития гороха овощного, 2017–2018 гг.
Dynamics of changes in the HTC during various interphase periods of vegetable pea development, 2017–2018.

Результаты изучения устойчивости к полеганию образцов разных морфотипов позволили установить, что в группе обычного (листочкового) морфотипа преобладала доля относительно устойчивых к полеганию образцов – 56 %, на долю высокоустойчивых приходилось только 2 %, устойчивых – 28 %, неустойчивыми оказались 14 % образцов (рис. 3). Образцы гороха овощного, имеющие усатый морфотип (безлисточковый), преимущественно были устойчивыми к полеганию – 45 %, причем доля высокоустойчивых форм у них существенно возросла и составила 32 %, относительно устойчивых – 23 %, не устойчивых образцов среди них не оказалось.

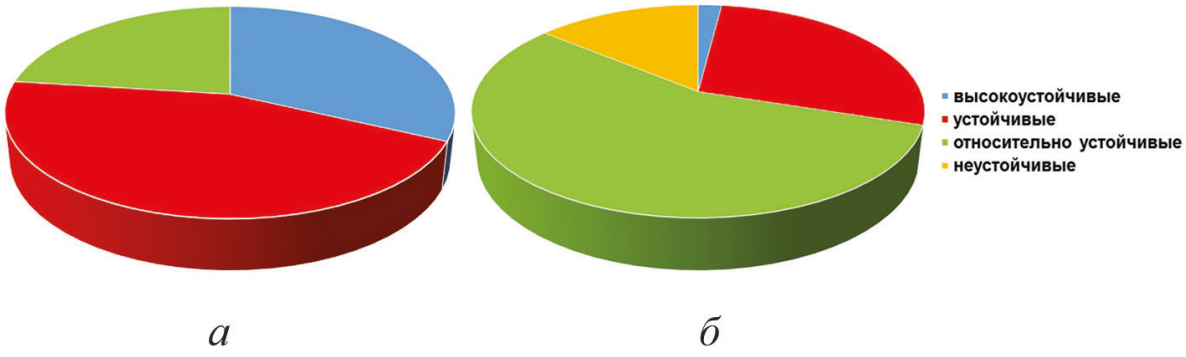


Рис. 3. Распределение образцов гороха овощного разного морфотипа по устойчивости к полеганию:
а – усатые (мутантные); *б* – обычные (листочковые)
Distribution of vegetable pea samples of different morphotypes according to resistance to lodging:
a – mustachioed (mutant); *b* – ordinary (leaf-shaped)

У образцов гороха овощного высота растений существенно варьировала в зависимости от генотипа, однако тип листа не оказывал достоверного влияния на высоту. Так, у растений с обычным листом высота в фазу биологической спелости варьировала от 41 до 135 см и составила в среднем 72,1 см, у усатых форм высота изменялась в меньшем диапазоне (от 49 до 114 см) и составила в среднем 74,7 см (рис. 4).

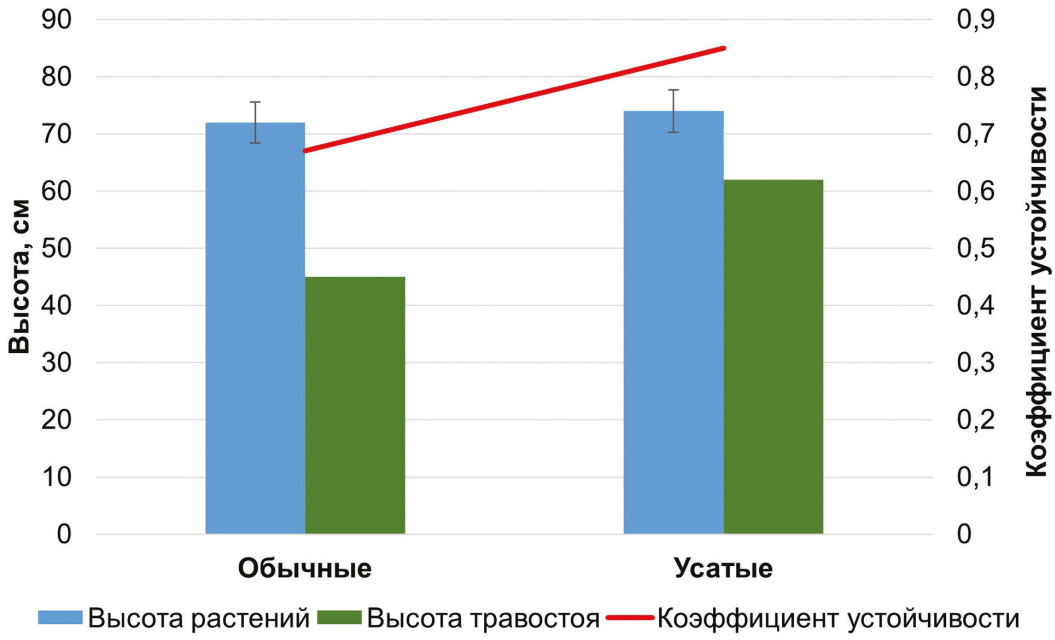


Рис. 4. Высота растений и травостоя у гороха овощного разного морфотипа
Height of plants and herbage in vegetable peas of different morphotypes

Высота травостоя в фазу биологической спелости существенно отличалась в зависимости от морфотипа: у усатых сортов она составила в среднем 62,4 см, тогда как у листочковых была значительно ниже – в среднем 45,9 см. При этом коэффициент устойчивости соответственно усатых образцов в среднем составил 0,85 (устойчивость), у листочковых – 0,64 (относительная устойчивость).

Определение коэффициентов корреляции показало, что имеется достоверная средняя зависимость у растений гороха между высотой травостоя и устойчивостью к полеганию, причем у листочковых образцов она была выше, коэффициент корреляции составил $r = 0,56$, у усатых – $r = 0,43$ (рис. 5).

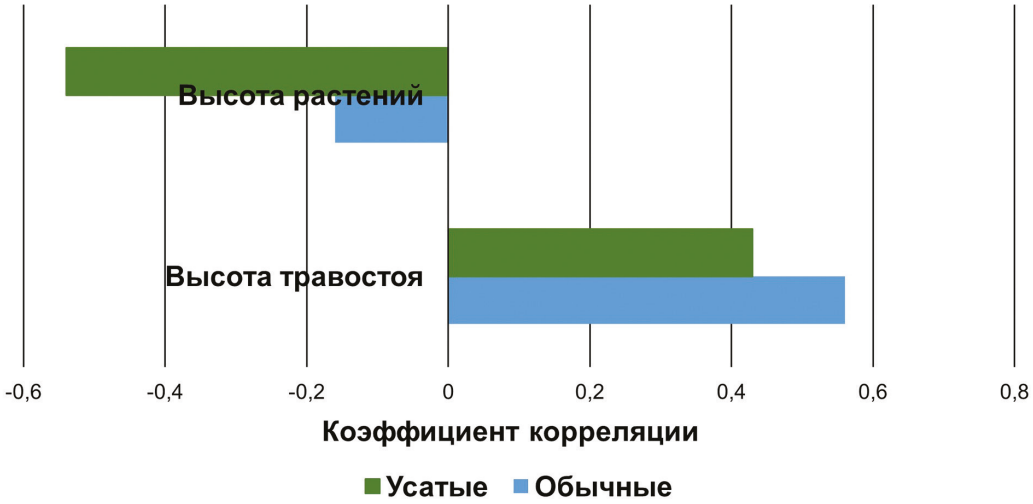


Рис. 5. Зависимость устойчивости к полеганию у гороха овощного от высоты растений и высоты травостоя
Dependence of resistance to lodging in vegetable peas on plant height and grass height

Высота растений имела отрицательную зависимость с устойчивостью к полеганию. Установлена средняя отрицательная зависимость между высотой растений и устойчи-

востью к полеганию у усатых морфотипов (r = -0,54), слабая – у листочковых морфотипов (r = -0,16), однако она была не достоверна.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что среди образцов как листочкового, так и усатого морфотипов, могут быть выделены растения, имеющие устойчивость к полеганию.

В результате проведенной оценки выделены образцы гороха овощного, имеющие высокую устойчивость к полеганию, которые могут быть рекомендованы для включения в гибридизацию в качестве источников: усатого морфотипа – Крейсер, Памяти Хангильдина, Afilla, Azur, Флагман 8, Venture, Немчинский; листочкового морфотипа – SH-92-79-3-3-1-1, Альдея, Norli, Fruhe, Адрианна, Грибовский Юбилейный (табл. 1). Выделенные образцы будут пригодны для механизированного возделывания и уборки.

Таблица 1

Устойчивость к полеганию у выделившихся образцов гороха овощного (среднее за 2017–2018 гг.)
Resistance to lodging in released vegetable pea samples (average for 2017–2018)

Сортообразец	Высота травостоя, см	Высота растений в фазе биологической спелости, см	Коэф. устойчивости	Группа устойчивости	Тип стебля в зависимости от устойчивости к полеганию
Обычный морфотип					
Неистощимый 195 (стандарт)	45	84	0,54	Относительно устойчивый	Среднеполегающий
SH-92-79-3-3-1-1	50	51	0,98	Высокоустойчивый	Неполегающий
Альдея	65	72	0,90	Устойчивый	Среднеполегающий
Norli	50	56	0,89	Устойчивый	Среднеполегающий
Fruhe	60	73	0,82	Устойчивый	Среднеполегающий
Грибовский Юбилейный	55	66	0,83	Устойчивый	Среднеполегающий
Адриана	60	67	0,89	Устойчивый	Среднеполегающий
Lim	20–80	41–135	0,26–0,98		
Среднее	45,9	72,1	0,64		
$НСР_{05}$	5,5	8,6	0,07		
Усатый морфотип					
Крейсер	60	65	0,92	Высокоустойчивый	Неполегающий
Памяти Хангильдина	87	88	0,98	Высокоустойчивый	Неполегающий
Azur	65	72	0,90	Устойчивый	Среднеполегающий
Afilla	48	50	0,96	Высокоустойчивый	Неполегающий
Немчиновский 46	70	76	0,92	Высокоустойчивый	Неполегающий
Venture	58	61	0,94	Высокоустойчивый	Неполегающий
Флагман 8	65	90	0,93	Высокоустойчивый	Неполегающий
Lim	40–88	49–114	0,57–0,98		
Среднее	60,9	76,3	0,81		
$НСР_{05}$	7,4	8,9	0,10		

Образцы гороха овощного, имеющие коэффициент устойчивости к полеганию менее 0,4, к моменту уборки оказываются непригодны для механизированного возделывания. Самую низкую устойчивость к полеганию за время изучения имели образцы листочкового морфотипа: Hendorson, Toledo, Самородок, Николас, Ранний Грибовский с коэффициентом устойчивости

(0,25–0,48), усатого морфотипа: Л112/200 с коэффициентом устойчивости 0,57. Т.о. среди всех изученных образцов непригоден для механизированного возделывания оказался один образец листочкового морфотипа Николас.

Выделившиеся по устойчивости к полеганию образцы гороха овощного усатого морфотипа были на уровне стандарта Неистощимый 195 с листочковым типом листа и характеризовались средней продуктивностью. Максимальную продуктивность среди устойчивых форм гороха овощного усатого морфотипа имели среднеспелые сорта: Azur, Afilla, Флагман 8 и Venture (табл. 2).

Таблица 2

Элементы урожайности выделившихся образцов гороха овощного по устойчивости к полеганию (среднее за 2017–2018 гг.)
Yield elements of isolated vegetable pea samples in terms of resistance to lodging (average for 2017–2018)

Сортообразец	Число бобов, шт.	Масса бобов, г	Число семян в бобе, шт.	Масса семян с одного растения, г	Масса 1 000 семян, г	Группа спелости
Обычный морфотип						
Неистощимый 195 (стандарт)	5,3	10,2	5,2	7,4	206,4	Среднеранний
Norli	8,6	12,7	5,9	10,1	173,6	Среднеранний
Fruhe	10,8	17,1	4,6	13,3	250,6	Среднеранний
SH-92-79-3-3-1-1	8,6	15,2	5,6	11,8	188,1	Среднеспелый
Альдея	11,6	16,3	7,0	12,6	242,9	Среднеспелый
Адриана	5,4	10,6	5,6	10,0	146,8	Среднеспелый
Lim	5,4–11,6	10,6–17,1	4,6–7,0	10,0–13,3	173,6–250,6	
Среднее	9	14	6	12	200	
Усатый морфотип						
Памяти Хангильдина	7,0	8,2	4,6	6,3	213,7	Среднеранний
Azur	8,4	16,6	5,2	12,1	193,0	Среднеспелый
Afilla	10,1	10,8	6,2	7,7	145,9	Среднеспелый
Немчиновский 46	7,0	8,7	4,2	6,3	159,5	Среднеспелый
Venture	7,2	9,6	6,2	7,4	179,5	Среднеспелый
Флагман 8	6,4	10,2	4,6	7,6	231,0	Среднеспелый
Lim	6,4–10,1	8,2–16,6	4,2–6,2	6,3–12,1	145,9–231,0	
Среднее	8	11	5	8	187	
По всей коллекции						
Lim	4,1–20,4	5,4–27,7	3,2–8,2	3,8–18,5	101–268,9	
Среднее	9	13	5	10	175	
$НСР_{05}$	1,3	2,0	0,8	1,5	26,2	

Число бобов у выделившихся усатых образцов варьировало от 6,4–10,1 шт. и в среднем составило 7,7 шт., у листочковых – от 5,4–11,6 шт. и в среднем составило 9,0 шт. Максимальное количество бобов отмечено у среднеспелых образцов усатого морфотипа: Azur, Afilla, обычного: Альдея (среднеспелый), Fruhe (среднеранний).

Масса бобов у мутантных образцов изменялась от 8,2–16,6 шт. (в среднем 10,7 шт.), у листочковых – от 10,6–17,1 шт. и в среднем составила 14,4 шт. Наибольшую массу бобов имели мутантные среднеспелые образцы: Azur,

Afilla, Флагман 8, листочковые: Fruhe (среднеранний), Альдея, SH-92-79-3-3-1-1 (среднеспелые).

Число семян в бобе у образцов усатого морфотипа варьировало от 4,2–6,2 шт. (в среднем 5,2 шт.), у обычных – от 4,6–7,0 (в среднем 5,7 шт.). Максимальное количество семян в одном бобе имели усатые среднеспелые образцы: Afilla, Venture, листочковые: Norli (среднеранний), Альдея, SH-92-79-3-3-1-1 (среднеспелые).

Масса семян с одного растения у мутантных образцов изменялась от 6,3–12,1 г (в среднем 7,9 г), у листочковых – от 10,0–13,3 г (в среднем 11,6 г). Наибольшей семенной продуктивностью характеризовались мутантные образцы: Azur, Afilla (среднеспелые), листочковые: Fruhe (среднеранний), Альдея, SH-92-79-3-3-1-1 (среднеспелые).

Масса 1 000 семян у образцов усатого морфотипа варьировала от 145,9–231,0 г (в среднем 187,14 г), у обычных – от 173,6–250,6 г (в среднем 200,4). Максимальную массу 1000 семян имели усатые образцы: Памяти Хангильдина (среднеранний), Флагман 8, Azur (среднеспелые), листочковые: Fruhe (среднеранний), Альдея (среднеспелый).

ВЫВОДЫ

1. Скрининг образцов коллекции гороха овощного по устойчивости к полеганию показал, что доля устойчивых и высокоустойчивых форм у растений с обычным (листочковым) морфотипом составила суммарно 30 %, у усатых (безлисточковых) таких было существенно больше – 77 %.

2. Высота растений гороха овощного в фазу биологической спелости существенно не зависела от морфотипа и составила в среднем 72,1 см у листочковых форм и 74,7 см у усатых.

3. Усатые формы гороха овощного имеют большую устойчивость к полеганию в фазу биологической спелости. Коэффициент устойчивости образцов с усатым морфотипом составил в среднем 0,85; листочковых – 0,64.

4. Установлена средняя зависимость между высотой травостоя и устойчивостью к полеганию у гороха овощного, причем у листочковых образцов она была выше: коэффициент корреляции составил $r = 0,56$, у усатых – $r = 0,43$.

5. Зависимость высоты растений с устойчивостью к полеганию была отрицательной: у усатого морфотипа коэффициент корреляции составил $r = -0,54$, листочкового – $r = -0,16$.

6. Выделены источники высокой устойчивости к полеганию для каждого морфотипа гороха овощного: усатого – Крейсер, Флагман 8, Venture, Немчинский, Afilla, Полтавец, Azur, Памяти Хангильдина, Терас 888; листочкового – SH-92-79-3-3-1-1, Альдея, Norli, Адрианна, Грибовский Юбилейный.

7. Выделены формы гороха овощного, сочетающие высокую выраженность элементов продуктивности с устойчивостью к полеганию для каждого морфотипа:

– по числу бобов: усатого – Azur, Afilla, обычного – Альдея, Fruhe;

– по массе бобов: мутантного – Azur, Afilla, Флагман 8, листочкового – Fruhe, Альдея, SH-92-79-3-3-1-1;

– по числу семян в бобе: усатого – Afilla, Venture, листочкового – Альдея, Norli, SH-92-79-3-3-1-1;

– по массе семян с одного растения: мутантного – Azur, Afilla, листочкового – Fruhe, Альдея, SH-92-79-3-3-1-1;

– по массе 1 000 семян: усатого – Флагман 8, Памяти Хангильдина, Azur, листочкового – Fruhe, Альдея.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коллекция* мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: метод. указ. / М.А. Вишнякова, Т.В. Буравцева, С.В. Булынцев С.В. [и др.]. – СПб.: ВИР, 2010. – 142 с.
2. *Пивоваров В.Ф., Цыганок Н.С.* Восстановить производство сушеного горошка // Овощи России. – 2011. – № 3 (12). – С. 43–48.
3. *Feeding* value of pea (Pisum sativumL.) Chemical composition of different categories of pea / D. Bastianelli, F. Grosjean, C. Peyronnet [et al.] // Animal science. – 1998. – № 67 (3). – P. 609–619. – DOI: 10.1017/S1357729800033051.

4. *Neglecting* legumes hascompromised human health and sustainable food production / C.H. Foyer, H.M. Lam, H.T. Nguyen [et al.] // NaturePlants. – 2016. – № 2. – P. 1–10. – DOI: 10.1038/NPLANTS. 2016.
5. *Leguminous* Crops as a Valuable Product in Functional Nutrition / N. Kazydub, S. Kuzmina, S. Yfimceva [et al.] // The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro–Industrial Sector (TFTS 2019). – P. 199–203. – DOI: 10.2991/assehr.k.200113.168.
6. *Казыдуб Н.Г., Кузьмина С.П., Коваленко А.Н.* Селекция зернобобовых культур в Омском ГАУ // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2022. – № 41 (46). – С. 35–39.
7. *Зернобобовые* культуры в Западной Сибири (фасоль и бобы овощные, нут): биология, генетика, селекция, использование: монография [Электронный ресурс] / Н.Г. Казыдуб [и др.]. – Электрон. дан. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ. – 2020.
8. *Beeck C.P., Wroth J.M., Cowling W.A*. Additive genetic variance forstem strength in field pea (Pisum sativum) // Aust. J. Agric. Res. – 2008. – № 59. – P. 80–85. – DOI: 10.1071/AR07069.
9. *Пономарева С.В.* Изучение исходного материала коллекции гороха в условиях Нижегородской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 23–28.
10. *Creating* new varieties of vegetable peas (Pisum sativum L.) using multicomponent crossings / E.P. Pronina [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. “International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production”. – 2021. – P. 012094.
11. *Самарин Н.А.* Селекция и семеноводство гороха овощного использования. – Краснодар 2021. – 296 с.
12. *Жогалева О.С., Стрельцова Л.Г.* Высота растений и устойчивость к полеганию сортов гороха под влиянием хелатных микроудобрений // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 5 (208). – С. 31–39. – DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-31-39.
13. *Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г., Бондаренко Е.В*. Применение кластерного анализа в селекции гороха овощного // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 1 (46). – С. 35–42.
14. *Семенова Е.В., Шолухова Т.А., Бойко А.П.* Горох: агробиологическая характеристика сортов разных направлений использования в условиях Краснодарского края. – СПб.: ВИР им. Н.И. Вавилова, 2020. – Вып. 910. – 32 с.
15. *Семенова Е.В., Проскурякова Г.И.* Результаты изучения образцов гороха (Pisum sativum L.) из коллекции ВИР в Тамбовской области в 1995–2017 гг. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 1 (37). – С. 5–13.
16. *Браилова И.С., Филатова И.А.* Коллекция гороха – источник хозяйственно ценных признаков // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 3 (31). – С. 27–33.
17. *Катюк А.И., Майстренко О.А.* Результаты селекции зернового гороха на повышение урожайности, качества зерна и технологичности к механизированному возделыванию // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 2 (3). – С. 641–645.
18. *Streltsova L.G., Zhogaleva O.S.* Yield and cost-effectiveness of ORMISS-responsive pea varieties [e-resource] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – N 659. URL: https://iopscience.iop.org/article/ 10.1088/1755–1315/659/1/012103 (date of reference: 10.10.2023).
19. *Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Магафурова Ф.Ф.* Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в Республике Башкортостан за последние 30 лет // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4 (84). – С. 72–77.
20. *Пищевая* ценность, качество сырья и продовольственное значение культуры гороха овощного (Pisum sativum L.) / И.М. Кайгородова, В.А. Ушаков, Н.А. Голубкина [и др.] // Овощи России. – 2022. – № 3. – С. 16–32. – DOI: 10.18619/2072-9146-2022-3-16-32. EDN WLXVHJ.
21. *Приоритетные* направления современной селекции гороха овощного (Pisum sativum L.) / И.М. Кайгородова, И.П. Котляр, В.А. Ушаков [и др.] // Овощи России. – 2023. – № 4. – С. 5–12. – DOI: 10.18619/2072–9146–2023–4–5–12.
22. *Омельянюк Л.В., Асанов А.М., Кармазина А.Ю.* Доноры признаков структуры стебля в селекции гороха усатого морфотипа для Сибирского региона // Вестник Омского ГАУ. – 2021. – № 4 (44). – С. 25–34.

23. *Skubisz G., Kravtsova T.I., Velikanov L.P.* Analysis of the strengthproperties of pea stems. // Int. Agrophys.– 2007. – № 21. – P. 189–197.
24. *Изменчивость* признака «масса 1000 семян» как основного элемента продуктивности у гороха овощного / И.П. Котляр [и др.] // Овощи России. – 2018. – № 2. – С. 21–23. – DOI: 10.18619/2072-9146-2018-2-21-23.
25. *Самарин Н.А., Самарин С.Н.* Возможные пути сохранения семеноводства отечественных сортов гороха овощного в современных условиях // Овощи России. – 2013. – № 1 (18). – С. 76–78. – DOI: 10.18619/2072–9146–2013–1–76–78.
26. *Селекция* усатых сортов гороха в ФНЦ зернобобовых и крупяных культур / А.А. Зеленов, А.М. Задорин, А.Н. Зеленов [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 1 (33). – С. 4–10.
27. *Создание* и использование в селекции генетического разнообразия рассеченнолисточкового морфотипа гороха / А.А. Зеленов, А.Н. Зеленов, Т.С. Наумкина [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 2 (22). – С. 8–16.
28. *Genetic* background andagronomic value of leaf types in pea (Pisum sativum) / A. Mikic, V. Mihailovic, B. Cupina [et al.] // Ratar. i Povrt. – 2011. – № 48. – P. 275–284.
29. *Синюшин А.А., Анисимова Д.А.* К проблеме динамики генетического полиморфизма у сортов гороха (Pisum sativum L.) отечественной селекции // Биотехнология и селекция растений. – 2020. – № 3 (1). – С. 13–23. – DOI: 10.30901/2658-6266-2020-l-o3.
30. *Genetic* Diversity and Prediction of Genomic Traits in the Pea Diversity Panel / J. Burstin [et al.] // BMC Genomics. № 16. – 2015. – P. 105. – DOI: 10.1186/s12864-015-1266-1.
31. *Чураков А.А., Валиулина Л.И.* Результаты и перспективы селекции гороха усатого морфотипа в Красноярском крае // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 6. – С. 24–269.
32. *Амелин А.В., Чекалин Е.И.* Адаптивные способности растений гороха и их изменения в результате селекции // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 2 (30). – С. 4–14.
33. *Образцов А.С., Амелин А.В.* К вопросу об идеатипе растений гороха в связи с их устойчивостью к полеганию на юге Нечерноземной зоны РСФСР // Сельскохозяйственная биология. – 1990. – № 1. – С. 83–88.
34. *Видовое* разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВиР и его использование в отечественной селекции (обзор) / М.А. Вишнякова [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – № 180 (2). – С. 109–123.
35. *Зотиков В.И.* Отечественная селекция зернобобовых и крупяных культур // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 3 (35). – С. 12–19
36. *Путина О.В., Бобков С.В., Вишнякова М.А.* Углеводный состав семян и его связь с другими селекционно значимыми признаками у овощного гороха (Pisum sativum L.) в условиях Краснодарского края // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – № 53 (1). – С. 179–188. – DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.179.
37. *Кайгородова И.М., Голубкина Н.А., Ушаков В.А.* Изучение устойчивости гороха овощного (Pisum sativum L.) к полеганию // 100 лет научному обеспечению эффективного использования генетических ресурсов бобовых в России: тез. докл. науч. конф. – СПб.: ВИР, 2022. – С. 362–363. – DOI: 10.30901/978-5-907145-90-0.
38. *Хвостова В.В.* Генетика и селекция гороха. – Новосибирск: Наука, 1975. – 268 с.
39. *Kujala V.* Felclerbse, bei welcher die ganze Blattspreite in Ranken ungewandelt ist // Archivum soc. Zool.– Botanical Technical. – 1953. – N 8. – P. 44–45.
40. *Кайгородова И.М.* Создание исходного материала гороха овощного (*Pisum sativum* L.) разных групп спелости для селекции на пригодность к механизированной уборке: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 2014.

REFERENCES

1. Vishnjakova M.A., Buravceva T.V., Bulyncev S.V. i dr., *Kollekcija mirovyh geneticheskih resursov zernovyh bobovyh VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie: metodicheskie ukazanija* (VIR Collection of World Genetic Resources of Grain Legumes: Replenishment, Conservation and Study: Guidelines), Sankt-Peterburg, VIR, 2010, 142 p.

2. Pivovarov V.F., Cyganok N.S., *Ovoshhi Rossii*, 2011, No. 3 (12), pp. 43–48. (In Russ.)
3. Bastianelli D., Grosjean F., Peyronnet C. et al., Feeding value of pea (Pisum sativumL.) Chemical composition of different categories of pea, *Animal science,* 1998, No. 67 (3), pp. 609–619.
4. Foyer C.H., Lam H.M., Nguyen H.T. et al., Neglecting legumes hascompromised human health and sustainable food production, *Nature Plants,* 2016, No. 2, pp. 1–10.
5. Kazydub N., Kuzmina S., Yfimceva S. et al., Leguminous Crops as a Valuable Product in Functional Nutrition, *The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector (TFTS 2019), pp.* 199-203.
6. Kazydub N.G., Kuzmina S.P., Kovalenko A.N., *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*, 2022, No. 41 (46), pp. 35–39. (In Russ.)
7. Kazydub N.G., Kuz'mina S.P., Borovikova M.A., Bezuglova E.V., Bykova K.A., *Zernobobovye kul'tury v Zapadnoj Sibiri (fasol' i boby ovoshhnye, nut): biologija, genetika, selekcija, ispol'zovanie* (Leguminous crops in Western Siberia (beans and beans, chickpeas): biology, genetics, selection, use), Omsk: FGBOU VO Omskij GAU, 2020.
8. Beeck C.P., Wroth J.M., Cowling W.A., Additive genetic variance forstem strength in field pea (Pisum sativum), *Aust. J. Agric. Res*., 2008, No. 59, pp. 80–85.
9. Ponomareva S.V., *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2018, T. 63, No. 2, pp. 23–28. (In Russ.)
10. Pronina E.P. et al., Creating new varieties of vegetable peas (Pisum sativum L.) using multicomponent crossings, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production"*, 2021, pp. 012094.
11. Samarin N.A., *Selekcija i semenovodstvo goroha ovoshhnogo ispol'zovanija* (Selection and seed production of peas for vegetable use), Krasnodar, 2021, 296 p.
12. Zhogaleva O.S., Strel'cova L.G., *Agrarnyj vestnik Urala,* 2021, No. 5 (208), pp. 31–39. (In Russ.)
13. Kuzmina S.P., Kazydub N.G., Bondarenko E.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet),* 2018, No. 1 (46), pp. 35–42. (In Russ.)
14. Semenova E.V, Sholuhova T.A., Bojko A.P., *Goroh: agrobiologicheskaja harakteristika sortov raznyh napravlenij ispol'zovanija v uslovijah Krasnodarskogo kraja* (Peas: agrobiological characteristics of varieties of different areas of use in the conditions of the Krasnodar region), Sankt-Peterburg: VIR im. N.I. Vavilova, 2020, 32 p.
15. Semenova E.V., Proskurjakova G.I., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury,* 2021, No. 1 (37), pp. 5–13. (In Russ.)
16. Brailova I.S., Filatova I.A., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury,* 2019, No. 3 (31), pp. 27–33. (In Russ.)
17. Katjuk A.I. Majstrenko O.A., *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk,* 2018, T. 20, No. 2 (3). pp. 641–645. (In Russ.)
18. 1Streltsova L.G., Zhogaleva O.S., Yield and cost-effectiveness of ORMISS-responsive pea varieties [e-resource], *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, No. 659, URL: https://iopscience.iop.org/article/ 10.1088/1755–1315/659/1/012103 (date of reference: 10.10.2023)
19. Davletov F.A., Gajnullina K.P., Magafurova F.F., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2020, No. 4 (84), pp. 72–77. (In Russ.)
20. Kajgorodova I.M., Ushakov V.A., Golubkina N.A. i dr., *Ovoshhi Rossii*, 2022, No. 3, pp. 16–32. (In Russ.)
21. Kajgorodova I.M., Kotljar I.P., Ushakov V.A., Engalycheva I.A., Kozar' E.G., *Ovoshhi Rossii,* 2023, No. 4, pp. 5–12. (In Russ.)
22. Omel'janjuk L.V., Asanov A.M., Karmazina A.Ju., *Vestnik Omskogo GAU,* 2021, No. 4 (44), pp. 25–34. (In Russ.)
23. Skubisz G., Kravtsova T.I., Velikanov L.P., Analysis of the strengthproperties of pea stems, *Int. Agrophys*., 2007, No. 21, pp. 189–197.
24. Kotljar I.P. i dr., *Ovoshhi Rossii,* 2018, No. 2, pp. 21–23. (In Russ.)
25. Samarin N.A., Samarin S.N., *Ovoshhi Rossii,* 2013, No. 1 (13), pp. 76–78. (In Russ.)
26. Zelenov A.A., Zadorin A.M., Zelenov A.N., Kononova M.E., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury,* 2020, No. 1 (33). pp. 4–10. (In Russ.)
27. Zelenov A.A., Zelenov A.N., Naumkina T.S., Novikova N.E., Zadorin A.M., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury,* 2017, No. 2 (22), pp. 8–16. (In Russ.)

28. Mikic A., Mihailovic V., Cupina B. et al., Genetic background andagronomic value of leaf types in pea (Pisum sativum), *Ratar. i Povrt*., 2011, No. 48 pp. 275–284.
29. Sinjushin A.A., Anisimova D.A., *Biotehnologija i selekcija rastenij,* 2020, No. 3 (1), pp. 13–23. (In Russ.)
30. Burstin J. Salloignon P., Chabert-Martinello M., Magnin-Robert J.-B., Siol M., Jacquin F., Chauveau A., Pont C., Aubert G., Delaitre C., Truntzer C., Duc G., Genetic Diversity and Prediction of Genomic Traits in the Pea Diversity Panel, *BMC Genomics,* No. 16, 2015, pp. 105.
31. Churakov A.A, Valiulina L.I., *Dostizhenija nauki i tehniki APK,* 2014, No. 6, pp. 24–269. (In Russ.)
32. Amelin A.V., Chekalin E.I., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury,* 2019, No. 2 (30), pp. 4–14. (In Russ.)
33. Obrazcov A.S., Amelin A.V., *Sel'skohozjajstvennaja biologija,* 1990, No. 1, pp. 83–88. (In Russ.)
34. Vishnjakova M.A., Aleksandrova T.G., Buravceva T.V., Burljaeva M.O., Egorova G.P., Semenova E.V., Seferova I.V., Suvorova G.N., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii,* 2019, No. 180 (2), pp. 109–123. (In Russ.)
35. Zotikov V.I., *Zernobobovye i krupjanye kul'tury,* 2020, No. 3 (35), pp. 12–19 (In Russ.)
36. Putina O.V., Bobkov S.V., Vishnjakova M.A., *Sel'skohozjajstvennaja biologija,* 2018, No. 53 (1), pp. 179–188. (In Russ.)
37. Kajgorodova I.M., Golubkina N.A., Ushakov V.A., *100 let nauchnomu obespecheniju jeffektivnogoispol'zovanija geneticheskih resursov bobovyh v Rossii* (100 years of scientific support for the effective use of legume genetic resources in Russia), Tezisy dokladov, VIR, 2022, pp. 362–363. (In Russ.)
38. Hvostova V.V., *Genetika i selekcija goroha* (Genetics and breeding of peas), Novosibirsk: Nauka, 1975, 268 p.
39. Kujala V., Felclerbse, bei welcher die ganze Blattspreite in Ranken ungewandelt ist, *Archivum soc. Zool.-Botanical Technical,* 1953, No. 8, pp. 44–45.
40. Kajgorodova I.M., *Sozdanie ishodnogo materiala goroha ovoshhnogo (Pisum sativum L.) raznyh grupp spelosti dlja selekcii na prigodnost' k mehanizirovannoj uborke (*Creation of source material for vegetable peas (Pisum sativum L.) of different ripeness groups for selection for suitability for mechanized harvesting*),* Extended abstract of candidate´s thesis, Moscow, 2014.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-86-93
УДК 631.51.01; 631.439

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ЧЕРНОЗЕМА В СЕВООБОРОТЕ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

[1]**Н.Л. Кураченко,** доктор биологических наук
[2]**А.С. Колесников**, кандидат сельскохозяйственных наук
[1]*Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия*
[2]*Восточно-Сибирское представительство АО «Щелково Агрохим», Красноярск, Россия*
E-mail: kurachenko@mail.ru

Ключевые слова: чернозем, отвальная обработка, минимальная обработка, нулевая обработка, плотность сложения.

Реферат. *Приведены результаты полевого опыта по изучению влияния приемов основной обработки на плотность сложения чернозема Красноярской лесостепи. Исследования проведены в поле пара и зерновых культур в пятипольном полевом севообороте (пар – пшеница – рапс – ячмень – овес). Схема опыта включала приемы основной обработки почвы: 1 – отвальная обработка на глубину 20–22 см; 2 – минимальная обработка (дисковое лущение на глубину 10–12 см); 3 – нулевая обработка (прямой посев по стерне предшественника). Показано, что чернозем обыкновенный Красноярской лесостепи в условиях основной обработки характеризовался рыхлым и нормальным сложением 0–20 см слоя с сезонным ритмом, не превышающим 18 %. Плотность сложения 0–20 см слоя чернозема на 19–28 % зависела от характера агроценоза. В наибольшей степени это влияние выражено в слое 10–20 см (26–37 %). Поля севооборота по величине плотности сложения на всех фонах основной обработки располагались в следующий возрастающий ряд: пар (0,90–0,96 г/см^3) – пшеница (0,95–1,02 г/см^3) – ячмень (0,97–1,00 г/см^3) – овес (0,98–1,05 г/см^3). Установлено, что возделывание сельскохозяйственных культур и парование поля на фоне отвальной вспашки формировало плотность на уровне 0,94–0,98 г/см^3. Обработка почвы дискатором в посевах зерновых культур повышала плотность сложения почвы до 0,97–1,01 г/см^3; нулевой посев – до 1,00–1,05 г/см^3. При этом величина исследуемого параметра не выходила за пределы оптимальных значений.*

CHANGES IN THE DENSITY OF CHERNOZEM IN CROPE ROTATION WITH MINIMIZATION OF BASIC TILLAGE

[1]**N.L. Kurachenko,** Doctor of Biological Sciences
[2]**A.S. Kolesnikov,** Candidate of Agricultural Sciences
[1]*Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia*
[2]*East Siberian representative office of Shchelkovo Agrokhim JSC, Krasnoyarsk, Russia*
E-mail: kurachenko@mail.ru

Keywords: chernozem, dump cultivation, minimal cultivation, zero tillage, bulk density.

Abstract. *The results of a field experiment to study the influence of basic processing techniques on the density of chernozem in the Krasnoyarsk forest–steppe are presented. The research was carried out in a field of fallow and grain crops in a five–field field crop rotation (fallow – wheat – rapeseed – barley – oats). The experimental design included basic tillage techniques: 1 – moldboard tillage to a depth of 20–22 cm; 2 – minimal processing (disc peeling to a depth of 10–12 cm); 3 – zero tillage (direct sowing on the stubble of the predecessor). It was shown that ordinary chernozem of the Krasnoyarsk forest–steppe under the conditions of basic cultivation was characterized by a loose and normal composition of the 0–20 cm layer with a seasonal rhythm not exceeding 18 %. The density of the 0–20 cm layer of chernozem depended 19–28 % on the nature of the agrocenosis. This influence is most pronounced in the 10–20 cm layer (26–37 %). Crop rotation fields according to the density of the crop on all backgrounds of the main cultivation were located in the following increasing series: fallow (0.90–0.96 g/cm^3) – wheat (0.95–1.02 g/cm^3) – barley (0.97–1.00 g/cm^3) – oats (0.98–1.05 g/cm^3). It was established that the cultivation of agricultural crops and fallowing the field against the background of moldboard plowing formed a density at the level of 0.94–0.98 g/cm^3. Tilling the soil with a discor in crops of grain crops increased the soil density to 0.97–1.01 g/cm^3; zero sowing – up to 1.00–1.05 g/cm^3. At the same time, the value of the studied parameter did not go beyond the optimal values.*

Получение максимальных объемов продукции сельскохозяйственного производства высокого качества с минимальными затратами труда и средств является основной целью сельскохозяйственного производства [1]. Замена традиционной отвальной обработки почв на минимальные технологии обусловлена снижением доходности производства продукции растениеводства, усилением темпов снижения плодородия и деградации почв [2]. Однако результаты внедрения минимальных обработок почв в различных почвенно-климатических зонах часто сопровождаются негативными изменениями агрофизических свойств почв [3, 4]. Внедрение минимальных и нулевых обработок должно быть увязано с агрофизическими свойствами различных типов почв и требованиями различных культур к сложению почвы [5]. С изменением плотности сложения почв меняется водный, воздушный и тепловой режимы почв, интенсивность биологических процессов. Этот показатель оказывает существенное влияние на качество механической обработки почв и затраты на ее проведение.

На тяжело- и среднесуглинистых черноземах диапазон оптимальных значений для зерновых культур колеблется в пределах 1,05–1,30 г/см^3. Однако следует отметить, что для почв земледельческой зоны Красноярского края, как правило, характерна пониженная плотность сложения, которая не достигает даже рекомендованных для них значений – 1,10–1,20 г/см^3. Фактором рыхлости почв региона является длительное пребывание их в мерзлотном состоянии, хорошая оструктуренность и значительная степень гумусированности. Отсутствие достоверной информации о влиянии основной обработки на плотность сложения черноземов среднесуглинистого гранулометрического состава определило постановку и проведение исследований. Появление сравнительно крупных контуров черноземов обыкновенных в лесостепной зоне Красноярского края связано с кольцевой или концентрической зональностью, проявляющейся в межгорных котловинах. Так, на территории Красноярской лесостепи существуют две почвенно-географические зоны, закономерно сменяющиеся от центра котловины к периферии: зона степи с преобладанием обыкновенных черноземов и зона лесостепи с двумя подзонами – южной лесостепи с преобладанием выщелоченных и обыкновенных черноземов и северной с преобладанием серых лесных почв, среди которых встречаются оподзоленные черноземы [6].

Цель исследования – оценка влияния приемов основной обработки на плотность сложения чернозема обыкновенного в зернопаровом севообороте.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение влияния приемов основной обработки на плотность сложения чернозема провели в 2013–2015 гг. в землепользовании Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенного в Красноярской лесостепи. Объектами исследования в полевом опыте явился чернозем обыкновенный маломощный среднесуглинистого гранулометрического состава и пятипольный полевой севооборот (пар – пшеница – рапс – ячмень – овес).

Чернозем обыкновенный опытного участка в 0–20 см слое отличался высоким содержанием гумуса (7,9–9,6 %), слабощелочной реакцией среды (pH$_{н_2о}$ – 7,1–7,8), высокой суммой обменных оснований (40,0–45,2 м-экв/100 г).

Схема опыта включала следующие приемы основной обработки почвы: I – отвальная обработка (вспашка ПЛН 4–35 на глубину 20–22 см); II – минимальная обработка (осеннее дискование культиватором Rubin 9600 KU на глубину 10–12 см); III – нулевая обработка (прямой посев сеялкой Джон Дир). Культуры размещены на фоне применения минеральных удобрений со стартовой дозой $N_{30}P_{30}$. Посевы зерновых культур с учетом доминирования широколиственных сорняков в фазу кущения обрабатывали гербицидом Магнум, ВДГ в дозе 0,01 кг/га. В опыте использовали сорта, рекомендованные к возделыванию в Красноярском крае: пшеница – Алтайская 70, ячмень – Буян, овес – Саян. Размещение вариантов опыта – систематическое, повторность – 3-кратная. Учетная площадь делянки – 100 м^2. Повторность отбора образцов и аналитических определений – 3-кратная. Почвенные образцы отбирали в слоях 0–10, 10–20 см. Сроки отбора образцов:

июнь, июль и август. В почвенных образцах определяли влажность термовесовым методом и плотность сложения по Н.А. Качинскому [7]. Статистический анализ данных проводили с использованием пакета программ MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованиями установлено, что чернозем обыкновенный Красноярской лесостепи в условиях основной обработки, как правило, характеризовался рыхлым и нормальным сложением 0–20 см слоя. Сезонный ритм плотности 0–20 см слоя в полях севооборота имел различную изменчивость, определяемую приемом основной обработки и характером агроценоза. Считается, что значительное варьирование плотности сложения в пахотных горизонтах в течение вегетационного периода является отрицательным последствием длительной распашки черноземов [8]. В поле чистого пара, обработанного по различным технологиям, величина плотности сложения чернозема в вегетационные сезоны 2013–2015 гг. не превышала 1,05 г/см^3 при незначительном и небольшом варьировании показателя (*Cv* = 2–16 %) (табл. 1). Наиболее рыхлое сложение 0–20 см слоя поддерживалось поверхностной обработкой дискатором в вегетационные сезоны 2013 и 2015 гг. (0,83–0,94 г/см^3). Снижение плотности 0–10 см слоя пара, обработанного с осени по минимальной технологии, на 0,07–0,08 г/см^3 по сравнению с отвальной обработкой отмечено в июньский период и подтверждено результатами дисперсионного анализа ($НСР_{05}$ = 0,03–0,07).

Таблица 1

Статистические показатели плотности сложения чернозема в паровых полях (0–20 см), г/см^3
Statistical indicators of the density of chernozem in fallow fields (0–20 cm), g/cm^3

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (*n* = 3)		2014 г. (*n* = 3)		2015 г. (*n* = 3)	
		X	*Cv, %*	*X*	*Cv, %*	*X*	*Cv, %*
Отвальная	0–10	0,90	11	0,87	11	0,92	2
	10–20	0,95	6	0,93	8	1,05	4
Минимальная	0–10	0,83	15	0,95	15	0,84	8
	10–20	0,86	10	0,98	8	0,94	3
Нулевая	0–10	0,94	6	0,94	14	0,98	16
	10–20	0,91	2	0,99	17	0,99	10

Плотность сложения чернозема в посевах яровой пшеницы изменялась в течение вегетационных сезонов по вариантам опыта от 0,71 до 1,19 г/см^3 (табл. 2). Динамика плотности сложения почвы, обработанной по отвальной, минимальной и нулевой технологиям, в вегетационные сезоны 2013 и 2014 гг. имела схожую направленность, но различную количественную оценку. В агроценозе пшеницы, возделываемой по вспашке и минимальной обработке, плотность почвы существенно увеличивалась к июлю до 1,07–1,14 г/см^3. Более выраженный диапазон изменений сложения 0–20 см слоя чернозема установлен на вспашке с коэффициентом варьирования по слоям, достигающим 14–24 %. Диапазон изменений плотности почвы в вегетационные сезоны 2013 и 2014 гг. на фоне нулевой обработки не превышал 0,09-0,08 г/см^3 и соответствовал незначительному варьированию показателя (*Cv* = 4–7 %). Посевы пшеницы, возделываемой по пару в 2015 г., характеризовались незначительным варьированием плотности сложения (*Cv* = 1–16 %) на всех фонах обработки, с постепенным снижением показателя к уборке.

Таблица 2

Статистические показатели плотности сложения чернозема в посевах пшеницы (0–20 см), г/см³
Statistical indicators of the density of chernozem in wheat crops (0–20 cm), g/cm³

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (*n* = 3)		2014 г. (*n* = 3)		2015 г. (*n* = 3)	
		X	*Cv*, %	*X*	*Cv*, %	*X*	*Cv*, %
Отвальная	0–10	1,02	16	0,92	24	0,99	8
	10–20	0,88	14	0,97	14	0,98	4
Минимальная	0–10	0,93	14	0,95	9	0,90	16
	10–20	1,08	7	0,98	15	0,98	3
Нулевая	0–10	1,09	6	1,10	7	0,83	12
	10–20	1,11	5	1,02	4	0,96	1

Динамические изменения плотности корнеобитаемого слоя чернозема в посевах ячменя, возделываемых по отвальной обработке в вегетационный сезон 2013 г., характеризовались незначительной выраженностью (*Cv* = 1–11 %) с рыхлым сложением: 0,85–0,95 г/см³ (табл. 3). На фоне минимальной обработки формировалось нормальное сложение почвы (0,96–1,00 г/см³), превышающее вспашку на 0,11–0,05 г/см³. При этом существенные различия по типам основной обработки почвы проявлялись в период всходов ячменя ($НСР_{05\ 10–20\ см}$ = 0,06) и к его созреванию ($НСР_{05\ 0–10\ см}$ = 0,21). В вегетационные сезоны 2014–2015 гг. выявлено увеличение сезонного варьирования плотности почвы в посевах ячменя (*Cv* = 1–18 %) и тенденция к увеличению показателя до 0,94–1,10 г/см³. Достоверное увеличение плотности сложения до 1,17–1,19 г/см³ ($НСР_{05}$ = 0,10–0,23) в посевах ячменя отмечено в начальную стадию развития культуры на нулевом фоне. Значения плотности почвы в вегетационный сезон 2015 г. по фонам обработки варьировали в пределах 0,99–1,08 г/см³.

Таблица 3

Статистические показатели плотности сложения чернозема в посевах ячменя (0–20см), г/см³
Statistical indicators of the density of chernozem in barley crops (0–20cm), g/cm³

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (*n* = 3)		2014 г. (*n* = 3)		2015 г. (*n* = 3)	
		X	*Cv*, %	*X*	*Cv*, %	*X*	*Cv*, %
Отвальная	0–10	0,85	7	0,94	15	1,04	4
	10–20	0,95	1	0,94	6	1,08	8
Минимальная	0–10	0,96	11	0,99	14	1,00	10
	10–20	1,00	5	0,98	15	0,99	13
Нулевая	0–10	0,90	1	1,10	7	0,99	18
	10–20	0,97	2	1,02	4	1,00	1

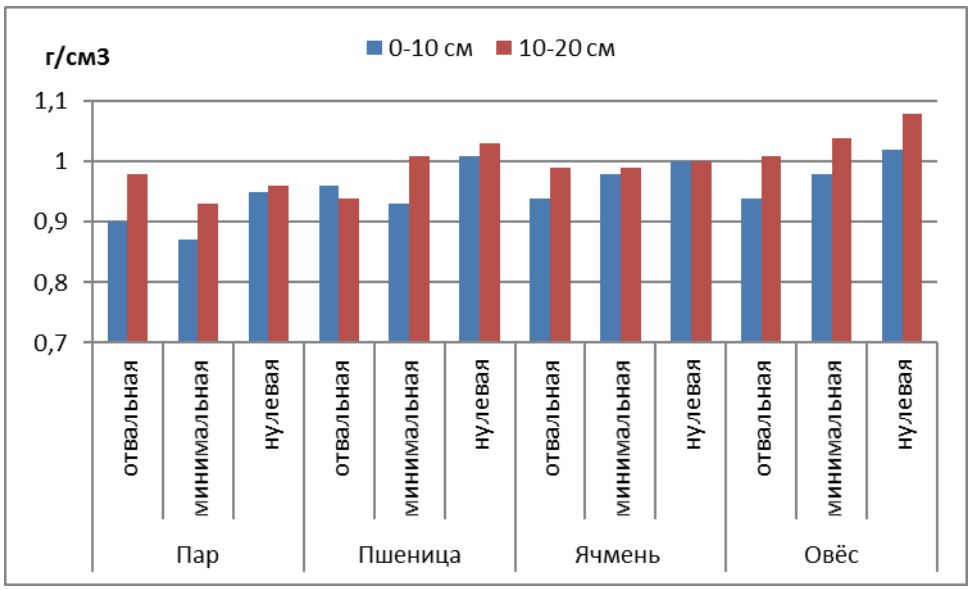
Тенденция к уплотнению 10–20 см слоя чернозема отмечена в агроценозе овса (табл. 4). В отличие от парового поля и агроценозов пшеницы и ячменя, плотность почвы в посевах овса уже в вегетационный сезон 2013 г. отличалась нормальным сложением (0,95–1,09 г/см³), что обусловлено лучшим развитием корневой системы культуры. Качественная оценка (0,91–1,11 г/см³) и сезонный ритм плотности сложения чернозема (*Cv* = 1–15 %) сохранялись в вегетационные сезоны 2014 и 2015 гг. При этом отмечается более выраженное уплотнение 10–20 см слоя по всем приемам основной обработки.

Таблица 4

Статистические показатели плотности сложения агрочернозема в посевах овса (0–20 см), г/см³
Statistical indicators of the density of agrochernozem in oat crops (0–20 cm), g/cm³

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (*n* = 3)		2014 г. (*n* = 3)		2015 г. (*n* = 3)	
		X	*Cv*, %	*X*	*Cv*, %	*X*	*Cv*, %
Отвальная	0–10	0,95	13	0,97	5	0,91	1
	10–20	1,00	5	1,05	5	0,98	6
Минимальная	0–10	1,02	10	1,00	9	0,93	9
	10–20	1,03	3	1,08	8	1,01	15
Нулевая	0–10	1,09	9	1,07	5	0,91	7
	10–20	1,05	5	1,11	4	1,07	8

Дифференциация пахотного горизонта по показателям плодородия рассматривается как основной недостаток ресурсосберегающих приемов обработки почвы, что подтверждается рядом исследователей [9–11]. Авторами установлено, что ежегодная минимальная обработка на одном и том же поле приводит к переуплотнению верхних слоев почвы в результате образования большого количества пылеватой фракции или, наоборот, к уплотнению 10–20 см слоя. При применении безотвальных обработок, особенно мелких и нулевых, происходит дифференциация пахотного слоя на прослойки, отличающиеся по физическим параметрам и содержанию питательных веществ, более выраженная, чем она формируется через 2–3 мес. после вспашки. Анализ среднесезонной величины сложения чернозема парового поля показал, что отвальная и минимальная обработки в равной степени определили дифференциацию 0–20 см слоя почвы (рисунок). Разница между 0–10 и 10–20 см слоями по величине показателя оценивалась на уровне 0,08–0,06 г/см³ ($НСР_{05}$ = 0,04). Отсутствие основной обработки парового поля в осенний период и в течение лета (химический пар) определило гомогенность 0–20 см слоя чернозема (0,95–0,96 г/см³). В посевах пшеницы, возделываемой по различным технологиям основной обработки, вспашка формировала рыхлое сложение почвы 0–20 см слоя почвы (0,95 г/см), минимальная и нулевая обработка нормальное (0,97–1,02 г/см³). Поверхностная обработка почвы дискатором определила существенную дифференциацию 0–20 см слоя почвы по исследуемому параметру ($НСР_{05}$ = 0,05). Здесь отмечено увеличение плотности 10–20 см слоя по сравнению с вышележащей толщей на 0,08 г/см³. При возделывании ячменя по минимальной и нулевой технологии формировался однородный по плотности сложения 0–20 см слой почвы. На фоне вспашки отмечено достоверное увеличение плотности 10–20 см слоя на 0,05 г/см³ по сравнению в вышележащим 0–10 см слоем ($НСР_{05}$ = 0,04). Выраженная гомогенность 0–20 см слоя чернозема при возделывании ячменя по ресурсосберегающим технологиям обусловлена влиянием предшествующей культуры – ярового рапса. Мощная корневая система культуры и поступление в почву значительных запасов органического вещества обусловливали разуплотнение почвы. Нашими исследованиями установлено, что применение ресурсосберегающих технологий на рапсе определяло повышение плотности сложения на 0,03–0,11 г/см³ [12]. Подобные результаты получены и в исследованиях А.С. Бушнева [13]. Автором установлено, что плотность почвы в слое 0–30 см весной на отвальной вспашке составляла 1,29 г/см³, на минимальной и поверхностной обработке – 1,33–1,35 г/см³. К концу вегетации во всех вариантах опыта произошло уплотнение, особенно в вариантах с глубокой безотвальной, минимальной и поверхностной обработками почвы. Однако при посеве озимой пшеницы после ярового рапса плотность почвы была близкой по всем системам основной обработки и не превышала предельно допустимой величины для этой культуры.



Плотность сложения чернозема в полях севооборота (2013–2015 гг.), г/см^3

Density of chernozem in crop rotation fields (2013–2015), g/cm^3

Дифференциация 0–20 см слоя почвы в посевах овса, возделываемых по вспашке, минимальной и нулевой обработке, проявлялась с одинаковой закономерностью (0,06–0,07 г/см^3) ($НСР_{05}$ = 0,03). По мнению исследователей, временная изменчивость оптимальных параметров плотности сложения чернозема имеет определенную зависимость [14]. Как правило, весной эти параметры имеют более низкие значения, а перед уборкой пшеницы – более высокие. Несмотря на некоторое увеличение плотности сложения чернозема, от посева до конца вегетации она находилась в оптимальных пределах на всех типах основной обработки и не оказывала отрицательного влияния на плодородие почвы.

В процессе исследований установлено, что величина плотности сложения 0–20 см слоя чернозема на 19–28 % определялась влиянием характера агроценоза (табл. 5).

Таблица 5

Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение плотности сложения 0–20 см слоя чернозема
Assessment of the contribution of agroecological factors to changes in the density of the 0–20 cm layer of chernozem

Год	Фактор	Показатель степени влияния, %	
		0–10 см	10–20 см
2013	Прием обработки (А)	13,5	4,4
	Агроценоз (В)	11,7	26,3
	Взаимодействие (АВ)	26,6	27,3
	Неучитываемые факторы	48,2	42,0
2014	Прием обработки (А)	24,7	13,0
	Агроценоз (В)	18,7	36,9
	Взаимодействие (АВ)	38,6	16,9
	Неучитываемые факторы	18,0	33,2
2015	Прием обработки (А)	14,4	9,9
	Агроценоз (В)	22,4	28,2
	Взаимодействие (АВ)	29,9	24,4
	Неучитываемые факторы	33,3	37,5

При этом в наибольшей степени это влияние выражено в слое 10–20 см (26–37 %). Поля севооборота по величине плотности сложения на всех фонах основной обработки располагались в следующий возрастающий ряд: пар (0,90–0,96 г/см^3) – пшеница (0,95–1,02 г/см^3) – ячмень (0,97–1,00 г/см^3) – овес (0,98–1,05 г/см^3). Влияние приема основной обработки почвы на величину плотности сложения оценивались по годам исследований на 9–19 %. Установлено, что возделывание сельскохозяйственных культур и парование поля на фоне отвальной вспашки формируют плотность на уровне 0,94–0,98 г/см^3. Обработка почвы дискатором в посевах зерновых культур повышает сложение до 0,97–1,01 г/см^3; нулевой посев – до 1,00–1,05 г/см^3. При этом величина исследуемого параметра не выходила за пределы оптимальных значений.

Таким образом, уплотнение почвы на 0,03–0,07 г/см^3 проявлялось только при возделывании зерновых культур. Исследования, проведенные на черноземах Курской области при возделывании гороха, показали, что независимо от приема обработки величина плотности сложения в слое 0–10 см была ниже (0,99±0,01 г/см^3), чем в слое 10–20 см (1,10±0,02 г/см^3) [15]. Причем наибольшая в опыте плотность почвы отмечена при использовании поверхностной обработки. В условиях лесостепи Новосибирского Приобья в длительных опытах (более 30 лет) с усилением минимизации основной зяблевой обработки вплоть до отказа от нее под зерновые культуры В.Е. Синещековым отмечено незначительное увеличение плотности в слое 0–30 см чернозема выщелоченного при сохранении оптимальных величин параметра (1,07–1,19 г/см^3) [16].

ВЫВОДЫ

1. Плотность сложения чернозема обыкновенного в агроэкосистемах Красноярской лесостепи в первые годы применения ресурсосберегающих технологий основной обработки не достигала критического порога (1,25–1,30 г/см^3), когда почва утрачивает способность саморазуплотняться. Тип сложения черноземов обыкновенных можно определить как устойчивый, и элементы минимизации в системе основной обработки почвы могут быть вполне целесообразны.

2. Возделывание сельскохозяйственных культур и парование поля на фоне отвальной обработки формируют рыхлое и нормальное сложение агрочернозема (0,94–0,98 г/см^3). Минимальная обработка почвы под посевы зерновых культур повышает плотность сложения до 0,97–1,01 г/см^3; нулевой посев – до 1,00–1,05 г/см^3 с сохранением оптимальных значений.

3. Поля севооборота по величине плотности сложения на всех фонах основной обработки располагаются в следующий возрастающий ряд: пар (0,90–0,96 г/см^3) – пшеница (0,95–1,02 г/см^3) – ячмень (0,97–1,00 г/см^3) – овес (0,98–1,05 г/см^3).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Влияние* минимизации обработки на баланс углерода в почве в леостепи Новосибирского Приобья / И.Н. Шарков, В.А. Андроханов, Л.М. Самохвалова, П.В. Антипина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1 (66). – С. 99–106.
2. *Скорочкин Ю.П., Макаров М.Р., Ерофеев С.А.* Приемы минимальной обработки почвы в севообороте // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 44–5. – С. 74–76.
3. *Карипов Р.Х., Тлеппаева А.А.* Минимальная и нулевая обработка почвы в условиях сухостепной зоны // Наука и мир. – 2017. – № 1–2 (41). – С. 8–9.
4. *Гребенников А.М.* Применение сидеральных смешанных агрообществ для восстановления агрофизических свойств почв при использовании минимальных обработок // Проблемы науки. – 2019. – № 7 (43). – С. 53–58.
5. *Biometric* indicators of corn and basic tillage systems / A.A. Mnatsakanyan, G.V. Chuvarleeva, O.B. Bykov, A.S. Volkova // International Scientific and Practical Conference on Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad. – 2022. – Vol. 118. – P. 305–309.
6. *Кураченко Н.Л.* Агрофизическое состояние почв Красноярской лесостепи. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2013. – 194 с.

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. *Ульянова О.А., Кураченко Н.Л., Чупрова В.В.* Влияние системы удобрения на плодородие чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 10–19.
3. *Плодородие* чернозема типичного при минимизации основной обработки / Г.Н. Черкасов, Е.В. Дубовик, Д.В. Дубовик, С.И. Казанцев // Земледелие. – 2012. – № 4. – С. 23–25.
4. *Прямой* посев полевых культур в Ставропольском крае / Г.Р. Дорожко, О.Г. Шабалдас, В.К. Зайцев, Д.Ю. Бородин //Земледелие. – 2013. – № 8. – С. 20–23.
5. *Влияние* минимизации основной обработки почвы на плодородие чернозема типичного / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.В. Шумаков, Б.С. Ильин // Агрохимия. – 2021. – № 3. – С. 22–27.
6. *Агрофизическое* состояние и продуктивность рапса, возделываемого по ресурсосберегающим технологиям в Красноярской лесостепи / Н.Л. Кураченко, А.С. Колесников, В.Л. Колесникова, В.Н. Романов // Плодородие. – 2015. – № 3. – С. 19–21.
7. *Бушнев А.С.* Изменение плотности почвы в севообороте с масличными культурами при различных системах основной обработки почвы // Масличные культуры. – 2013. – № 1. – С. 48–57.
8. *Данилов А.Н., Летучий А.В., Шагиев Б.З.* Влияние удобрений и обработки почвы на элементы ее плодородия и урожайность яровой пшеницы на черноземах Поволжья // Нива Поволжья. – 2015. – № 3. – С. 46–53.
9. *Минимизация* основной обработки почвы под горох в Курской области / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.В. Шумаков, Б.С. Ильин, А.Н. Морозов // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 11. – С. 26–31.
10. *Синещеков В.Е.* Агрофизические свойства черноземов выщелоченных при минимизации основной обработки почвы // Агрохимия. – 2017. – № 7. – С. 19–25.

REFERENCES

1. Sharkov I.N., Androkhanov V.A., Samokhvalova L.M., Antipina P.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 1 (66), pp. 99–106. (In Russ.)
2. Skorochkin YU.P., Makarov M.R., Erofeev S.A., *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2018, No. 44–5, pp. 74–76. (In Russ.)
3. Karipov R.H., Tleppaeva A.A., *Nauka i mir,* 2017, No. 1–2 (41), pp. 8–9. (In Russ.)
4. Grebennikov A.M., *Problemy nauki*, 2019, No. 7 (43), pp. 53–58. (In Russ.)
5. Mnatsakanyan A.A., Chuvarleeva G.V., Bykov O.B., Volkova A.S., Biometric indicators of corn and basic tillage systems, *International Scientific and Practical Conference on Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad*, 2022, Vol. 118, pp. 305–309.
6. Kurachenko N.L., *Agrofizicheskoe sostoyanie pochv Krasnoyarskoj lesostepi* (Agrophysical state of soils in the Krasnoyarsk forest-steppe), Krasnoyarsk: Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2013. 194 p.
7. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovaniya fizicheskih svojstv pochv* (Methods for studying the physical properties of soils), Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p. (In Russ.)
8. Ul'yanova O.A., Kurachenko N.L., CHuprova V.V., *Agrohimiya,* 2010, No. 1, pp. 10–19. (In Russ.)
9. Cherkasov G.N., Dubovik E.V., Dubovik D.V., Kazancev S.I., *Zemledelie,* 2012, No. 4, pp. 23–25. (In Russ.)
10. Dorozhko G.R., SHabaldas O.G., Zajcev V.K., Borodin D.YU, *Zemledelie,* 2013, No. 8, pp. 20–23. (In Russ.)
11. Dubovik D.V., Dubovik E.V., SHumakov A.V., Il'in B.S, *Agrohimiya,* 2021, No. 3, pp. 22–27. (In Russ.)
12. Kurachenko N.L., Kolesnikov A.S., Kolesnikova V.L., Romanov V.N., *Plodorodie,* 2015, No. 3, pp. 19–21. (In Russ.)
13. Bushnev A.S., *Maslichnye kul'tury*, 2013, No. 1, pp. 48–57. (In Russ.)
14. Danilov A.N., Letuchij A.V., Shagiev B.Z., *Niva Povolzh'ya*, 2015, No. 3, pp. 46–53. (In Russ.)
15. Dubovik D.V., Dubovik E.V., SHumakov A.V., Il'in B.S., Morozov A.N, *Dostizheniya nauki i tekhniki APK,* 2020, T. 34, No. 11, pp. 26–31. (In Russ.)
16. Sineshchekov V.E, *Agrohimiya,* 2017, No. 7, pp. 19–25. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-94-101
УДК 631.54 :632.5

АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА И ЯРОВОГО РАПСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕРБИЦИДОВ ИМИДАЗОЛИНОНОВОЙ ГРУППЫ

[1]**Д.В. Лебедев,** аспирант
[1]**Т.В. Зубкова,** кандидат сельскохозяйственных наук
[3]**Д.В. Виноградов,** доктор биологических наук
[1]**О.А. Дубровина,** кандидат сельскохозяйственных наук
[1]Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, Елец, Россия
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[3]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Рязань, Россия
E-mail: lebedevdv96@yandex.ru

***Ключевые слова*:** яровой рапс, подсолнечник, гибрид, сорный компонент, гербицид, удобрения, урожайность.

Реферат. *В статье предложена оценка эффективности применения системы Clearfield в технологии возделывания ярового рапса гибрида НИКСХ 213 КЛС и подсолнечника гибрида НК Неома с учетом разных предшественников в условиях Нечерноземной зоны. Исследование проведено в условиях хозяйства ООО «Пламя» Кораблинского района Рязанской области в 2021–2023 гг. Clearfield – это универсальная производственная система, применяемая в настоящее время во всем мире, которая предполагает использование современных высокоурожайных гибридов, устойчивых к гербициду селективного действия. Однократное применение гербицидов данной системы позволяет создать почвенный гербицидный экран, который сдерживает последующие волны сорняков. Проведенные исследования позволили установить, что послевсходовое применение гербицидов в комбинации с прилипателем в посевах масличных культур уничтожало на 100 % такие однолетние двудольные сорняки, как пикульник обыкновенный, горец шероховатый. Возделывание рапса и подсолнечника по технологии Clearfield обеспечивало чистые посевы данных культур, а дополнительная внекорневая обработка растений удобрениями создавала благоприятные условия для дополнительного формирования элементов структуры урожая. Максимальная урожайность ярового рапса за годы исследований была зафиксирована на варианте Лебозол-РапсМикс 21,4–24,2 ц/га (озимая пшеница) и 21,9–26,3 (яровая пшеница), превышение относительно варианта без обработки составило соответственно 21,7 % (+4,2 ц/га) и 25,7 % (+5,0 ц/га). В среднем по опыту с подсолнечником максимальная урожайность отмечена на вариантах с действием некорневой подкормки Лебозол-экспресс-ОптиКэр – 32,5 ц/га на фоне предшественника озимой пшеницы (прибавка + 3,8 ц/га), и 30,7 ц/га на фоне яровой пшеницы (+3,3 ц/га).*

AGRONOMIC EFFICIENCY OF SUNFLOWER AND SPRING RAPESEED CULTIVATION WITH THE USE OF IMIDAZOLINONE GROUP HERBICIDES

[1]**D.V. Lebedev**, PhD student
[1]**T.V. Zubkova**, Candidate of Agricultural Sciences
[2, 3]**D.V. Vinogradov**, Doctor of Biological Sciences
[1]**O.A. Dubrovina**, Candidate of Agricultural Sciences
[1]Yelets State University named after I.A. Bunin, Yelets, Russia
[2]Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia
[3]Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
E-mail: lebedevdv96@yandex.ru

***Keywords*:** spring rapeseed, sunflower, hybrid, litter component, herbicide, fertilizers, yield.

Abstract. *The article offers an assessment of the effectiveness of the Clearfield system in the technology of cultivation of spring rapeseed hybrid NIKSH 213 KLS and sunflower hybrid NK Neoma, taking into account different precursors in the Non-Chernozem zone. The study was conducted in the conditions of the economy of*

LLC "Flame" of the Korablinsky district of the Ryazan region, in 2021–2023. Clearfield is a universal production system currently used worldwide, which involves the use of modern high-yielding hybrids resistant to selective herbicide. A single application of herbicides of this system allows you to create a soil herbicide screen that restrains subsequent waves of weeds. The conducted studies allowed us to establish that the post-emergence use of herbicides in combination with an adhesive in oilseed crops destroyed 100% annual dicotyledonous weeds such as the common mountaineer, rough mountaineer. Cultivation of rapeseed and sunflower using Clearfield technology provided clean crops of these crops, and additional foliar treatment of plants with fertilizers created favorable conditions for additional formation of elements of the crop structure. The maximum yield of spring rapeseed over the years of research was recorded on the Lebozol-RAPSMIX variant of 21.4–24.2 c/ha (winter wheat) and 21.9-26.3 (spring wheat), the excess relative to the untreated variant was 21.7 % (+4.2 c/ha) and 25.7 % (+5.0 c/ha), respectively. On average, according to the experience with sunflower, the maximum yield was noted on variants with the effect of non-root top dressing Lebozol-expert–Opti Care – 32.5 c/ha against the background of the predecessor of winter wheat (an increase of + 3.8 c/ha), and 30.7 c/ha against the background of spring wheat (+3.3 c/ha).

Рапс и подсолнечник – основные масличные культуры в Российской Федерации. В последние годы посевные площади данных культур, характеризующихся высокой маржинальностью и продуктивностью, имеют тенденцию к увеличению. Липецкая область входит в двадцатку крупнейших регионов страны по посевным площадям масличных. Для того чтобы получать ежегодно стабильную урожайность культур на уровне 30 ц/га и выше, необходимо реализовать весь биологический потенциал культурного растения [1–3].

Семена рапса и подсолнечника используют не только для производства масла, но и для получения пищевых продуктов питания. Функциональные продукты, полученные из семян культур, содержат меньше белка, но больше сырой клетчатки и золы в сравнении с соевой мукой. Рапсовая мука демонстрирует высокую растворимость азота, абсорбцию жира, эмульгирование масла, взбиваемость и стабильность пены [4].

Основными лимитирующими факторами, снижающими урожай масличных культур, являются засоренность посевов, болезни и вредители. Наиболее опасны в этом отношении сорняки. Потери урожая рапса колеблются от 40 до 60 % в зависимости от плотности сорняков и продолжительности вмешательства [5]. Важным периодом отсутствия сорняков для подсолнечника и рапса является фаза от появления всходов до ранних стадий бутонизации [6]. В средней полосе России на сельскохозяйственных полях встречается широкий спектр видов сорняков, включая злаковые и широколиственные виды [7].

Решением вопроса снижения сорной растительности и увеличения урожайности масличных является система Clearfield на рапсе и подсолнечнике.

Clearfield в переводе с англ. яз. – «чистое поле». Это универсальная производственная система, применяемая в настоящее время во всем мире [8, 9].

Система предполагает однократную, до конца вегетации, послевсходовую обработку гербицидом в фазе развития сорняков до 1–3 листов и 2–6 настоящих листьев у культур с посевом высокоурожайных, устойчивых к имидозолиноновой группе гербицидов Нопасаран, КС – для рапса и Евро-Лайтнинг, ВРК – для подсолнечника, в комбинациях с прилипателем.

Интегрированная система Clearfield эффективна при любой степени засоренности посевов, существенно не зависит от погодных условий, типа и гранулометрического состава почвы, применяется как для традиционной технологии выращивания масличных культур, так и для технологии с минимальной или нулевой обработкой почвы [10, 11].

Цель исследования – оценка эффективности применения системы Clearfield в технологиях возделывания подсолнечника и ярового рапса при использовании зерновых предшественников и микроудобрений в условиях южной части Нечерноземной зоны.

В задачи исследования входило: определить влияние технологии Clearfield на урожайность ярового рапса гибрида НИКСХ 213 КЛС и подсолнечника гибрида НК Неома с применением внекорневых обработок микроудобрениями; изучить видовой состав сорного компонента в

агроценозах рапса и подсолнечника; оценить влияние предшественника при возделывании масличных по системе Clearfield.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено в условиях Рязанской области в 2021–2023 гг., в двух полевых равнозначных опытах с рапсом яровым и подсолнечником. Объекты исследований – подсолнечник гибрид НК Неома, яровой рапс гибрид НИКСХ 213 КЛС, выращиваемые по технологии Clearfield.

Агрохимическая характеристика почвенного покрова опытных участков представлена темно-серыми лесными почвами с содержанием гумуса 3,81–4,90 %; pH солевой вытяжки 5,65–5,69, фосфора 158–170 мг/кг и калия 116–128 мг/кг.

Климатические условия 2021, 2022, 2023 гг. были благоприятными для выращивания ярового рапса и подсолнечника: гидротермический коэффициент в 2021 г. составил 1,78; в 2022 г. – 1,64; в 2023 г. – 1,31.

В опыте применяли технологию возделывания масличных культур, рекомендованную для Нечерноземной зоны России.

В качестве предшественников была выбрана пшеница озимая и яровая.

Посев рапса ярового и подсолнечника осуществляли в третьей декаде апреля (28–29 апреля). Норма высева рапса – 1,0 млн шт./га, подсолнечника – 55 тыс. шт./га. Осуществляли внесение минеральных удобрений под предпосевную культивацию, для ярового рапса – $N_{75}P_{35}K_{35}$, для подсолнечника – $N_{120}P_{45}K_{45}$.

В агроценозах рапса проводилась обработка баковой смесью гербицида Нопасаран, КС 1,2 л/га с прилипателем Даш 1,2 л/га + инсектицидом Брейк, МЭ 0,1 л/га в фазу 3–4 настоящих листьев культуры, а также микроудобрением Лебозол-РапсМикс 3 л/га или Лебозол-экспресс Брассика 3 л/га (согласно схеме опыта).

Для подсолнечника использовали гербицид Евро-Лайтнинг, химического класса имидазолиноны в дозе 1,2 л/га + Даш 1,2 л/га в период раннего развития сорной растительности и 4–5 листьев у культуры, а также микроудобрение Лебозол-экспресс-Квадро Макс-С в дозе 3 л/га или Лебозол-экспресс-ОптиКэр (согласно схеме опыта). Расход рабочей жидкости препаратов в масличных агроценозах – 250 л/га.

Вторая инсектицидная обработка проводилась в период начала бутонизации у масличных культур, Децис Профи, ВДГ 0,03 л/га + ПАВ Адью.

В опыте на варианте с рапсом применяли микроудобрение Лебозол-РапсМикс, в состав которого входит смесь из микроэлементов: бор – 4,1 %, марганец – 4,8 %, молибден – 0,5 %, кальций – 9 %, сера – 9,2 %. А также микроудобрение Лебозол-экспресс-Брассика: бор – 3,2 %, марганец – 6,03 %, молибден – 0,51 %.

На варианте с подсолнечником применяли микроудобрение Лебозол-экспресс-Квадро Макс-С, состав которого характеризуется следующими элементами: медь – 5,1 %, марганец – 8 %, цинк – 6,4 %, сера – 19,4 %; Лебозол-экспресс-ОптиКэр: азот – 14,3 %, водорастворимый фосфат – 7,7 %, водорастворимый оксид калия – 8,7 % , сера – 3,3 %, органические вещества – 4,6 %.

Для определения эффективности действия гербицидов засоренность определяли до обработки гербицидами, через 20 дней после обработки и перед уборкой урожая.

Исследования проводили согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова [12]. Повторность опытов четырехкратная. Площадь опытной делянки 100 м^2, учетной – 75 м^2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По итогам обследования агроценозов масличных культур среди яровых сорных растений в 2021–2023 гг. были выявлены наиболее распространенные: малолетние зимующие – пастушья сумка (*Capsella bursapastoris*), ромашка непахучая (*Pyrethrum inodora*); ранние яровые – марь белая (*Chenopodium album*), редька дикая (*Raphanus sativus*), горец птичий (*Polygonum scarbrum*); яровые поздние – пикульник обыкновенный (*Galeopsis vulgaris*). Наиболее распространенными среди многолетних были корнеотпрысковые сорняки – осот розовый (*Cirsium arvense*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*) (рис. 1, 2).

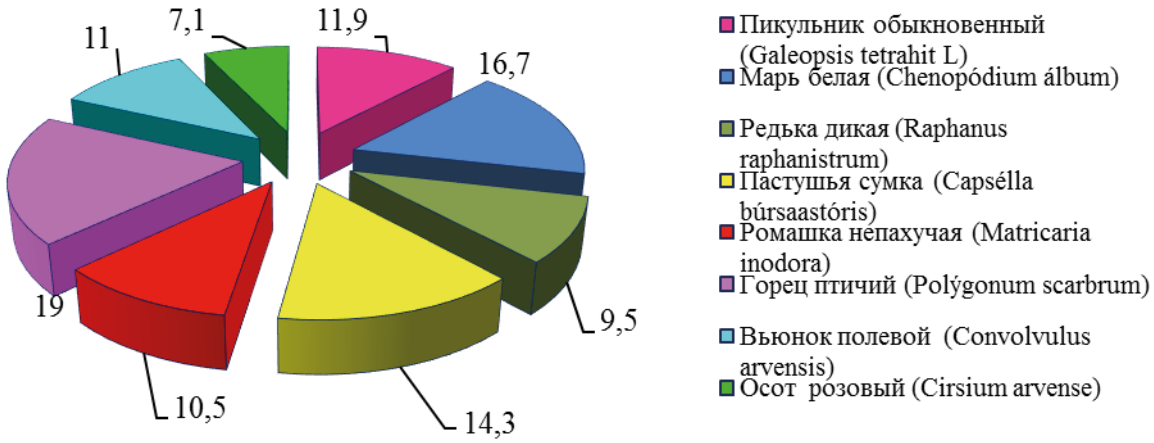


Рис. 1. Видовой состав сорного компонента в опытных посевах перед внесением гербицида (предшественник – озимая пшеница), %

Species composition and abundance of the weed component in experimental crops before the introduction of the herbicide, precursor winter wheat, %

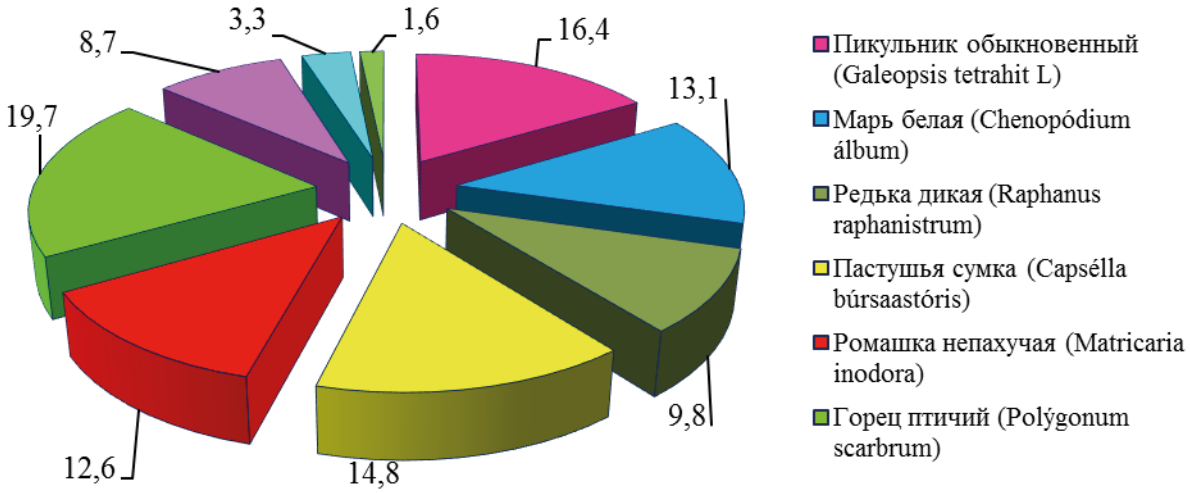


Рис. 2. Видовой состав сорного компонента в опытных посевах перед внесением гербицида (предшественник – яровая пшеница), %

Species composition and abundance of the weed component in experimental crops before the introduction of the herbicide, precursor spring wheat, %

В опыте в посевах масличных культур первый учет сорной растительности был проведен в период 4–5 настоящих листьев ярового рапса, 3–4 у подсолнечника, перед внесением гербицидов, что совпадало с третьей декадой мая.

В агроценозах рапса наиболее засоренными явились делянки вариантов после яровой пшеницы: в них количество сорняков составляло 6,0–12,0 шт./м^2. После озимой пшеницы делянки были более чистыми. Засоренность на данных вариантах варьировала в пределах 4,4–8,0 шт./м^2. Такая же тенденция прослеживалась и в посевах подсолнечника.

Второй учет сорной растительности был проведен через 20 дней после внесения гербицидов. После применения гербицида Нопасаран КС наблюдалась полная гибель сорняков таких видов, как пикульник обыкновенный, горец шероховатый. Частично присутствовали в посевах ромашка непахучая, марь белая, редька дикая, вьюнок полевой, бодяк полевой. Сходным действием в отношении сорняков обладал гербицид Евро-Лайтнинг на подсолнечнике: было выявлено полное угнетение или гибель сорной растительности в культурных посевах.

При окончательном учете сорного компонента на участках с применением системы

Clearfield отмечена успешная борьба с трудноискореняемыми видами сорняков семейства Капустные, такими как пастушья сумка и редька дикая. Засоренность многолетними сорняками снизилась на 95,3–96,0 %. Были отмечены единичные экземпляры полыни обыкновенной.

Отметим, что гербицид Нопасаран, КС, вносимый в период вегетации культуры, обладал незначительной фитотоксичностью в отношении рапса и проявлялся только на ранних этапах, непосредственно после обработки культуры в течение 1–1,5 недель. Визуально это отмечалось в виде следов хлоротичности листьев культуры. Спустя обозначенный период и на более поздних этапах органогенеза данное воздействие не выявлено.

Возделывание ярового рапса по технологии Clearfield способствовало формированию чистых посевов, а дополнительная обработка растений удобрениями Лебозол-экспресс-Брассика и Лебозол-РапсМикс обеспечивала повышение густоты стояния растений соответственно на 20,8 и 22,9 шт./м^2 (предшественник – озимая пшеница) и на 23,8 и 25,7 шт./м^2 (предшественник – яровая пшеница). В структуре урожая отмечалось небольшое снижение высоты растений ярового рапса на вариантах с применением гербицида Нопасаран, КС.

На фоне применения технологии Clearfield при практическом отсутствии сорной растительности культура формировала большее количество стручков на растении на варианте с применением Лебозол-РапсМикс 125,6 шт. (предшественник – озимая пшеница) и 127,9 шт. (предшественник – яровая пшеница). На контроле растения формировали 103,4 (предшественник – озимая пшеница) и 105,4 шт. стручков (предшественник – яровая пшеница).

Растения рапса, обработанные микроудобрениями, формировали более выполненные стручки, что отразилось на массе 1 000 семян. На контрольном варианте масса 1 000 семян составила 4,4 г, а на вариантах с применением удобрений – 4,6–4,7 г (табл. 1).

Таблица 1

Элементы структуры урожая ярового рапса, возделываемого по технологии Clearfield, по разным предшественникам (2021–2023 гг.)
Elements of the structure of the spring rapeseed crop cultivated by Clearfield technology according to different predecessors (2021–2023)

Предшественник (фактор А)	Вариант обработки микроудобрением (фактор В)	Густота стояния перед уборкой, шт./м^2	Высота растений, см	Количество стручков на растении, шт.	Масса 1000 семян, г
Озимая пшеница	Без обработки	84,2	120	103,4	4,4
	Лебозол-экспресс-Брассика	95,0	127	118,9	4,6
	Лебозол-РапсМикс	97,1	129	125,6	4,7
Яровая пшеница	Без обработки	83,2	122	105,4	4,4
	Лебозол-экспресс-Брассика	97,0	126	120,1	4,6
	Лебозол-РапсМикс	98,9	129	127,9	4,6

Микроструктурный анализ поверхности листьев продемонстрировал увеличение количества устьиц на варианте с Лебозол-РапсМикс (рис. 3), что, в свою очередь, обеспечивало протекание более интенсивных процессов фотосинтеза (рис. 4). Количество каратиноидов и пигментов в листьях на данном варианте составляло 0,29–0,32 и 2,4–2,5 мг/г сырой массы соответственно, на контроле их количество составило 0,20–0,22 и 2,0–2,1 мг/г сырой массы.

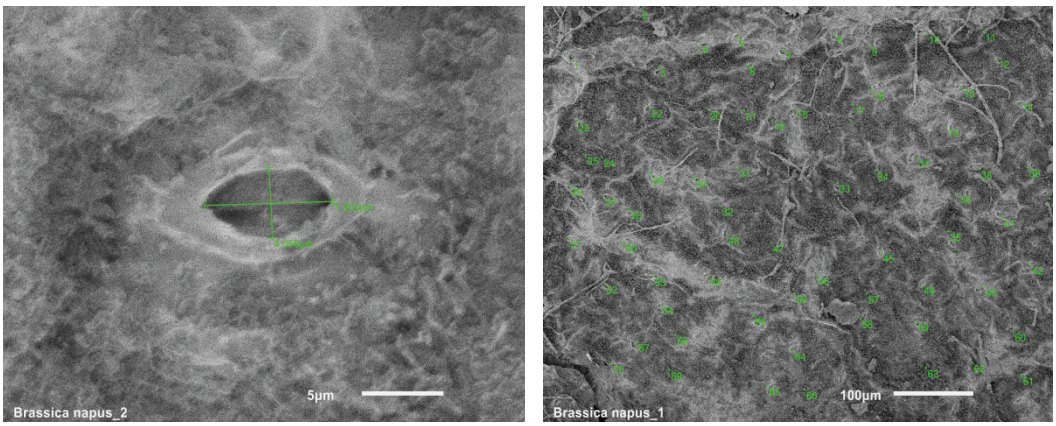


Рис. 3. Поверхность листа варианта Нопасаран, КС + Лебозол-РапсМикс
The surface of the sheet of the variant Nopasaran, CS + Lebozol-Rapsmix

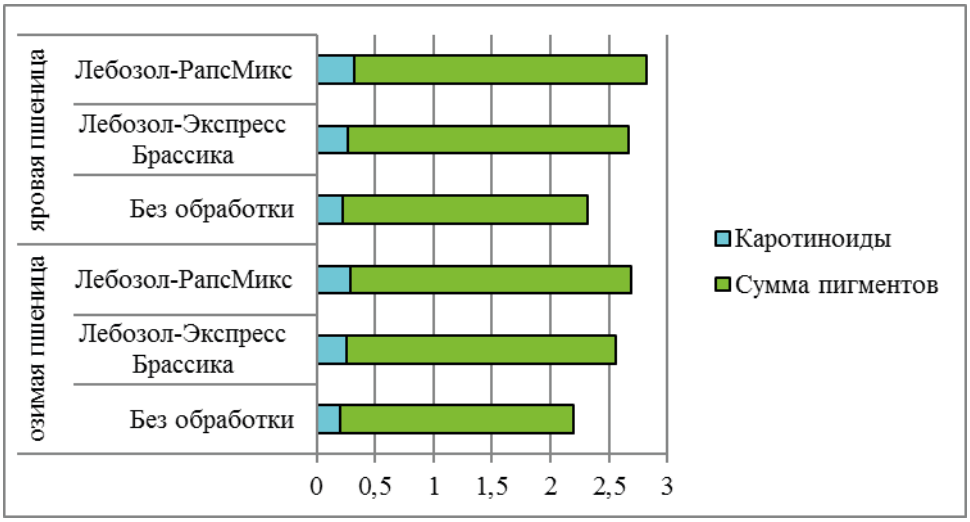


Рис. 4. Фотосинтетическая активность растений рапса в фазу зеленого стручка (предшественник – яровая пшеница), мг/г сырой массы
Photosynthetic activity of rapeseed plants in the green pod phase (predecessor – spring wheat), mg/g wet weight

Индивидуального влияния предшественника на продуктивность ярового рапса выявлено не было, а вот обработка растений микроудобрениями Лебозол-РапсМикс и Лебозол-экспресс-Брассика способствовала формированию более высоких урожаев культуры.

Максимальная урожайность ярового рапса за годы исследований была зафиксирована на варианте Лебозол-РапсМикс 21,4–24,2 ц/га (озимая пшеница) и 21,9–26,3 (яровая пшеница) (табл. 2). Данные варианты превышали контроль на 21,7 % (+4,2 ц/га) и 25,7 % (+5,0 ц/га). На варианте Лебозол-Экспресс-Брассика прибавка относительно контроля составила в среднем 15,5 %.

Сходная тенденция формирования структуры урожая и урожайности выявлена и в опыте с подсолнечником (табл. 3).

Таблица 2

Урожайность ярового рапса в зависимости от различных факторов, ц/га
Yield of spring rapeseed depending on various factors, c/ha

Предшественник (фактор А)	Вариант обработки микроудобрением (фактор В)	Урожайность, ц/га				Прибавка семян, ц/га
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	
1	2	3	4	5	6	7

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Озимая пшеница	Без обработки	20,9	20,2	17,0	19,4	–
	Лебозол-экспресс-Брассика	23,9	23,3	19,9	22,4	3,0
	Лебозол-РапсМикс	24,2	25,3	21,4	23,6	4,2
Яровая пшеница	Без обработки	20,5	20,3	17,3	19,4	–
	Лебозол-экспресс-Брассика	24,1	23,4	20,1	22,5	3,1
	Лебозол-РапсМикс	26,3	25,1	21,9	24,4	5,0
$НСР_{05}$ взаимодействия АВ		2,44	1,15	1,95		

Таблица 3

Урожайность подсолнечника в зависимости от различных факторов, ц/га
Sunflower yield depending on various factors, c/ha

Предшественник (фактор А)	Вариант обработки (фактор В)	Урожайность, ц/га				Прибавка семян, ц/га
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	
Озимая пшеница	Без обработки	24,3	28,9	33,0	28,7	–
	Лебозол-экспресс-Квадро Макс-С	27,0	31,2	34,9	31,0	2,3
	Лебозол-экспресс-ОптиКэр	28,9	32,5	36,2	32,5	3,8
Яровая пшеница	Без обработки	24,5	28,2	29,7	27,4	–
	Лебозол-экспресс Квадро Макс-С	26,1	29,1	31,0	28,7	1,3
	Лебозол-эксперсс-ОптиКэр	27,2	30,7	34,2	30,7	3,3
$НСР_{05}$ взаимодействия АВ		4,01	2,25	2,46		

В среднем по опыту с подсолнечником более высокая урожайность семян выявлена на вариантах, в которых в качестве предшественника выбрана озимая пшеница (28,7–32,5 ц/га). Максимальная урожайность на вариантах с действием некорневой подкормки Лебозол-экспресс-ОптиКэр – 32,5 ц/га на фоне такого предшественника, как озимая пшеница (прибавка + 3,8 ц/га) и 30,7 ц/га на фоне такого предшественника, как яровая пшеница (+3,3 ц/га).

ВЫВОДЫ

1. Интегрированная система Clearfield эффективна при любой степени засоренности посевов и не зависит от погодных условий. Проведенные исследования позволили установить, что послевсходовое применение гербицида Нопасаран, КС в дозе 1,2 л/га + Даш 1,2 л/га в посевах ярового рапса в комплексе с гибридом НИКСХ 213 КЛС и гербицида Евро-Лайтнинг в дозе 1,2 л/га + Даш, 1,2 л/га в посевах подсолнечника с гибридом НК Неома уничтожало однолетние двудольные сорняки, такие как пикульник обыкновенный и горец шероховатый.

2. Внекорневая обработка посевов масличных культур жидкими минеральными удобрениями способствовала увеличению их продуктивного потенциала. Максимальная урожайность ярового рапса за три года исследований была зафиксирована на варианте Лебозол-РапсМикс: 21,4–24,2 ц/га (предшественник – озимая пшеница) и 21,9–26,3 (яровая пшеница), увеличение семян относительно варианта без обработки составило соответственно 21,7 % (4,2 ц/га) и 25,7 % (5,0 ц/га). В среднем по опыту с подсолнечником максимальная урожайность отмечена на вариантах с действием некорневой подкормки Лебозол-экспресс-ОптиКэр – 32,5 ц/га на фоне такого предшественника, как озимая пшеница (прибавка +3,8 ц/га) и 30,7 ц/га – на фоне такого предшественника, как яровая пшеница (3,3 ц/га).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Виноградов Д.В.* Эффективность химпрополки ярового рапса на семена // Защита и карантин растений. – 2010. – № 1. – С. 33–35.
2. *Гулидова В.А., Зубкова Т.В.* Испытания сортов и гибридов ярового рапса в Лесостепи ЦЧР // Земледелие. – 2012. – № 7. – С. 41–42.
3. *Гулидова В.А., Зубкова Т.В.* Эффективность микроудобрений на посевах ярового рапса // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 29–30.
4. *Functional* properties of rapeseed flour, concentrates and isolate / F. Sosulsky [et al.] // Journal of Food Science. – 1976. – Vol. 41, N 6. – P. 1349–1352.
5. *Singh R. K., Singh R. P., Singh M. K.* Weed control in rapeseed and mustard crops - Review // Agricultural reviews. – 2013. – Vol. 34, N 1. – P. 36–49.
6. *Toniolo L., Mosca G.* Il Colza, 3rd ed. – Reda: Rome, Italy, 1986. – P. 76–105.
7. *Rapparini G.* Weeds control in rapeseed with preventive treatments. Inf. Agric. – 2007. – Vol. 34. – P. 73–76.
8. *Зубкова Т.В., Виноградов Д.В.* Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помета и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1 (53). – С. 46–54.
9. *Системы* обработки почв / М.М. Крючков, А.С. Мастеров, Д.В. Виноградов [и др.]. – Горки; Рязань: Book Jet, 2021. – 268 с.
10. *Peculiarities* of growing gold-of-pleasure for oilseeds and its use in feed production in the non-chernozem zone of Russia / D.V. Vinogradov, E.I. Lupova [et al.] // Amazonia Investiga. – 2018. – Vol. 7, N 16. – P. 37–45.
11. *Щур А.В., Валько В.П., Виноградов Д.В.* Экологические последствия развития интенсивного земледелия в Республике Беларусь // Проблемы региональной экологии. – 2016. – № 3. – С. 36–40.
12. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1973. – 336 с.

REFERENCES

1. Vinogradov, D.V., *Zashchita i karantin rasteniy*, 2010, No. 1, pp. 33–35. (In Russ.)
2. Gulidova V.A., Zubkova T.V., *Zemledelie*, 2012, No. 7, pp. 41–42. (In Russ.)
3. Gulidova V.A., Zubkova T.V., *Zemledelie*, 2012, No. 6, pp. 29–30. (In Russ.)
4. Sosulsky F. et al., Functional properties of rapeseed flour, concentrates and isolate, *Journal of Food Science*, 1976, Vol. 41, No. 6, pp. 1349–1352.
5. Singh R.K., Singh R.P., Singh M.K., Weed control in rapeseed and mustard crops – Review, *Agricultural reviews*, 2013, Vol. 34, No. 1, pp. 36–49.
6. Toniolo L., Mosca G., *Il Colza*, 3rd ed., Reda: Rome, Italy, 1986, pp. 76–105.
7. Rapparini G., Weeds control in rapeseed with preventive treatments, *Inf. Agric.*, 2007, Vol. 34, pp. 73–76.
8. Zubkova T.V., Vinogradov D.V., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2021, No. 1 (53), pp. 46–54. (In Russ.)
9. Kryuchkov M.M., Masterov A.S., Vinogradov D.V. i dr., *Sistemy obrabotki pochv* (Soil treatment systems), Gorki-Ryazan': Book Jet, 2021, 268 p.
10. Vinogradov D.V., Lupova E.I. et al., Peculiarities of growing gold-of-pleasure for oilseeds and its use in feed production in the non-chernozem zone of Russia, *Amazonia Investiga*, 2018, Vol. 7, No. 16, pp. 37–45.
11. Shchur A.V., Val'ko V.P., Vinogradov D.V., *Problemy regional'noj ekologii*, 2016, No. 3, pp. 36–40. (In Russ.)
12. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Kolos, 1973, 336 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-102-110
УДК 633.111

ДОНОРЫ АЛЛЕЛЯ PPD-D1A ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА СКОРОСПЕЛОСТЬ

С.Б. Лепехов, кандидат сельскохозяйственных наук
Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия
E-mail: sergei.lepehov@yandex.ru

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, скороспелость, урожайность, элементы структуры урожая, аллель *Ppd-D1a*, селекция, исходный материал.

Реферат. *Аллель нечувствительности к фотопериоду Ppd-D1a широко распространен среди сортов яровой мягкой пшеницы экваториальных и субэкваториальных стран. В российских сортах яровой мягкой пшеницы данный аллель практически не обнаружен. Аллель Ppd-D1a сокращает период «всходы – колошение» у мягкой пшеницы и может быть использован в селекции на скороспелость. В 2021 и 2022 гг. в полевых условиях изучено 40 сортов с аллелем Ppd-D1a по урожайности. Среди них отобрано 11 сортов (AC Vista, AC Taber, Buck Fogon, Cunningham, DL-803-2, Odeta, Tigre, Sasia, Sunstar, Sunstate и Zingmai), сформировавших урожайность на уровне местных стандартов. Для всех 11 сортов подтверждено наличие аллеля Ppd-D1a при помощи ПЦР-анализа. Местные стандарты обладали аллелем Ppd-D1b. Вышеперечисленные 11 сортов испытаны в 2023 г. в полевых условиях. Изучение проведено по продолжительности периода «всходы – колошение», высоте растения, количеству колосков в главном колосе, озерненности главного колоса, массе 1 000 зерен, массе зерна главного колоса и побегов кущения, $К_{хоз}$, урожайности, содержанию белка и клейковины в зерне. Десять из 11 сортов имели достоверно более низкую урожайность относительно стандартов (от -23 до -58 %). Практически все исследуемые сорта характеризовались существенно меньшей высотой растения (от -16 до -43 см), меньшей массой 1 000 зерен (от -3,8 до -13,5 г), большим $К_{хоз}$ (до +8,0 процентных пунктов) и меньшей продуктивностью главного колоса (от -0,02 до -0,52 г), чем стандарты. Сорт Sunstar, на протяжении двух лет формировавший урожайность на уровне стандарта Алтайская 70, рекомендуется в качестве донора аллеля Ppd-D1a в селекции яровой мягкой пшеницы на скороспелость. Кластерный анализ, проведенный на основе рассмотренных признаков, отнес сорта с аллелем Ppd-D1a и Ppd-D1b к двум разным группам.*

PPD-D1A ALLELE DONORS FOR SPRING SOFT WHEAT FOR EARLINESS

S.B. Lepekhov, candidate of agricultural sciences
Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russia
E-mail: sergei.lepehov@yandex.ru

***Keywords*:** spring soft wheat, earliness, yield, yield components, *Ppd-D1a* allele, plant breeding, initial material.

Abstract. *The photoperiod-insensitive allele Ppd-D1a is widespread among spring soft wheat of subequatorial and equatorial countries. This allele is practically not found in Russian spring soft wheat cultivars. The allele Ppd-D1a decrease period from seedling to heading in soft wheat and can be used in breeding for earliness. Fourty cultivars with the allele Ppd-D1a have been studied in the field conditions for yield in 2021 and 2022. Eleven cultivars (AC Vista, AC Taber, Buck Fogon, Cunningham, DL-803-2, Odeta, Tigre, Sasia, Sunstar, Sunstate and Zingmai), which have yield at the level of standards, were selected among them. Using PCR-analysis the presence of the Ppd-D1a allele was confirmed for all 11 cultivars. Local checks have the Ppd-D1b allele. Above mentioned 11 cultivars were tested in field condition in 2023. Cultivars were estimated for* interval from seedling to heading*, plant height, spikelet number per spike, kernel number per spike, thousand kernel weight, grain weight per main spike and tiller spikes, harvest index, yield, protein and gluten content in grain. Ten out of 11 cultivars had significantly lower yield than standards (from -23 to 58 %). Almost all cultivars were characterized with significantly lower plant height (from -16 to -43 cm), lower thousand kernel weight (from -3.8 to -13.5 g), higher harvest index (to +8.0 percent point) and lower grain weight per main spike (from -0.02 to -0.52 g), than standards. Sunstar cultivar, which had yield at the level of standard cultivar Altaiskaya 70, is recommended as a donor of the Ppd-D1a allele in spring soft wheat breeding for earliness. Cluster analysis carried out on the basis of the considered traits classified cultivars with the Ppd-D1a and Ppd-D1b alleles in two different groups.*

Селекция на скороспелость актуальна для многих регионов возделывания яровой мягкой пшеницы в России [1–5]. Хорошо известна положительная взаимосвязь между продолжительностью вегетационного периода и урожайностью. Однако необходимость сокращения вегетации обусловлена, как правило, коротким безморозным периодом [5], эпифитотиями листостебельных болезней [1], засухой [6] или чрезмерными осадками в конце вегетации, вызывающими снижение продовольственных и посевных качеств зерна [2].

Исследователи указывают на дефицит количества скороспелых сортов в Западной Сибири [6]. В связи с этим важны поиск и оценка исходного материала для создания ранне- и среднеспелых сортов, адаптированных к местным условиям [3]. Актуальная научная проблема состоит в поиске новых источников скороспелости для селекции [7].

Время колошения у пшеницы контролируется тремя генетическими системами: гены *Vrn* отвечают за реакцию на яровизирующие температуры, гены *Ppd* контролируют чувствительность к фотопериоду и гены *Eps* обуславливают скороспелость как таковую (earliness *per se*) [8]. Показано, что самые скороспелые сорта несут минимум три доминантных гена *Vrn* [9]. Однако такие генотипы характеризуются низкой урожайностью [10]. Вероятно, поэтому у 75 % сибирских сортов яровой мягкой пшеницы реакция на яровизацию контролируется двумя доминантными генами *Vrn-A1* и *Vrn-B1*, а у 25 % – только одним геном *Vrn-A1* или *Vrn-B1* [4]. В целом по России полиморфизм генов *Vrn* минимален [11].

Надежно установлено, что аллель *Ppd-D1a*, обуславливающий нечувствительность к короткому световому дню, ускоряет время наступления колошения у пшеницы при длинном световом дне [12, 13]. Среди российских сортов яровой мягкой пшеницы аллель *Ppd-D1a* встречается крайне редко [11]. Однако в Канаде частота аллеля *Ppd-D1a* у сортов яровой мягкой пшеницы значительна и достигает 72 % [13]. Вероятно, использование доноров аллеля *Ppd-D1a* позволит расширить разнообразие генов яровой мягкой пшеницы в селекции на скороспелость [14].

Цель исследования: изучить сорта яровой мягкой пшеницы, обладающие аллелем *Ppd-D1a*, по комплексу хозяйственно ценных признаков и выделить среди них исходный материал для селекции на скороспелость.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперимент проведен на опытном поле ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» (ФГБНУ ФАНЦА) в 2021–2023 гг. Двадцать сортов зарубежной селекции яровой мягкой пшеницы: Cunningham, Krichauff, Silverstar, Sunstar, Sunstate (Австралия), Buck Fogon (Аргентина), Artur Nick (Испания), AC Corine, AC Drummond, AC Karma AC Taber, AC Vista (Канада), Indexa (Марокко), Mixteco S82, Sasia, Seri, Seri M82 (Мексика) Annapurna 3 (Непал), Tigre (Португалия), Owens (США) изучены в полевых условиях в 2021 г. Аналогичный эксперимент по изучению 20 других сортов зарубежной селекции: PF 8237, Wellstead (Австралия), Evros (Греция), Califa Sur, Horzal (Испания), DL-803-2, DWR 162 (Индия), Funello (Италия), Zingmai (Китай), Local (Марокко), Bacanora, Huasteco M81, Turaco (Мексика), Eufrates, Roxo (Португалия), Chris, Fuldwin (США), Odeta (Чехия) и образцов под названием Eslenlea и RL 345 – проведен в 2022 г. Выбор сортов был обусловлен данными о наличии у них аллеля *Ppd-D1a* в научной литературе [15–17] и базе данных GRIS [18]. Сорта изучены по следующим признакам: продолжительность периода «всходы–колошение», высота растения, количество колосков в главном колосе, озерненность главного колоса, масса 1 000 зерен, масса зерна главного колоса и побегов кущения, $К_{хоз}$, урожайность, содержание белка и клейковины в зерне. Стандартами служили среднеранний сорт Алтайская 70 и среднепоздний сорт Степная нива.

Посев проведен во второй декаде мая по паровому предшественнику ручной сеялкой РС-1М на делянках площадью 0,9 м^2. Норма высева – 500 зерен на 1 м^2. Повторность трехкратная с рендомизацией внутри блока. Уборку осуществляли вручную с последующим обмолотом на пучково-сноповой молотилке.

Для подтверждения наличия у изученных сортов аллеля *Ppd-D1a* был проведен ПЦР-анализ. Выделение геномной ДНК проводилось из 3–5 дневных проростков пшеницы с использованием готового набора реактивов Diamond DNA Plant kit. Для определения аллельного состояния гена *Ppd-D1* использованы праймеры, разработанные J. Beales с соавторами [19]. Для проведения ПЦР использовали набор БиоМастер HS-Taq ПЦР-Color (2×). Полимеразная цепная реакция проведена в амплификаторе QuantStudio 5 0.2ML. Амплифицированные фрагменты ДНК фракционировали методом горизонтального электрофореза в 1,2%-м агарозном геле в 1×TAE буфере в течение 40 мин при напряжении в 90 В. Гель окрашивали с помощью бромистого этидия для последующей визуализации. В качестве маркера молекулярного веса использовали «ДНК маркер Step 100». Результаты амплификации детектированы в системе гель-документации Quantum-ST5.

Одиннадцать сортов с аллелем *Ppd-D1a*, сформировавшие урожайность на уровне или выше соответствующих стандартов в 2021 и 2022 гг. (AC Taber, AC Vista, Buck Fogon, Cunningham, DL-803-2, Sasia, Sunstar, Sunstate, Tigre, Odeta и Zingmai), на завершающем этапе были изучены в 2023 г. в полевых условиях по вышеописанным признакам.

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа по схеме рендомизированных блоков. Для проведения кластерного анализа исходные данные трансформировались путем стандартизации: $(X_i - X)/S$, где X_i – значение i-го признака, X – среднее значение i-го признака по всему набору сортов, S – стандартное отклонение по всему набору сортов. Кластеризация сортов проведена на основе евклидовых расстояний по методу Варда.

Погодные условия 2021 г. можно охарактеризовать как умеренно засушливые с ранневесенней и позднелетней засухой. Пик осадков в 2021 г. пришелся на июнь, что способствовало хорошему кущению и закладке продуктивного колоса. Для 2022 г. отмечен дефицит осадков в начале вегетации. Период июнь–август был достаточно благоприятен для роста пшеницы. В 2023 г. в мае наблюдался дефицит осадков, что привело к поздневесенней засухе. Несмотря на повышенную температуру воздуха в июне и июле, количество осадков соответствовало норме. Обильные осадки во второй декаде августа вызвали прорастание зерна в колосе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2021 г. урожайность на уровне стандартов сформировали лишь 8 сортов из 20, а в 2022 г. – только 3 сорта из 20. Для всех 11 сортов при помощи ПЦР-анализа подтверждено наличие аллеля *Ppd-D1a*, а для местных стандартов – аллеля *Ppd-D1b*.

Хотя, как было указано выше, аллель *Ppd-D1a* сокращает период «всходы – колошение», наибольшая частота возникновения скороспелых особей в гибридной популяции ожидается от скрещивания сортов с наилучшей выраженностью данного признака. Среди изученных сортов фаза колошения наступила быстрее среднераннего стандарта Алтайская 70 (39 дней) у Buck Fogon, Sunstate (на 5–6 дней) и Odeta (на 3–4 дня). Для среднепоздних сортов отмечена значительная вариация продолжительности периода «всходы – колошение». Если у Степной нивы величина данного признака в 2023 г., по сравнению с 2021 г., снизилась на четыре дня (48–44 дня), то у сортов Cunningham, Sasia, AC Taber и Tigre на шесть (48–42 дня), семь (50–43 дня), десять (52–42 дня) и восемь (52–44 дня) соответственно.

Практически все 11 сортов характеризовались существенно меньшей длиной соломины, меньшей массой 1 000 зерен, большим $K_{хоз}$ (табл. 1), меньшей продуктивностью главного колоса (табл. 2).

Высота растения – важный показатель сорта, связанный с его засухоустойчивостью [20]. Все рассматриваемые сорта с аллелем *Ppd-D1a* характеризовалось достоверно меньшей высотой растения относительно стандартов (от -16 до -43 см). Самыми высокорослыми были Buck Fogon, Zingmai и AC Taber (63–79 см). Учитывая новое направление селекции яровой мягкой пшеницы в Алтайском крае на короткостебельность, данные сорта представляют несомненный интерес. Показано, что аллель *Ppd-D1a* ассоциирован со снижением высоты растений [21]. Низкорослость – это результат «зеленой революции», начавшейся в Мексике в середине XX в. Аллель гена *Ppd-D1a*, обеспечивающий нечувствитель-

ность к короткому световому дню, позволял на низких широтах получать несколько урожаев в год, поэтому был подхвачен отбором. Практически все рассматриваемые в опыте сорта в своей родословной так или иначе связаны с генетическим материалом из CIMMYT. Вполне возможно, что короткостебельность рассматриваемых нами генотипов была унаследована от мексиканских сортов.

По количеству колосков в главном колосе исследуемые сорта часто уступали стандартам в соответствующих группах спелости, что совпадает с известным из литературных данных негативным влиянием аллеля *Ppd-D1a* на количество колосков в колосе [22]. В то же время лишь Buck Fogon и Sunstate достоверно уступили стандартам также и по озерненности главного колоса. Этот факт свидетельствует о более высокой средней озерненности колоска у сортов с аллелем *Ppd-D1a*. Причина большей озерненности колоска заключается скорее в низкорослости, чем в присутствии аллеля *Ppd-D1a* [23].

Масса 1000 зерен, косвенно оцениваемая через крупность и выполненность зерна, – один из признаков, по которому прорабатывается селекционный материал яровой мягкой пшеницы в ФГБНУ ФАНЦА. Все рассматриваемые сорта в один или оба года изучения характеризовались низким значением данного признака, однако следует выделить три сорта, у которых отмечено наибольшее значение по массе 1000 зерен: Buck Fogon (35,8; 40,2 г), AC Vista (36,8; 41,1 г) и AC Taber (36,3; 37,1 г).

Достоверно более высокий $K_{хоз}$ (доля зерна в биомассе растения), зафиксированный в один или оба года изучения у всех сортов (до +8,0 процентных пунктов), за исключением Sunstate и Zingmai, также, вероятно, является следствием короткостебельности сортов с аллелем *Ppd-D1a*, которые сравнивались с традиционными высокостебельными местными сортами [24].

Таблица 1

Агрономические показатели сортов яровой мягкой пшеницы с аллелем *Ppd-D1a* и местных стандартов, 2021–2023 гг.

Agronomic performance of spring soft wheat varieties with the *Ppd-D1*a allele and local standards, 2021–2023

Сорт	Высота растения, см		Кол-во колосков в колосе, шт.		Озерненность главного колоса, шт.		Масса 1000 зерен, г		$K_{хоз}$, %	
	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023
Среднеранние и скороспелые сорта (период «всходы – колошение» 33–39 дней)										
Алтайская 70	96,7	87,3	13,6	13,8	22,6	26,2	42,7	41,0	39,3	37,7
Buck Fogon	71,7	71,3	11,5	10,3	23,1	21,4	40,2	35,8	45,3	42,5
Sunstate	63,3	56,0	10,0	9,5	19,5	20,4	29,7	28,5	38,6	39,5
AC Vista	67,0	60,0	11,6	11,6	23,2	24,6	41,1	36,8	44,1	41,8
Sunstar	70,3	64,3	14,0	12,1	25,7	25,0	34,3	31,8	42,9	41,1
Алтайская 70	*96,7*	87,3	*15,1*	13,8	*28,6*	26,2	*41,6*	41,0	*38,6*	37,7
DL-803-2	*60,3*	58,7	*13,4*	12,5	*34,5*	28,2	*31,9*	27,5	*44,1*	36,4
Odeta	*62,0*	61,0	*12,0*	12,1	*25,9*	26,3	*38,6*	33,5	*48,0*	45,7
Zingmai	*79,0*	71,7	*13,9*	13,0	*29,7*	29,8	*33,8*	30,7	*39,8*	39,1
Среднепоздние сорта (период «всходы – колошение» 42–44 дня)										
Степная нива	102,3	97,3	13,7	14,0	24,0	27,6	40,2	40,9	36,8	35,3
Cunningham	59,3	55,7	12,4	11,8	24,3	27,2	30,4	30,7	39,7	40,0
Sasia	67,7	58,0	13,7	13,4	24,9	24,4	36,7	32,4	39,6	37,1
AC Taber	69,7	63,3	15,1	14,5	30,7	30,5	36,3	37,1	40,4	42,2
Tigre	63,7	55,7	15,2	15,0	32,2	32,3	31,5	29,7	39,5	39,8
$НСР_{05}$	7,0	4,7	1,5	1,1	5,4	4,0	2,6	2,4	2,4	3,3
$НСР_{05}$, 2022 г.	11,1		2,02		–		5,7		4,2	

Примечание. Курсивом выделены данные за 2022 г.

Высокий потенциал продуктивности колоса, исходя из большего количества колосков в колосе и его озерненности, имели сорта Tigre и AC Taber. Однако только последний сформировал массу зерна главного колоса на уровне Степной нивы (см. табл. 2). Наибольшее снижение продуктивности главного колоса у исследуемых сортов яровой мягкой пшеницы отмечено в 2023 г., что связано с поздневесенней засухой.

Таблица 2

Продуктивность растения, содержание белка и клейковины в зерне и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы с аллелем *Ppd-D1a* и местных стандартов, 2021–2023 гг.
Plant productivity, protein and gluten content in grain and yield of spring soft wheat varieties with the *Ppd-D1a* allele and local standards, 2021–2023

Сорт	Масса зерна главного колоса, г		Масса зерна побегов кущения, г		Содержание белка в зерне, %		Содержание клейковины в зерне, %		Урожайность, г/м²	
	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023	2021, 2022	2023
Среднеранние и скороспелые сорта (период «всходы – колошение» 33–39 дней)										
Алтайская 70	0,99	1,12	0,42	0,38	12,7	14,7	24,7	36,6	459	332
Buck Fogon	0,96	0,77	0,69	0,61	13,3	12,9	26,9	34,0	418	252
Sunstate	0,57	0,60	0,74	0,80	16,3	17,0	31,4	40,0	414	256
AC Vista	0,98	0,88	0,72	0,47	13,7	14,3	26,7	34,1	465	183
Sunstar	0,90	0,82	0,48	0,32	15,1	16,1	28,7	37,7	428	333
Алтайская 70	*1,22*	1,12	*0,21*	0,38	*14,5*	14,7	*28,7*	36,6	*339*	332
DL-803-2	*1,17*	0,80	*0,43*	0,41	*13,1*	14,3	*25,3*	34,2	*306*	239
Odeta	*1,04*	0,92	*0,32*	0,56	*14,1*	13,9	*27,4*	33,5	*356*	251
Zingmai	*1,01*	0,93	*0,08*	0,66	*14,3*	12,9	*27,2*	30,0	*286*	218
Среднепоздние сорта (период «всходы – колошение» 42–44 дня)										
Степная нива	0,97	1,16	0,45	1,13	12,0	13,9	23,6	36,3	503	438
Cunningham	0,77	0,86	0,63	0,68	13,8	14,8	26,3	36,0	439	249
Sasia	0,93	0,81	0,49	0,64	14,5	16,3	28,2	36,6	437	185
AC Taber	1,18	1,14	0,60	0,64	12,9	14,1	24,6	33,6	438	250
Tigre	1,04	0,99	0,40	0,49	14,3	16,1	28,7	38,1	447	241
$НСР_{05}$	0,23	0,14	0,31	0,33	0,8	0,7	2,1	2,2	72	53
$НСР_{05}$, 2022 г.	–		–		0,8		1,8		–	

Примечание. Курсивом выделены данные за 2022 г.

Стабильно высокую массу зерна побегов кущения имел сорт Sunstate (+0,32; +0,42 г к Алтайской 70). Хотя в 2021 г. среднепоздние сорта обладали массой зерна с побегов кущения на уровне Степной нивы, в 2023 г. все они достоверно уступили данному стандарту.

Известно об отрицательной взаимосвязи урожайности и содержания белка в зерне пшеницы [25]. В связи с этим не удивительно массовое превосходство сортов с аллелем *Ppd-D1a* по содержанию белка в зерне при меньшем уровне урожайности относительно стандартов. Наибольшим значением данного показателя за два года исследования характеризовались: Sasia (14,5; 16,3 %), Sunstar (15,1; 16,1 %) и Sunstate (16,3; 17,0 %). По содержанию клейковины в зерне последний сорт также достоверно превосходил стандарт в оба года изучения (31,4; 40,0 %).

По уровню урожайности в 2021 и 2022 гг. 11 сортов с аллелем *Ppd-D1a* достоверно не уступали стандартам, а AC Vista и Odeta даже немного превзошли Алтайскую 70. В 2023 г. ситуация кардинальным образом изменилась: все сорта зарубежной селекции, за исключением Sunstar, сформировали урожайность ниже

стандартов соответствующих групп спелости (от -23% до -58 %), что, возможно, свидетельствует об их неудовлетворительной адаптации к сибирскому типу засухи.

Существенным недостатком, ограничивающим использование некоторых сортов с аллелем *Ppd-D1a* в селекции пшеницы для Сибири, выступает их неустойчивость к прорастанию зерна на корню, что наблюдалось в 2023 г. К таким сортам относятся DL-803-2, Tigre, Cunningham и Sasia.

Для наглядного представления различий между одиннадцатью исследованными сортами с аллелем *Ppd-D1a* и местными стандартами по комплексу признаков, был проведен кластерный анализ (диаграмма представлена на рисунке). Данный анализ отнес первые и вторые к разным кластерам. Рассматриваемые сорта с аллелем *Ppd-D1a* не были однотипными и также разделились на два субкластера. Первый субкластер (Buck Fogon, AC Vista, Odeta, Zingmai и AC Taber) включает преимущественно среднеранние сорта со средней длиной соломины, второй субкластер (Sunstate, Sunstar, DL-803-2, Cunningham, Sasia и Tigre) – как среднеранние, так и среднепоздние сорта с меньшей длиной соломины.

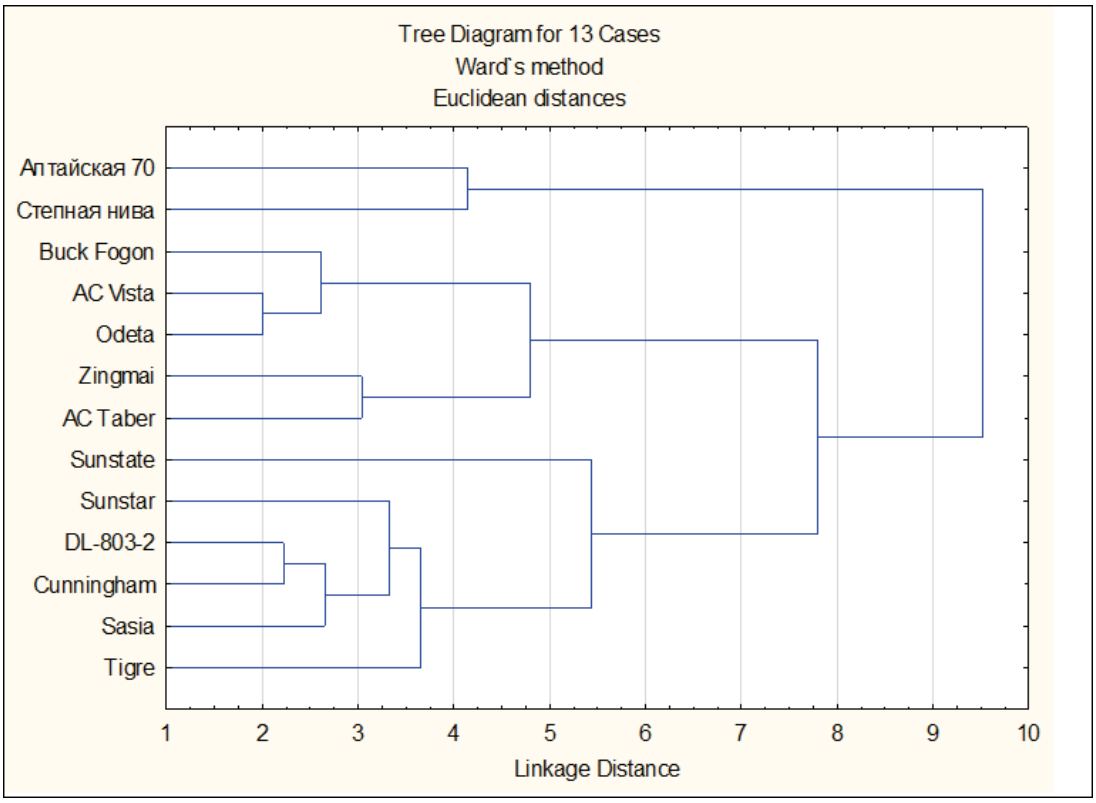


Диаграмма кластерного анализа 13 сортов яровой мягкой пшеницы на основе десяти морфобиологических признаков (2023 г.)

Cluster analysis diagram of 13 spring bread wheat varieties based on ten morphobiological traits (2023)

ВЫВОДЫ

1. Сорта Buck Fogon, Sunstate и Odeta выколашивались быстрее среднераннего стандартного сорта на 3–6 дней, но формировали достоверно меньшую по сравнению с ним урожайность в один из двух лет исследования.

2. Из одиннадцати изученных сортов с аллелем *Ppd-D1a* урожайность на уровне стандарта за два года изучения продемонстрировал сорт Sunstar. Он рекомендуется для селекции яровой мягкой пшеницы на скороспелость.

3. Для селекции по элементам структуры урожая рекомендуется сорт Sunstate (высокая продуктивность побегов кущения и наибольшее содержание белка и клейковины в зерне) и AC Taber (высокая продуктивность главного колоса и ее составляющих).

4. Сорта с аллелем *Ppd-D1a* однотипно отличались от местных стандартов при сравнении по агрономическим признакам, однако данные генотипы обладали разнообразием при сравнении друг с другом, о чем свидетельствует результат кластерного анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скороспелость* образцов яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья / Д.Ф. Асхадуллин, Д.Ф. Асхадуллин, Н.З. Василова [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – Т. 183, № 3. – С. 66–75.
2. *Сравнительная* оценка сортообразцов яровой мягкой пшеницы по комплексу признаков в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России / И.Н. Ворончихина, В.С. Рубец, В.В. Ворончихин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 10. – С. 32–38.
3. *Волкова Л.В.* Исходный материал для селекции сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 2 (39). – С. 7–16.
4. *Скороспелость* и морфотип сортов мягкой пшеницы Западной и Восточной Сибири / С.Э. Смоленская, В.М. Ефимов, Ю.В. Кручинина [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2022. – Т. 26, № 7. – С. 662–674.
5. *Сидоров А.В.* Селекция яровой пшеницы в Красноярском крае: монография. – Красноярск, 2018. – 208 с.
6. *Создание* конкурентоспособных сортов зерновых культур для условий Сибири / И.Е. Лихенко, Г.В. Артемова, Е.А. Салина [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 54. – С. 181–185.
7. *Identification* of genetic loci for early maturity in spring bread wheat using the association analysis and gene dissection / A.A. Kiseleva, I.N. Leonova, E.V. Ageeva [et al.] // PeerJ. – 2023. – Vol. 11. – P. e16109.
8. *Comparative* AFLP mapping of Triticum monococcum genes controlling vernalization requirement / J. Dubcovsky, D. Lijavetzky, L. Appendino [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. – 1998. – Vol. 97. – P. 968–975.
9. *Allelic* variation at the vernalization genes Vrn-A1, Vrn-B1, Vrn-D1, and Vrn-B3 in Chinese wheat cultivars and their association with growth habit / X.K. Zhang, Y.G. Xiao, Y. Zhang [et al.] // Crop Science. – 2008. – Vol. 48, No. 2. – P. 458–470.
10. *Stelmakh A.F.* Genetic systems regulating flowering response in wheat // Euphytica. – 1998. – Vol. 100. – P. 359–369.
11. *Каталог* мировой коллекции ВИР. Выпуск 815. Мягкая пшеница. Молекулярное тестирование аллелей Vrn- и Ppd-генов у допущенных к использованию в Российской Федерации селекционных сортов / Н.С. Лысенко, А.А. Киселева, О.П. Митрофанова [и др.]. – СПб.: ВИР, 2014. – 30 с.
12. *Pérez-Gianmarco T.I., Slafer G.A., González F.G.* Wheat pre-anthesis development as affected by photoperiod sensitivity genes (Ppd-1) under contrasting photoperiods // Functional plant biology. – 2018. – Vol. 45, Iss. 6. – P. 645–657.
13. *Phenotypic* effects of the flowering gene complex in Canadian spring wheat germplasm / A. Kamran, H.S. Randhawa, C. Pozniak [et al.] // Crop Science. – 2013. – Vol. 53, N 1. – P. 84–94.
14. *Лепехов С.Б.* Перспектива внедрения аллеля *Ppd-D1a* в сорта яровой мягкой пшеницы в России // Генетика. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 27–34.
15. *Eagles H.A., Cane K., Vallance N.* The flow of alleles of important photoperiod and vernalisation genes through Australian wheat // Crop and Pasture Science. – 2009. – Vol. 60, N 7. – P. 646–657.
16. *Genetic* variation for flowering time and height reducing genes and important traits in western Canadian spring wheat / H. Chen, N.P. Moakhar, M. Iqbal [et al.] // Euphytica. – 2016. – Vol. 208. – P. 377–390.
17. *Global* status of 47 major wheat loci controlling yield, quality, adaptation and stress resistance selected over the last century / J. Zhao, Z. Wang, H. Liu [et al.] // BMC Plant Biology. – 2019. – Vol. 19, N 1. – P. 1–14.
18. *Genetic* Resources Information System for Wheat and Triticale – URL: http://wheatpedigree.net.
19. *A pseudo-response* regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive Ppd-D1a mutant of wheat (Triticum aestivum L.) / J. Beales, A. Turner, S. Griffiths [et al.] // Theoretical and applied genetics. – 2007. – Vol. 115. – P. 721–733.

20. *Green* revolution ‘stumbles’ in a dry environment: Dwarf wheat with Rht genes fails to produce higher grain yield than taller plants under drought / S. Jatayev, A. Kurishbayev, L. Zotova [et al.] // Plant, Cell & Environment. – 2020. – Vol. 43, N 10. – P. 2355–2364.
21. *Effect* of variation for major growth habit genes on maturity and yield in five spring wheat populations / N.K. Blake, S.P. Lanning, J.M. Martin [et al.] // Crop Science. – 2009. – Vol. 49, N 4. – P. 1211–1220.
22. *Agronomic* performance of hard red spring wheat isolines sensitive and insensitive to photoperiod / J. Dyck, M. Matus-Cadiz, P. Hucl [et al.] // Crop science. – 2004. – Vol. 44, N 6. – P. 1976–1981.
23. *Floret* development in near isogenic wheat lines differing in plant height / D.J. Miralles, S.D. Katz, A. Colloca [et al.] // Field Crops Research. – 1998. –Vol. 59, N 1. – P. 21–30.
24. *Sakamoto T., Matsuoka M.* Generating high-yielding varieties by genetic manipulation of plant architecture // Current Opinion in Biotechnology. – 2004. –Vol. 15. – P. 144–147.
25. *Simmonds N.W.* Yields of cereal grain and protein // Experimental Agriculture. – 1996. – Vol. 32, N 3. – P. 351–356.

REFERENCES

1. Askhadullin D.F., Askhadullin D.F., Vasilova N.Z., Brykova A.N., *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 2022, Vol. 183, No. 3, pp. 66–75. (In Russ.)
2. Voronchikhina I.N., Rubets V.S., Voronchikhin V.V. Pyl’nev V.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, Vol. 35, No. 10, pp. 32–38. (In Russ.)
3. Volkova L.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2016, No. 2 (39), pp. 7–16. (In Russ.)
4. Smolenskaya S.E., Efimov V.M., Kruchinina Yu.V. Nemtsev B.F., Chepurnov G.Yu., Ovchinnikova E.S., Belan I.A., Zuev E.V., Zhou Chenxi, Piskarev V.V., Goncharov N., *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2022, Vol. 26, No. 7, pp. 662–674. (In Russ.)
5. Sidorov A.V., *Selektsiya yarovoi pshenitsy v Krasnoyarskom krae* (Spring wheat breeding in Krasnoyarsk krai), Krasnoyarsk, 2018, 208 p. (In Russ.)
6. Likhenko I.E., Artemova G.V., Salina E.A. Sovetov V.V., Likhenko N.N., Grigor”ev Yu.N., Bakharev A.V., Ponomarenko V.I., Kostikova I.V., Likhenko N.I., Ageeva E.V., Shraiber P.P., *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 54, pp. 181–185. (In Russ.)
7. Kiseleva A.A., Leonova I.N., Ageeva E.V. et al., Identification of genetic loci for early maturity in spring bread wheat using the association analysis and gene dissection, *PeerJ*, 2023, Vol. 11, pp. e16109.
8. Dubcovsky J., Lijavetzky D., Appendino L. et al., Comparative AFLP mapping of Triticum monococcum genes controlling vernalization requirement, *Theoretical and Applied Genetics*, 1998, Vol. 97, pp. 968–975.
9. Zhang X.K., Xiao Y.G., Zhang Y. et al., Allelic variation at the vernalization genes Vrn-A1, Vrn-B1, Vrn-D1, and Vrn-B3 in Chinese wheat cultivars and their association with growth habit, *Crop Science*, 2008, Vol. 48, No. 2, pp. 458–470.
10. Stelmakh A.F., Genetic systems regulating flowering response in wheat, *Euphytica*, 1998, Vol. 100, pp. 359–369.
11. Lysenko N.S., Kiseleva A.A., Mitrofanova O.P. Potokina E.K., *Katalog mirovoi kollektsii VIR. Vypusk 815. Myagkaya pshenitsa. Molekulyarnoe testirovanie allelei Vrn- i Ppd-genov u dopushchennykh k ispol’zovaniyu v Rossiiskoi Federatsii selektsionnykh sortov* (Catalogue of the VIR global collection. Issue 815. Bread wheat. Molecular testing of alleles of Vrn and Ppd genes in breeding varieties approved for use in the Russian Federation), Saint-Petersburg: VIR, 2014, 30 p. (In Russ.)
12. Pérez-Gianmarco T.I., Slafer G.A., González F.G., Wheat pre-anthesis development as affected by photoperiod sensitivity genes (Ppd-1) under contrasting photoperiods, *Functional plant biology*, 2018, Vol. 45, Iss. 6, pp. 645–657.
13. Kamran A., Randhawa H.S., Pozniak C. et al., Phenotypic effects of the flowering gene complex in Canadian spring wheat germplasm, *Crop Science*, 2013, Vol. 53, No. 1, pp. 84–94.
14. Lepekhov S.B., *Genetika*, 2022, Vol. 58, No. 1, pp. 27–34. (In Russ.)
15. Eagles H.A., Cane K., Vallance N., The flow of alleles of important photoperiod and vernalisation genes through Australian wheat, *Crop and Pasture Science*, 2009, Vol. 60, No. 7, pp. 646–657.
16. Chen H., Moakhar N.P., Iqbal M., et al., Genetic variation for flowering time and height reducing genes and important traits in western Canadian spring wheat, *Euphytica*, 2016, Vol. 208, pp. 377–390.

17. Zhao J., Wang Z., Liu H., et al., Global status of 47 major wheat loci controlling yield, quality, adaptation and stress resistance selected over the last century, *BMC Plant Biology*, 2019, Vol. 19, No. 1, pp. 1–14.
18. http://wheatpedigree.net
19. Beales J., Turner A., Griffiths S., et al., A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive Ppd-D1a mutant of wheat (Triticum aestivum L.), *Theoretical and applied genetics*, 2007, Vol. 115, pp. 721–733.
20. Jatayev S., Kurishbayev A., Zotova L. et al., Green revolution 'stumbles' in a dry environment: Dwarf wheat with Rht genes fails to produce higher grain yield than taller plants under drought, *Plant, Cell & Environment*, 2020, 43, No. 10, pp. 2355–2364.
21. Blake N.K., Lanning S.P., Martin J.M. et al., Effect of variation for major growth habit genes on maturity and yield in five spring wheat populations, *Crop Science*, 2009, Vol. 49, No. 4, pp. 1211–1220.
22. Dyck J., Matus-Cadiz M., Hucl P. et al., Agronomic performance of hard red spring wheat isolines sensitive and insensitive to photoperiod, *Crop science*, 2004, Vol. 44, No. 6, pp. 1976–1981.
23. Miralles D.J., Katz S.D., Colloca A. et al., Floret development in near isogenic wheat lines differing in plant height, *Field Crops Research*, 1998, Vol. 59, No. 1, pp. 21–30.
24. Sakamoto T., Matsuoka M., Generating high-yielding varieties by genetic manipulation of plant architecture, *Current Opinion in Biotechnology*, 2004, Vol. 15, pp. 144–147.
25. Simmonds N.W., Yields of cereal grain and protein, *Experimental Agriculture*, 1996, Vol. 32, No. 3, pp. 351–356.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-111-119
УДК 630*181.351 (581.5)

ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ЗОНИРОВАНИИ ЛЕСНОГО ФОНДА ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСОВ ГОРОДА БАРНАУЛА

А.А. Малиновских, кандидат биологических наук, доцент
Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия
E-mail: almaa1976@yandex.ru

***Ключевые слова*:** пригородные леса, сосновые насаждения, видовой состав, эколого-ценотические группы, антропогенная трансформация.

Реферат. *На лесотипологической основе изучен видовой состав сосновых насаждений в лесном фонде Барнаульского лесничества, входящего в пригородную территорию г. Барнаула. Всего выявлено 165 видов сосудистых растений, из которых древостой образуют 3 вида, подлесок – 26, живой напочвенный покров – 136 видов. В составе нижних ярусов леса найдено 39 синантропных видов растений (23,6 % всей флоры), в том числе в подлеске 14 антропофитных видов, в живом напочвенном покрове 5 антропофитных и 20 апофитных. Более богатый флористический состав характерен для типа леса травяной бор по сравнению с типом леса свежий бор, что связано с разными лесорастительными условиями. Антропогенные факторы приводят к увеличению видового состава сосновых насаждений вблизи городской черты: более интенсивно – в травяном бору (r = -0,74), менее интенсивно – в свежем бору (r = -0,39). По мере удаления от черты города в сосновых насаждениях меняется соотношение эколого-ценотических компонентов: доля лесного компонента увеличивается, синантропного – снижается. Среди синантропных растений нижних ярусов отмечены агрессивные виды (Malusbaccata (L.) Borkh., AcernegundoL.), которые сильно трансформируют лесную среду, препятствуя возобновлению главной породы. Значение индекса синантропизации видового состава сосновых насаждений меняется по мере удаления от черты города: 0,28–0,29 – 0-4 км; 0,12–0,20 – 4-11 км; 0,03–0,07 – 15–43 км, поэтому лесной фонд лесничества можно условно разделить на три зоны – высокой, умеренной и слабой антропогенной трансформации. Рекомендуем использовать полученные данные для комплексного зонирования территории Барнаульского лесничества с целью сохранения пригородных лесных массивов.*

ECOLOGICAL AND CENOTIC APPROACH TO ZONING OF THE FOREST FUND OF SUBURBAN FORESTS OF BARNAUL

A.A. Malinovskikh, Candidate of Biological Sciences
Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia
E-mail: almaa1976@yandex.ru

***Keywords*:** suburban forests, pine plantations, species composition, ecological and cenotic groups, anthropogenic transformation.

Abstract. *The species composition of pine plantations in the forest fund of the Barnaul Forestry, which is part of the suburban territory of Barnaul, was studied on a forest typological basis. A total of 165 species of vascular plants have been identified, of which 3 species form a stand, 26 species of undergrowth, and 136 species of living ground cover. 39 synanthropic plant species (23.6 % of the total flora) were found in the lower tiers of the forest, including 14 anthropophytic species in the undergrowth, 5 anthropophytic and 20 apophytic species in the living ground cover. A richer floral composition is characteristic of the grass forest type, compared with the fresh forest type, which is associated with different forest growing conditions. Anthropogenic factors lead to an increase in the species composition of pine plantations near the city limits – more intensively in the grass forest (r = -0.74), less intensively in the fresh forest (r = -0.39). As we move away from the city limits, the ratio of ecological and cenotic components changes in pine plantations: the share of the forest component increases, the share of the synanthropic component decreases. Among the synanthropic plants of the lower tiers, aggressive species (Malus baccata (L.) Borkh., Acer negundo L.) are noted, which strongly transform the forest environment, preventing the renewal of the main breed. The value of the index of synanthropization of the species composition of pine plantations varies with distance from the city limits: 0,28–0,29 – 0–4 km; 0,12–0,20 – 4–11 km; 0,03–0,07 – 15–43 km, therefore, the forest fund of the forestry can be divided into 3 zones – high, moderate and weak anthropogenic transformation. We recommend using the data obtained for complex zoning of the territory of the Barnaul forestry in order to preserve suburban forests.*

На современном этапе развития крупных и средних городов значение городских и пригородных зеленых насаждений трудно переоценить. Сохраняя комфортную среду в городе и его пригородах искусственные и естественные зеленые насаждения снижают негативное воздействие шума и аэропромвыбросов, являются местом отдыха горожан. Многие аспекты озеленения, сохранения, ведения специализированного хозяйства в зеленых насаждениях города и пригорода рассмотрены с точки зрения науки и практики в нашей стране и за рубежом [1–4].

Вблизи г. Барнаула, расположенного в устье р. Барнаулки, начинается Барнаульский ленточный бор – один из четырех лесных массивов, входящих в систему ленточных боров Западной Сибири. Этот лесной массив имеет почвозащитное и водоохранное значение, а вблизи городской черты выполняет рекреационную функцию. В непосредственной близости к ленточному бору в пределах городского округа Барнаула расположено более десятка населенных пунктов, завод «Ротор», садоводческие товарищества, проходит железная и многочисленные автомобильные дороги. В последние десятилетия, по мере увеличения количества автомобильного транспорта и застройки территории, прилегающей к лесному массиву, усиливается нагрузка на лесные насаждения. Ряд исследователей отмечают негативные процессы, происходящие в сосновых насаждениях пригородного бора Барнаула, в частности активное расселение клёна ясенелистного, ухудшение состояния почв [5, 6]. В Алтайском крае реализуется план по увеличению площади зеленых зон г. Барнаула, Бийска и др., однако отсутствует схема зонирования, концепция развития пригородных лесов, рекомендации по ведению лесного хозяйства с целью их сохранения.

Цель работы – на основе эколого-ценотического анализа видового состава растений сосновых насаждений пригородного лесного массива г. Барнаула выполнить зонирование его территории по степени антропогенной трансформации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводились на постоянных пробных площадях (ПП), заложенных в лесном фонде Барнаульского лесничества Алтайского края. Для изучения флористических и эколого-ценотических особенностей были выбраны два наиболее распространенных типа леса – свежий бор, насаждения которого формируются в свежих лесорастительных условиях, и травяной бор, насаждения которого развиваются во влажных лесорастительных условиях. Древостои в свежем бору чистые сосновые или с единичной примесью березы повислой, II–III класса бонитета. Древостои в травяном бору смешанные с преобладанием сосны, доля березы по запасу составляет 10–30 %, I–II класса бонитета. Древостои преимущественно разновозрастные, состоящие из 2–3 поколений, где преобладает поколение спелых и перестойных древостоев (возраст 100–130 лет). Всего заложено 36 пробных площадей, которые расположены на разном удалении от черты г. Барнаула (рис. 1).

Растительный покров лесных насаждений изучали в течение вегетационного периода 2023 г. методом геоботанических описаний и учетных площадок [7]. Выявляли видовой состав каждого компонента леса (древостой, подрост, подлесок, живой напочвенный покров (ЖНП)) с указанием проективного покрытия, обилия, густоты, средней высоты. Анализ выполнен применительно к высшим сосудистым растениям (без мхов и лишайников). Названия видов сосудистых растений даны по сводке С.К. Черепанова [8]. Были составлены объединенные списки видов по типам леса и удалению от черты города, растения из которых распределялись по эколого-ценотической принадлежности с учетом их местообитаний [9, 10]. Степень антропогенной трансформации видового состава сосновых насаждений определяли с помощью индексов синантропизации [11].

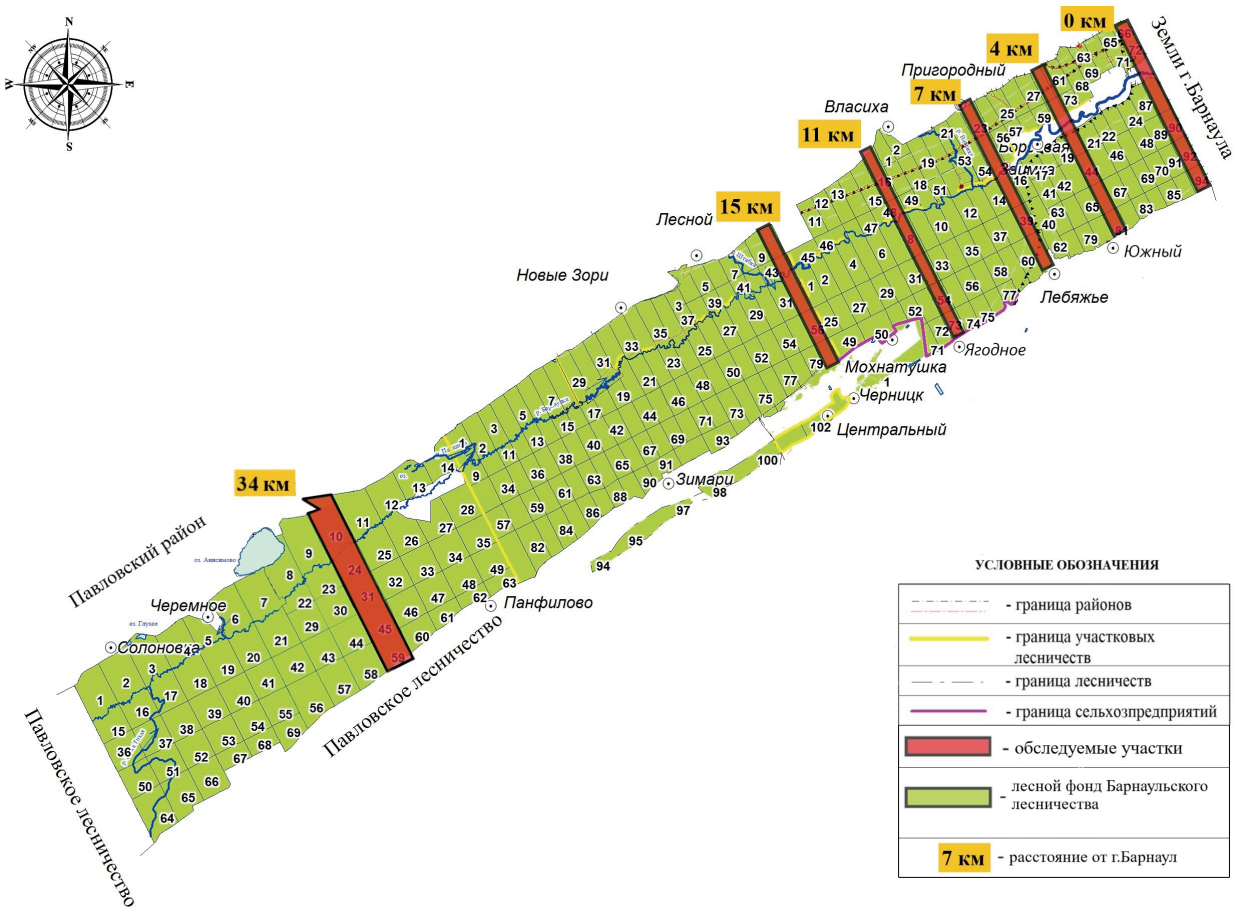


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей в Барнаульском лесничестве
Layout of trial areas in Barnaul forestry

Результаты исследований и их обсуждение

Лес состоит из отдельных компонентов, каждый из которых выполняет определенные функции и тесно связан с другими компонентами и окружающей средой. В пригородных лесах к факторам природной среды добавляются антропогенные, которые влияют как на компоненты, так и на соотношения между ними [12–14]. В сосновых пригородных лесах г. Барнаула нами выявлена связь между расстоянием от черты города и числом видов в составе отдельных компонентовв насаждениях (табл. 1).

Таблица 1

Количественная характеристика компонентов насаждения в составе пригородных сосновых лесов г. Барнаула
Quantitative characteristics of forest components in suburban pine plantations of Barnaul

Число видов в составе компонента насаждения	Расстояние от города, км											
	0		4		7		11		15		34	
	ТрБ	СвБ	ТрБ	СвБ	ТрБ	СвБ	ТрБ	СвБ	ТрБ	СвБ	ТрБ	СвБ
Древостой	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Подрост	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Подлесок	21	19	15	11	16	13	14	9	11	9	11	9
Живой напочвенный покров	85	57	67	44	54	48	59	57	50	48	50	50
И т о г о	109	79	85	57	73	64	76	69	64	60	64	62

Примечания. 1. Виды из состава подроста совпадают с видами из состава древостоя. 2. ТрБ – травяной бор, СвБ – свежий бор.

Общий список видов изученных сосновых насаждений насчитывает 165 видов, из них в составе древостоя – 3, подлеска – 26, ЖНП – 136 видов. Отмечено присутствие 39 видов синантропных видов растений: в подлеске – 14 (все антропофиты – адвентивные), в ЖНП – 25, из них 5 антропофитов (адвентивных), 20 апофитов (местные виды нарушенных местообитаний – свалки, пустыри, обочины дорог, гари, вырубки).

Увеличение числа видов в подлеске и живом напочвенном покрове вблизи городской черты связано с интенсивной деятельностью человека (рекреация, свалки, садовые участки и частные дома, строительство, дорожная сеть и др.), которая приводит к заносу «нелесных» видов. Тип леса травяной бор на расстоянии 0–7 км от г. Барнаула имеет увеличенный видовой состав по сравнению со свежим бором. На расстоянии 15 и 34 км происходит гораздо меньше нарушений лесной среды, и видовой состав в обоих типах леса становится стабильным. По мере приближения к черте города в насаждениях травяного бора происходит интенсивное увеличение видового состава (r = -0,74), а в условиях свежего бора оно менее интенсивное (r = -0,39), что можно объяснить разными типами лесорастительных условий.

Эколого-ценотические группы, в которые входят отдельные виды растений сосновых пригородных лесов г. Барнаула, для удобства сравнения и анализа мы объединили в более крупные компоненты. Всего выделено четыре эколого-ценотических компонента: лесной, луговой, степной и синантропный. Каждый из компонентов включает более мелкие эколого-ценотические группы видов растений. Например, лесной компонент состоит из собственно лесной, опушечно-лесной, болотно-лесной, лугово-лесной, прибрежно-лесной эколого-ценотической группы. В табл. 2 представлена эколого-ценотическая структура флоры сосновых пригородных лесов г. Барнаула в условиях типа леса свежий бор.

Таблица 2

Распределение видов флоры пригородных сосновых лесов г. Барнаула по эколого-ценотическим группам в свежем бору

Distribution of flora species of suburban pine forests of Barnaul by ecological and cenotic groups in fresh forest

Эколого-ценотическая группа	Расстояние от города, км											
	0		4		7		11		15		34	
	КВ	%	КВ	%	КВ	%	КВ	%	КВ	%	КВ	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Лесной компонент												
Лесная	22	28,9	23	42,6	28	45,2	27	41,0	25	43,8	28	47,5
Опушечно-лесная	14	18,4	11	20,4	13	21,0	16	24,2	15	26,2	12	20,3
Лугово-лесная	6	7,9	5	9,3	6	9,7	4	6,1	4	7,0	5	8,5
Прибрежно-лесная	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,8	1	1,7
Болотно-лесная	1	1,3	–	–	1	1,6	–	–	–	–	2	3,4
И т о г о	43	56,5	39	72,3	48	77,5	47	71,3	45	78,8	48	81,4
Луговой компонент												
Луговая	2	2,6	–	–	1	1,6	1	1,5	1	1,8	1	1,7
Опушечно-луговая	9	11,9	4	7,4	6	9,6	7	10,6	3	5,3	1	1,7
И т о г о	11	14,5	4	7,4	7	11,2	8	12,1	4	7,1	2	3,4
Степной компонент												
Степная	1	1,3	–	–	–	–	–	–	1	1,8	2	3,4
Лугово-степная	3	4,0	2	3,6	–	–	3	4,5	2	3,5	3	5,1
Опушечно-степная	1	1,3	–	–	–	–	1	1,5	2	3,5	2	3,4
И т о г о	5	6,6	2	3,6	0	0	4	6,0	5	8,8	7	11,9
Синантропный компонент												
Адвентивная	10	13,2	5	9,3	5	8,1	3	4,5	3	5,3	1	1,7

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Апофитная	7	9,2	4	7,4	2	3,2	4	6,1	–	–	1	1,7
И т о г о	17	22,4	9	16,7	7	11,3	7	10,6	3	5,3	2	3,4
Всего видов	76	100	54	100	62	100	66	100	57	100	59	100

*Примечание.*КВ – количество видов; % – доля от общего количества видов.
Note. KV – the number of species; % - the share of the total number of species.

Под влиянием города и его пригородов меняется соотношение между эколого-ценотическими компонентами в насаждениях свежего бора. По мере удаления от черты города происходит увеличение доли лесного компонента с 56,5 % (0 км) до 81,4 % (34 км). Этот компонент является наиболее значимым для сосновых лесов, так как содержит местные лесные виды из состава древостоя (*Pinus sylvestris* L.), подлеска (*Sorbus sibirica* Hedl., *Salix caprea* L. и др.), живого напочвенного покрова (*Vaccinium vitis-idaea* L., *Fragaria vesca* L., *Orthilia secunda* (L.) Houseи др.). Вдали от черты города (34 км) нами обнаружены лесные виды (*Diphaziastrum complanatum* (L.) Holub, *Pyrolaminor* L.), не встреченные на других участках и образующие редкие сообщества в напочвенном покрове.

Интенсивное посещение пригородного массива вблизи черты города обусловливает внедрение в состав сообществ так называемых нелесных видов, входящих в луговой, степной и синантропный компоненты в свежем бору. Луговые (*Dactylis glomerata* L., *Poa pratensis* L.) и опушечно-луговые виды (*Agrimonia pilosa* Ledeb., *Origanum vulgare* L. и др.) встречаются вдоль дорог и троп, на полянах и прогалинах. Доля степных (*Carex supina* Willd. Ex Wahlenb. и др.) и лугово-степных (*Achillea asiatica* Serg. и др.) видов зависит и от близости к черте города и от увлажнения почвы. Настоящими индикаторами всех видов антропогенной нагрузки на пригородные участки свежего бора являются синантропные виды растений, среди которых есть адвентивные (*Malusbaccata* (L.) Borkh., *Acer negundo*L., *Erigeron canadensis* L. идр.) иапофитные(*Potentilla argentea* L., *Linaria vulgaris* Mill., *Plantago media* L. и др.). Отдельные синантропные виды не просто нежелательны, но опасны для лесных экосистем (*Acernegundo* L.), т.к. сильно трансформируют лесные сообщества, нарушают ход естественного возобновления леса[15], уменьшают биоразнообразие и устойчивость.

В табл. 3 представлена эколого-ценотическая структура флоры сосновых пригородных лесов г. Барнаула в условиях типа леса травяной бор.

Таблица 3

Распределение видов флоры пригородных сосновых лесов г. Барнаула по эколого-ценотическим группам в травяном бору
Distribution of flora species of suburban pine forests of Barnaul by ecological and cenotic groups in the grass forest

Эколого-ценотическая группа	Расстояние от города, км											
	0		4		7		11		15		34	
	КВ	%	КВ	%	КВ	%	КВ	%	КВ	%	КВ	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Лесной компонент												
Лесная	29	26,8	25	29,3	26	36,1	29	38,2	27	42,9	27	42,9
Опушечно-лесная	22	20,3	21	24,7	17	23,6	19	25,0	15	23,8	18	28,6
Лугово-лесная	8	7,4	8	9,4	5	6,9	7	9,2	5	7,9	7	11,1
Прибрежно-лесная	–	–	1	1,2	1	1,4	1	1,3	–	–	1	1,6
Болотно-лесная	2	1,9	1	1,2	1	1,4	1	1,3	–	–	–	–
И т о г о	61	56,4	56	65,8	50	69,4	57	75,0	47	74,6	53	84,2

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Луговой компонент												
Луговая	3	2,8	2	2,4	–	–	1	1,3	2	3,2	1	1,6
Опушечно-луговая	15	13,9	12	14,1	9	12,5	6	7,9	8	12,7	5	7,8
И т о г о	18	16,7	14	16,5	9	12,5	7	9,2	10	15,9	6	9,4
Степной компонент												
Степная	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Лугово-степная	3	2,8	1	1,2	–	–	1	1,3	1	1,6	1	1,6
Опушечно-степная	2	1,9	1	1,2	1	1,4	–	-	1	1,6	1	1,6
И т о г о	5	4,7	2	2,4	1	1,4	1	1,3	2	3,2	2	3,2
Синантропный компонент												
Адвентивная	12	11,1	7	8,2	8	11,1	5	6,6	3	4,7	1	1,6
Апофитная	12	11,1	6	7,1	4	5,6	6	7,9	1	1,6	1	1,6
И т о г о	24	22,2	13	15,3	12	16,7	11	14,5	4	6,3	2	3,2
Всего видов	108	100	85	100	72	100	76	100	63	100	63	100

Примечание. КВ – количество видов; % – доля от общего количества видов.
Note. KV – the number of species; % - the share of the total number of species.

В условиях травяного бора в пригородных сосновых лесах г. Барнаула флористический состав заметно богаче, чем в условиях свежего бора. Так, на расстоянии 0 км от черты города в травяном бору нами отмечено 108 видов, тогда как в свежем бору 76 видов, т.е. на 29,6 % больше. Увеличение видового состава сообществ в травяном бору связано с большей влажностью и содержанием элементов питания в почве, поэтому здесь находят для себя экологическую нишу многие характерные виды лесостепи Западной Сибири, а также виды нарушенных местообитаний и заносные виды.

Основу видового состава сообществ травяного бора в пригородных лесах г. Барнаула, так же как в свежем бору, составляют растения из лесного компонента и входящих в него эколого-ценотических групп: лесной (*Pinus sylvestris* L., *Carex macroura* Meinsch., *Pulmonaria mollis* Wulf. ex Hornem. и др.), опушечно-лесной (*Rubus idaeus* L., *Geranium sylvaticum* L. и др.), лугово-лесной (*Padus avium* Mill., *Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel и др.) и проч. Эти виды преобладают в составе основных компонентов леса, кроме отдельных участков вблизи городской черты (0–7 км), где их вытесняют агрессивные синантропные виды (*Acer negundo*, *Malus baccata*).По мере удаления от черты города доля видов, входящих в состав лесного компонента в травяном бору, увеличивается с 56,4 (0 км) до 84,2 % (34 км), проявляя сходную закономерность со свежим бором.

Соотношение лугового, степного и синантропного эколого-ценотических компонентов в травяном бору является сходным с таковым в свежем бору, кроме некоторых особенностей. К ним относится меньшая доля видов степного компонента, так как в травяном бору сформированы влажные лесорастительные условия, поэтому отсутствуют виды степной эколого-ценотической группы. В небольшом количестве отмечены виды лугово-степной (*Poa angustifolia* L., *Veronica spicata* L., *Achillea asiatica*) и опушечно-степной (*Cotoneaster melanocarpos* Fischerex Blytt, *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.) групп. По этой же причине в травяном бору увеличена доля видов лугового и синантропного компонентов, среди которых много растений мезофитов и мезогигрофитов, т.е. влажных местообитаний.

Нами были рассчитаны индексы синантропизации видового состава обследованных участков свежего и травяного бора на разном расстоянии от г. Барнаула (рис. 2).

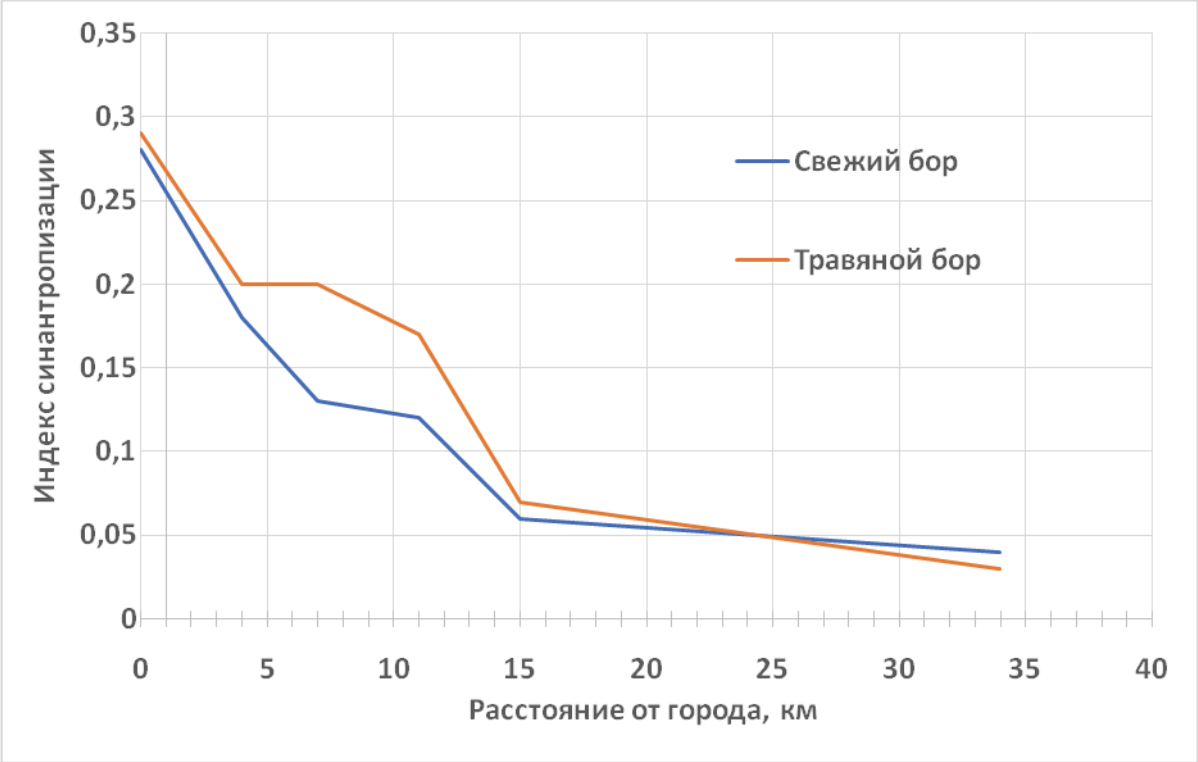


Рис. 2. Значение индексов синантропизации видового состава сосновых насаждений в пригородном массиве г. Барнаула

The value of the indices of synanthropization of the species composition of pine plantations in the suburban area of Barnaul

Вблизи черты города (0 км) значения индекса синантропизации составляют 0,28–0,29, это означает, что доля синантропных видов во флоре сосновых насаждений достигает 22,4 в свежем бору и 22,2 % в травяном. Вблизи города (0–4 км) флора сосновых насаждений в значительной степени трансформирована, поэтому здесь целесообразно выделить зону с интенсивной (высокой) трансформацией видового состава лесных сообществ. На расстоянии 4–11 км от города значения индекса синантропизации находятся в пределах 0,12–0,20, так как доля синантропных видов на участках лесного массива составляет 10,6–16,7 % от общего числа видов. В этих пределах (4–11 км) целесообразно выделить зону умеренной трансформации видового состава лесных сообществ. На расстоянии 15–34 км и более от города значения индекса синантропизации флоры не превышают 0,03–0,07, так как доля синантропных видов менее 10 % от общего числа видов. Целесообразно на этом расстоянии (более 15 км) выделить зону слабой трансформации видового состава лесных сообществ.

ВЫВОДЫ

1. В пригородных сосновых лесах г. Барнаула обнаружено 165 видов растений, из которых 3 вида образуют древостой, 26 – подлесок, 136 – живой напочвенный покров. В составе нижних ярусов леса присутствуют синантропные виды: в подлеске – 14, в живом напочвенном покрове – 25 видов, составляя 23,6 % от всей флоры насаждений.

2. По мере приближения к городской черте флора сосновых насаждений активно дополняется нелесными видами растений – луговыми, степными, синантропными. При этом более интенсивно процесс антропогенной трансформации видового состава происходит в травяном бору (r = -0,74), менее интенсивно – в свежем бору (r = -0,39), что связано с различием в лесорастительных условиях.

3. По мере удаления от городской черты (0–34 км) в сосновых насаждениях происходит увеличение доли лесного компонента (с 56,4 до 84,2 %) и снижение доли синантропного компонента (с 22,4 до 3,2 %).

4. Участки соснового лесного массива, расположенные на расстоянии 15 км и более от г. Барнаула, являются малонарушенными и содержат в своем составе редкие лесные виды и сообщества.

5. По степени антропогенной трансформации видового состава пригородных сосновых насаждений г. Барнаула изученную территорию можно условно разделить на три зоны: 1 – интенсивной трансформации (0–4 км от города); 2 – умеренной трансформации (4–15 км от города); 3 – слабой трансформации (15–43 км от города).

6. Полученные данные рекомендуется использовать для ландшафтного зонирования пригородной зеленой зоны г. Барнаула и разработке рекомендаций по ведению лесного и лесопаркового хозяйства.

Работа выполнена в Алтайском государственном аграрном университете в рамках гранта Российского научного фонда. Соглашение № 23-26-00198.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gundersen V., Vistad O.I.* Public opinions and use of various types of recreational infrastructure in boreal forest settings // Forests. –2016. –Vol. 7, N 6. – P. 113. – https://doi.org/10.3390/f7060113.
2. *Multifunctionality* in practice: measuring differences in urban woodland ecosystem properties via functional traits / F. Cardou, I. Aubin, B. Shipley [et al.] // Urban Forestry & Urban Greening. – 2022. – Vol. 68. – P. 127453. –https://doi:10.1016/j.ufug.2021.127453.
3. *Грязькин А.В., Кочкин А.А., Петрик В.В.* Динамика состава растительности нижних ярусов в парковых фитоценозах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – № 6 (360). – С. 46–55.
4. *Эколого-биологические* аспекты оценки древесных растений в озеленении Новосибирска / С.Х. Вышегуров, А.П. Беланова, Н.В. Пономаренко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 1 (58). – С. 17–26.
5. *Черная* книга флоры Сибири / А.Л. Эбель, А.Н. Куприянов, Т.О. Стрельникова [и др.]. – Новосибирск: Гео, 2016. – 440 с.
6. *Хлуденцов Ж.Г.* Влияние рекреации на почвы городского лесничества // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 7 (69). – С. 30–35.
7. *Методы* изучения лесных сообществ. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
8. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
9. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И.* Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2002. – 264 с.
10. *Двораковский М.С.* Экология растений. – М.: Высш. шк., 1983. – 190 с.
11. *Горчаковский П.Л.* Антропогенные изменения растительности: мониторинг, оценка, прогнозирование // Экология. – 1984. – № 5. – С. 3–16.
12. *Referowska-Chodak E.* Pressures and threats to nature related to human activities in european urban and suburban forests // Forests. – 2019. – Vol. 10, N 9. – P. 765. – DOI: 10.3390/f10090765.
13. *Urbanization* Affects the Richness of Invasive Alien Trees But Has Limited Influence on Species Composition / G. Heringer, L. Del Bianco Faria, A.U. Araújo // UrbanEcosystems. – 2022. – Vol. 3. – P. 753–763. – https://doi:10.1007/s11252-021-01189-1.
14. *Lynch A.J.* Predictors of tree cover in residential open space: a multi-scale analysis of suburban Philadelphia // Urban Ecosystems. – 2022. – Vol. 5. – P. 1515–1526. – DOI: 10.1007/s11252-022-01244-5.
15. *Малиновских А.А.* Влияние клёна ясенелистного (AcernegundoL.) на естественное возобновление сосны обыкновенной в Барнаульском ленточном бору // Лесной вестник / ForestryBulletin. – 2023. – № 3. – С. 48–56.

REFERENCES

1. Gundersen V., Vistad O.I., Public opinions and use of various types of recreational infrastructure in boreal forest settings, *Forests*, 2016, Vol. 7, No. 6, pp. 113, https://doi.org/10.3390/f7060113.

2. Cardou F., Aubin I., Shipley B., Lapointe M., Multifunctionality in practice: measuring differences in urban woodland ecosystem properties via functional traits, *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, Vol. 68, pp. 127453, https://doi:10.1016/j.ufug.2021.127453.
3. Gryaz'kin A.V., Kochkin A.A., Petrik V.V., *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2017, No. 6 (360), pp. 46–55. (In Russ.)
4. Vyshegurov S.Kh., Belanova A.P., Ponomarenko N.V. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2021, No. 1 (58), pp. 17–26. (In Russ.)
5. Ebel' A.L., Kupriyanov A.N., Strel'nikova T.O. [i dr.], *Chernaya kniga flory Sibiri* (The Black Book of the Flora of Siberia), Novosibirsk: Geo, 2016, 440 p.
6. Khludentsov Zh.G., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, No. 7 (69), pp. 30–35. (In Russ.)
7. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* (Methods of studying forest communities), Sankt-Peterburg: NIIKhimii SPbGU, 2002, 240 p.
8. Cherepanov S.K., *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* (Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)), Sankt-Peterburg: Mir isem'ya, 1995, 992 p.
9. Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I., *Sovremennaya nauka o rastitel'nosti* (Modern science of vegetation), Moscow: Logos, 2002, 264 p.
10. Dvorakovskii M.S., *Ekologiya rastenii* (Plant ecology), Moscow: Vysshaya shkola, 1983, 190 p.
11. Gorchakovskii P.L., *Ekologiya*, No. 5, 1984, pp. 3–16. (In Russ.)
12. Referowska-Chodak E., Pressures and threats to nature related to human activities in european urban and suburban forests, *Forests*, 2019, Vol. 10, No. 9, pp. 765, https://doi:10.3390/f10090765.
13. Heringer G., Del Bianco Faria L., Araújo A.U., Botan A.L.M., Zenni R.D., Villa P.M., Urbanization Affects the Richness of Invasive Alien Trees But Has Limited Influence on Species Composition, *Urban Ecosystems*, 2022, Vol. 3, pp. 753–763, https://doi:10.1007/s11252-021-01189-1.
14. Lynch A.J., Predictors of tree cover in residential open space: a multi-scale analysis of suburban Philadelphia, *Urban Ecosystems*, 2022, Vol. 5, pp. 1515–1526, https://doi:10.1007/s11252-022-01244-5.
15. Malinovskikh A.A., *Lesnoi vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, No. 3, pp. 48–56. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-120-131
УДК 635.655

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧИСТОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА, НИТРОГЕНАЗНОЙ АКТИВНОСТИ И ПОЛЕВОЙ ВСХОЖЕСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ СОИ И ИХ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ С ОСНОВНЫМИ ВЕГЕТАЦИНОННЫМИ ИНДЕКСАМИ

М.А. Мартынов, научный сотрудник
А.А. Полухин, доктор экономических наук, профессор РАН
С.В. Кирюхин, кандидат сельскохозяйственных наук
ФГБНУ ФНЦ Зернобобовых и крупяных культур, Орёл, Россия
E-mail: office@vniizbk.ru

Ключевые слова: соя, чистая продуктивность фотосинтеза, селекционный процесс, нитрогеназная активность, полевая всхожесть, вегетационные индексы, фотосинтез, азотофиксация.

Реферат. *В статье представлена часть опыта по изучению селекционного материала сои на полях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур». Исследования проводились в годы, характеризующиеся контрастными (различными) метеоусловиями, а представленные в исследовании сорта и селекционные номера различались между собой по признакам типа роста, скороспелостью и ветвистостью. Отображены такие признаки, как чистая продуктивность фотосинтеза и нитрогеназная активность, исследованные в фазу образования бобов. Определены сортообразцы, имеющие в фазу образования бобов в 2022 и 2023 гг. наибольшие показатели чистой продуктивности фотосинтеза, а также отмечены селекционные номера с низкой чистой продуктивностью фотосинтеза. Определена нитрогеназная активность изучаемых сортообразцов в фазу образования бобов в 2022 и 2023 гг. Выявлены сортообразцы, обладающие наибольшей нитрогеназной активностью, а также селекционные номера, имеющие низкие значения данного показателя. Обнаружены генотипы сои, у которых нитрогеназная активность в фазу образования бобов имеет минимальную годовую вариацию, что в перспективе можно применить для дальнейшей селекции. Вычислены корреляционные зависимости между чистой продуктивностью фотосинтеза, нитрогеназной активностью, полевой всхожестью и вегетационными индексами (NDVI, NDRE, ClGreen, GNDVI, MCARI), а также определена фаза развития сои, при которой вегетационные индексы наиболее оптимально применимы для оценки всхожести.*

STUDY OF NET PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY, NITROGENASE ACTIVITY AND FIELD GERMINATION FOR DIFFERENT SOYBEAN GENOTYPES AND THEIR CORRELATIONS WITH THE MAIN VEGETACINON INDICES

M.A. Martynov, researcher
A.A. Polukhin, Doctor of Economics, Professor of the Russian Academy of Sciences
S.V. Kiryukhin, Candidate of Agricultural Sciences
Federal State Budgetary Institution Federal Research Center of Leguminous and Cereal Crops, Orel, Russia
E-mail: office@vniizbk.ru

Keywords: soybean, net photosynthetic productivity, breeding process, nitrogenase activity, field germination, vegetation indices, photosynthesis, nitrogen fixation.

Abstract. *The article presents part of the experience in the study of soybean breeding material in the fields of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops». The studies were conducted in years characterized by contrasting (different) weather conditions, and the varieties and breeding numbers presented in the study differed among themselves in the traits of growth type, precocity and branching. The traits such as net photosynthetic productivity and nitrogenase activity investigated in the bean formation phase were depicted. The cultivars with the highest net photosynthetic productivity at the bean formation phase in 2022 and 2023 were identified, and breeding numbers with low net photosynthetic productivity were noted. Nitrogenase activity of the studied cultivars in the phase of bean formation in 2022 and 2023 was*

determined. Variety samples possessing the highest nitrogenase activity were identified, as well as selection numbers with low values of this indicator. Soybean genotypes with minimal annual variation of nitrogenase activity in the phase of bean formation were found, which can be used for further selection in the future. Correlations between net photosynthetic productivity, nitrogenase activity, field germination and vegetation indices (NDVI, NDRE, ClGreen, GNDVI, MCARI) were calculated, and the phase of soybean development at which vegetation indices are most optimally applicable for germination assessment was determined.

Увеличение производства сои в мире становится возможным благодаря более интенсивной работе в области селекции и семеноводства. В России усиление процессов, направленных на расширение производства сои, имеет лимитирующие факторы – контрастные погодные условия и необходимость внедрения новых перспективных сортов [1]. Фотосинтез считается одним из перспективных направлений в селекционной работе, являясь источником восполняемой энергии на земле, который обеспечивает жизнедеятельность растительных организмов [2, 3]. Фотосинтез предоставляет энергию для процесса азотофиксации, в то же время действие клубеньковых бактерий имеет влияние на интенсивность фотосинтетических процессов [4]. В связи с этим изучение симбиотической деятельности сои также важно в селекционном процессе [5]. Перспективным направлением в сельскохозяйственных исследованиях является использование вегетационных индексов, получаемых с помощью беспилотных летательных аппаратов [6, 7]. Определение полевой всхожести – достаточно трудоемкий процесс, требующий затрат времени и личного присутствия на поле. Изучение корреляционных зависимостей между индексами, полученными в различные фазы роста сои и полевой всхожестью, позволит в перспективе получить инструмент для более быстрой оценки этого параметра.

Цель работы: изучить показатели чистой продуктивности фотосинтеза, нитрогеназной активности и полевой всхожести различных сортообразцов сои, найти корреляционные связи между изучаемыми признаками и основными вегетационными индексами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые опыты были заложены в селекционном севообороте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЗБК) на базе селекционно-семеноводческого центра сои в период с 2022 по 2023 гг. с таким предшественником, как чистый пар. Зяблевая вспашка проводилась в сентябре на глубину 23–25 см. Весной было проведено боронование средними боронами в два следа, культивация почвы – на глубину 6–8 см с последующим прикатыванием кольчато-шпоровыми катками, предпосевная культивация – на глубину 5–6 см.

Агрохимическая характеристика почвы: почвы тёмно-серые лесные тяжелосуглинистые среднеокультуренные. Содержание гумуса – 4,71 %, что соответствует среднему содержанию. Почвы среднекислые pH HCl – 4,9. Содержание подвижных форм фосфора и калия – 225,8 мг/кг (высокое содержание) и 112,2 мг/кг почвы (среднее содержание) соответственно.

Исходный материал для выявления лучших доноров ценных признаков для последующей селекции подбирался с опорой на основные принципы моделирования сорта [8] и включал в себя разнообразные морфотипы по длительности вегетационного периода, высоте растения, типу роста, характеру ветвистости и динамике развития. Объектом исследования являлись 39 сортообразцов сои. Условно они были разделены по скороспелости на три группы: 2-я – группа ультроскороспелые (000), с вегетационным периодом 91–100 дней; 3-я группа очень скороспелые (00), с вегетационным периодом 101–110 дней; 4-я группа скороспелые (0), с вегетационным периодом 111–120 дней. Внутри групп спелости шло разделение по типу роста (детерминантный, индетерминантный), где, в свою очередь, проходило разделение по характеру ветвистости (ветвистый, ограниченноветвистый). Сорта СК Дока, Белгородская 7, Зуша, ЕС Командор являлись полудетерминантными и в работе рассматривались в одних подгруппах с детерминантными сортообразцами (табл. 1).

Растения сои высевались широкорядным способом с междурядьями 45 см в четырехкратной повторности, методом систематизированного размещения. Площадь делянок – 10 м^2, норма высева всхожих семян – 600 тыс. шт./га. Посев осуществлялся сеялкой Клен-1,5. Опыт закладывался согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова [9]. Сев опытных делянок в 2022 г. проведен 26 мая, в 2023 г. – 11 мая.

Уход за посевами выполняли в соответствии с рекомендуемыми для региона мероприятиями.

Полевую всхожесть оценивали по методике проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами [10].

Таблица 1

Характеристика опытного материала
Characteristics of the experimental material

Сортообразец	Год регистрации заявки на допуск	Год включения в реестр	Учреждение-оригинатор	Регион допуска
1	2	3	4	5
2-я группа спелости				
Ветвистые индетерминанты				
ОАК Пруденс	2011	2015	HURON COMMODITIES INC (Канада)	5, 7, 12
Мезенка	2012	2016	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	5, 10
СибНИИК 315	1987	1991	СФНЦА РАН	4, 7, 9, 10, 11
Ограниченно ветвистые индетерминанты				
ОАК Визион	–	–	SECAN ASSOCIATION (Канада)	–
Тайга	2015	2019	SEVITA GENETICS (Канада)	12
Кураж	2023	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	3, 5
Ветвистые детерминанты/полудетерминанты				
СК Дока	2017	2020	ООО КОМПАНИЯ «СОЕВЫЙ КОМПЛЕКС»	5, 6, 9, 10
Белгородская 7	2008	2011	ФГБОУ ВО БЕЛГОРОДСКИЙ ГАУ	5
Чера 1	2006	2009	ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока	4, 7
Ограниченно ветвистые детерминанты				
Алиса	2019	2022	ООО «АСТ»	3
Ланцетная	2001	2005	ФГБНУ ФНЦ ЗБК, ФГБОУ ВО БЕЛГОРОДСКИЙ ГАУ	3, 5
Орлея	2021	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	3, 5
3-я группа спелости				
Ветвистые индетерминанты				
Осмонь	2015	2018	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	5
ЭН Аргента	2017	2020	ООО «ЭКОНИВА-СЕМЕНА»	3, 5, 7
Зельда	–	–	SEMENCES PROGRAIN INC (Канада)	–
Шатиловская 17	2017	2020	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	5
Ограниченно ветвистые индетерминанты				
Эльта	–	–	SEMENCES PROGRAIN INC (Канада)	–
СГ 20	–	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	–
Ветвистые детерминанты				
Аляска	2014	2017	SEMENCES PROGRAIN INC (Канада)	5
Л 85	–	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	–

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Ограниченноветвистые детерминанты				
СГ 50 №3	–	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	–
Лидер 1	2016	2019	ООО «АСТ»	5
Оникс 57	2022	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	
СГ 58 №2	–	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	–
4-я группа спелости				
Ветвистые индетерминанты				
Слава	2022	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	5, 6
Сирелия	2016	2019	SOCIETE RAGT 2N S.A.S. (Франция)	5, 6
ЕС Навигатор	2014	2017	LIDEA FRANCE (Франция)	5, 12
Ограниченно ветвистые индетерминанты				
Лидер 10	2017	2020	ООО «АСТ»	5
Амадеус	2014	2017	SEMENCES PROGRAIN INC (Канада)	5, 6, 12
СГ 39	–	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	–
СГ 39 №2	–	–	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	–
Антигуа	–	–	SAATBAU LINZ (Австрия)	–
Ветвистые детерминанты/полудетерминанты				
Белгородская 48	1988	1992	ФГБОУ ВО БЕЛГОРОДСКИЙ ГАУ	5
Зуша	2011	2015	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	5
Асука	2014	2017	SEMENCES PROGRAIN INC (Канада)	5, 6, 12
Ограниченно ветвистые детерминанты/полудетерминанты				
ЕС Командор	2015	2018	LIDEA FRANCE (Франция)	5, 6
Максус	2013	2014	SEMENCES PROGRAIN INC (Канада)	5, 6
Припять	2003	2007	ООО «СОЯ–СЕВЕР КО» (Белоруссия)	2, 3, 5
Устя	2010	2015	ННЦ «Институт земледелия УААН» (Украина)	5

При оптической оценке растительного покрова сои использовали квадрокоптер DJI Matrice 200 v2 с установленной ГНСС L1/L2 антенной. Дрон с пыле- и влагозащитой способен осуществлять полеты при скорости ветра до 20 м/с. Квадрокоптер оснащен модифицированной камерой DJI X4S 20Mp (5 472 × 3 648) с трехосевым стабилизатором. Полеты осуществлялись с помощью мобильного приложения DJI Pilot. При помощи специального подвеса устанавливалась мультиспектральная камера MicaSense Altum с сенсором освещенности, имеющим встроенный GPS-приемник. Камера одновременно делает снимки в шести каналах: blue (B) (475 nm center, 32 nm bandwidth), green (G) (560 nm center, 27 nm bandwidth), red (R) (668 nm center, 16 nm bandwidth), red edge (RE) (717 nm center, 12 nm bandwidth), near-IR (NIR) (842 nm center, 57 nm bandwidth) и LWIR (thermal infrared 8–14 μm). Разрешение спектральных каналов 3.2 MP (2 064 × 1 544) и термального 6 канала: 160 × 120.

Для получения высокоточных данных использовался мультичастотный GNSS-приемник EMLID Reach RS2. Подключение происходило к базовой станции «OREL» в Орловской области, расположенной на расстоянии менее 20 км. Для проверки точности данных использовалось десять контрольных точек (GCP) размером 50*50. GCP были равномерно расположены на поле

с учетом перепадов высот. Точные координаты контрольных точек были зафиксированы с помощью мультичастотного геодезического приемника EMLID Reach RS2 в режиме Survey. Мониторинг посевов осуществлялся на высоте 50 м. Фотограмметрическая обработка данных осуществлялась в программном обеспечении Pix4DMapper. Для обработки rgb-данных использовался шаблон 3D Maps, при обработке мультиспектральным данных использовали шаблон Ag Multispectral.

Фенологические наблюдения осуществляли, опираясь на методику проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами [11]. Отмечались фазы, начиная с появления всходов и заканчивая уборочной спелостью. Оценка велась каждые 2 дня.

Оценка морфологических и хозяйственных признаков проводилась в фазы бутонизации, цветения, образования бобов и полной спелости с помощью методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [12] и методических указаний по изучению коллекции зерновых бобовых культур [13].

Учет урожая зеленой массы и накопления сухого вещества выполнялся согласно методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами [14].

Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и фотосинтетический потенциал (ФП) рассчитывали согласно методике, предложенной А.А. Ничипоровичем с сотрудниками [15].

Нитрогеназную активность определяли этиленовым методом, предложенным Г.С. Посыпановым [16] с помощью хроматографа ФГХ-1.

Площадь ассимиляционной поверхности листьев определяли с помощью портативного измерителя площади листьев – LI-COR LI-3000C.

Содержание белка и жира семян определяли на приборе Infratec 1241 Grain Analyzer, работающем с цельным зерном без его размола с помощью инфракрасного сканирования.

Учёт урожайности осуществляли, опираясь на методику ВИР [17].

Уборку проводили в фазу уборочной спелости бобов комбайном Wintersteiger.

Лабораторный опыт по изучению особенности роста и развития растений сои в фазах VE и VC закладывался в климатической камере «Фитотрон ЛиА-2» методом рулонов, предусмотренным ГОСТ 12038–84 [18]. Опыт проводился в двух вариантах: оптимальных и стрессовых условиях. Первый вариант включал в себя проращивание семян и последующий рост растений при оптимальной температуре +20 °С в течение 14 сут. Второй вариант имитировал кратковременное похолодание: проращивание осуществлялось при температуре +20 °С, на 9-й день температура понижалась до +9,5 °С, на 12-й день вновь устанавливалось +20 °С. Дальнейший опыт длился до 14-го дня. Повторность трёхкратная. Температурные значения, а также продолжительность похолодания, используемые в опыте, были получены путем анализа средней десятилетней температуры в Орловской области в период сроков посева сои. Измерение длины побегов проводилось на 7-й и 14-й день.

Дисперсионный, корреляционный и вариационный анализы экспериментальных данных были проведены с помощью современных компьютерных программ и с учетом методических рекомендаций Б.А. Доспехова [9]. Для 39 испытываемых сортообразцов уровень достоверности сильной степени корреляции (r = 0,7) составляет 0,000015, что значительно меньше уровня значимости 0,05 (при ошибке корреляции Sr = 0,17).

Годы исследования характеризовались контрастными (различными) метеоусловиями. Метеоусловия вегетационного периода летом 2022 г. были благоприятными для развития сои и слабозасушливыми (ГТК = 1,01), однако осенний период отличался низкими температурами, вследствие чего созревание большинства сортов сои, представленных в опыте, замедлилось, а посевные качества полученных семян снизились (табл. 2). Погодные условия вегетационного периода 2023 г. были засушливыми (ГТК = 0,74), но обильные осадки в предшествующий осенне-зимний период и весной способствовали накоплению максимального запаса влаги в почве (табл. 2).

Таблица 2

Метеорологические условия за вегетационный период сои 2022 г.
Meteorological conditions for the soybean growing season 2022

Месяц	Температура, °С		Сумма осадков, мм	
	Средняя многолетняя	Среднемесячная	Средняя многолетняя	Среднемесячная
Май (с 20.05.2022)	15,8	12,2	17	25
Июнь	17,9	19,0	65	53
Июль	19,9	19,1	87	63
Август	18,5	21,7	55	32
Сентябрь	13,0	9,9	55	111
Октябрь (до 10.10.2022)	8,6	10,6	19	44

Таблица 3

Метеорологические условия за вегетационный период сои 2023 г.
Meteorological conditions for the soybean growing season 2023

Месяц	Температура, °С		Сумма осадков, мм	
	Средняя многолетняя	Среднемесячная	Средняя многолетняя	Среднемесячная
Май (с 11.05.2023)	15,8	17,0	17	9
Июнь	17,9	17,1	69	56
Июль	19,8	19,2	87	77
Август	18,5	20,3	54	45
Сентябрь (до 21.09.2023)	13,0	15,2	55	0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В фазу образования бобов была проведена оценка чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) у изучаемых сортообразцов (рис. 1). В 2022 г. сорта Тайга и ЕС Командор, а также линии СГ 50 № 3, СГ 39 № 2 и Л 85 показали высокие (>15 г/м^2 в сутки) параметры ЧПФ. Низкой ЧПФ (2–2,5 г/м^2 в сутки) были отмечены сорта СК Дока, Зельда, ЕС Навигатор и Кураж, а также линии СГ-20 и СГ-58.

Наибольшими показателями ЧПФ в 2023 г. (> 9 г/м^2 в сутки) отличились сорта Устя, Антигуа, ЭН Аргента и Эльта. Сорта ОАК Пруденс, Белгородская 48, ЕС Навигатор, Тайга, а также линия СГ 50 № 3 имели низкие показателями ЧПФ (1,25–3 г/м^2 в сутки).

Наименьшей годовой вариацией ЧПФ (C_V < 0,15) отличились сорта ЕС Навигатор, СибНИИК 315, Чера 1, Аляска, Оникс 57, Эльта, а наибольшей (C_V > 0,8) – сорта ОАК Пруденс, Белгородская 48, Тайга и линия СГ 50 № 3.

Определена нитрогеназная активность изучаемых сортообразцов в фазу образования бобов. Результаты представлены на рис. 2. По данным 2022 г., наименьшая нитрогеназная активность в фазу образования бобов наблюдалась у сортов Белгородская 7, ЭН Аргента, а также у линий Л 85 и СГ 50 № 3. Наибольшая активность была выявлена у сортов Белгородская 48, Зуша и Припять.

В 2023 г. минимальную нитрогеназную активность имели сорта СК Дока, СибНИИК 315, Чера 1 и Белгородская 7. Сорт Белгородская 7 на протяжении двух лет исследований демонстрирует низкие значения исследуемого показателя. Высокой активностью отличились сорта Максус, Эльта, Лидер 10 и Командор.

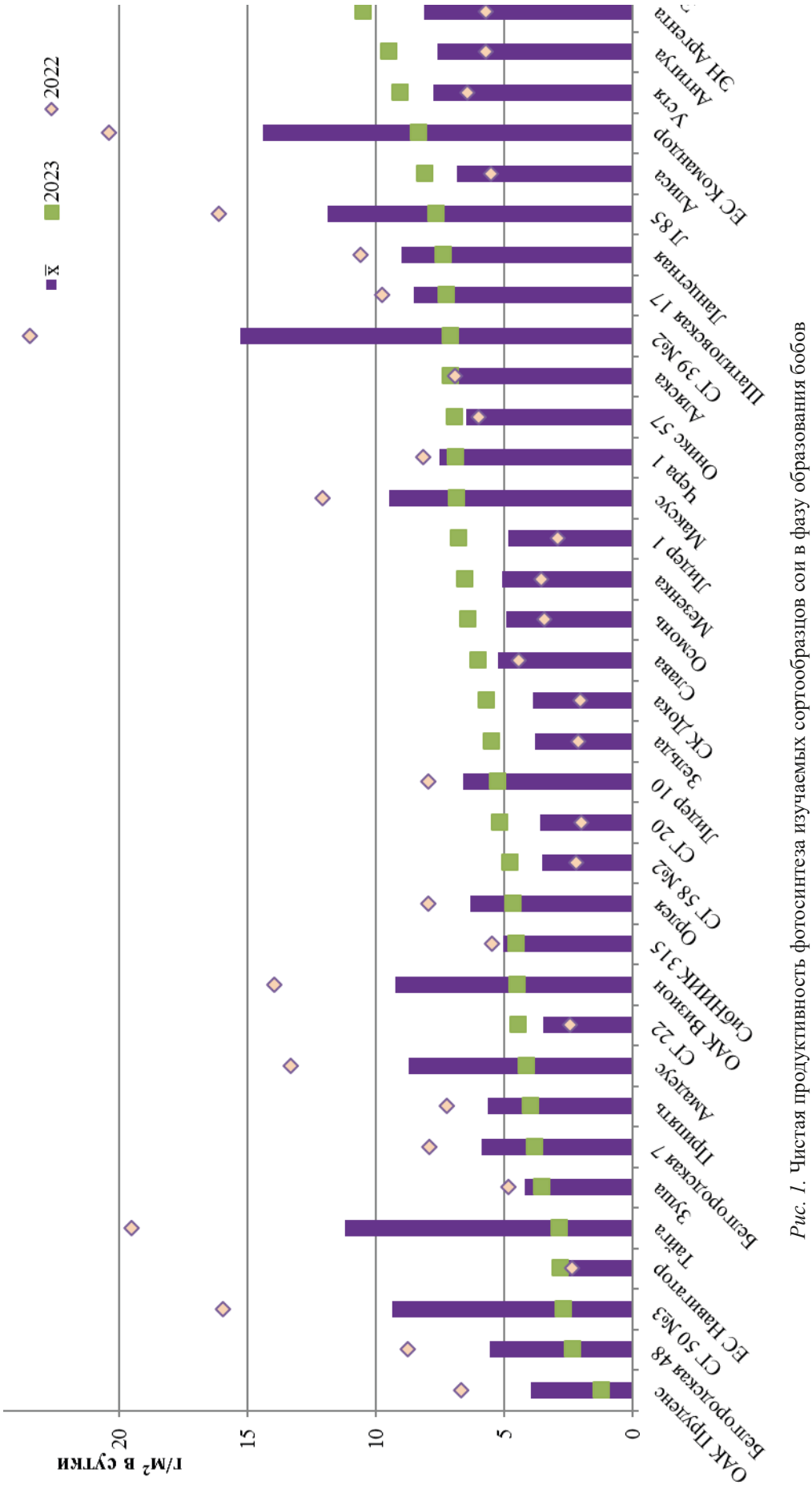


Рис. 1. Чистая продуктивность фотосинтеза изучаемых сортообразцов сои в фазу образования бобов
Net productivity of photosynthesis of the studied soybean varieties during the phase of bean formation

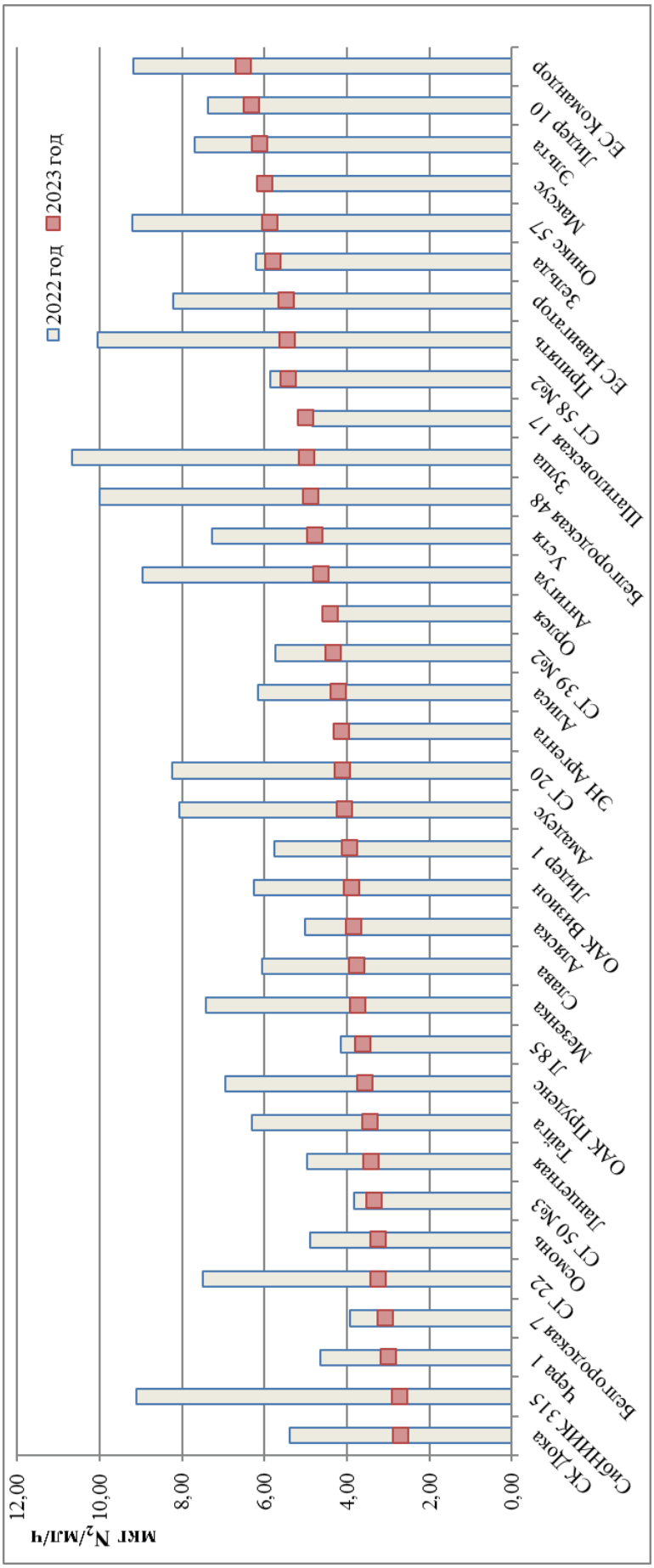


Рис. 2. Нитрогеназная активность сои в фазу образования бобов
Nitrogenase activity of soybeans during the bean formation phase

У изучаемого признака по годам наблюдалась средняя корреляция (r = 0,45). Наименьшая годовая вариация (C_V < 0,1) была отмечена у сортов ЭН Аргента, Орлея, Шатиловская 17, Зельда, Максус, а также у линий СГ 50 № 3, СГ 58 № 2 и Л 85.

По данным, полученным другими исследователями, симбиотические и фотосинтетические системы сои имеют тесную взаимосвязь. Высокие корреляции наблюдались между массой клубеньков, количеством клубеньков и ФП, фитомассой, содержанием хлорофилла [2]. После проведения корреляционного анализа изучаемых нами показателей, было обнаружено, что чистая продуктивность фотосинтеза и нитрогеназная активность имеют низкую зависимость (-0,3–0,3) (табл. 4).

Таблица 4

Корреляционная зависимость чистой продуктивности фотосинтеза от нитрогеназной активности
Correlation dependence of net photosynthetic productivity on nitrogenase activity

Нитрогеназная активность	ЧПФ 2022 г.	ЧПФ 2023 г.	ЧПФ $\bar{x}$
2022 г.	-0,14	-0,16	-0,19
2023 г.	0,07	0,24	0,16
$\bar{x}$	-0,07	-0,02	-0,07

Произведен корреляционный анализ между вегетационными индексами и различными показателями, полученными при проведении полевого опыта (чистая продуктивность фотосинтеза и нитрогеназная активность в фазе образования бобов, полевая всхожесть).

Показатели корреляционных зависимостей между вегетационными индексами и ЧПФ были незначительными (-0,3–0,3), за исключением индексов NDRE (r = 0,36), ClGreen (r = 0,36), GNVI (r = 0,35), Mcari (r = -0,4). Показатели были полученны 11 августа, что совпадает с фазой налива зерна.

Между нитрогеназной активностью и вегетационными индексами корреляционная зависимость также была очень слабой (-0,3–0,3), за исключением индекса Mcari за 12 июля (r = -0,36) и 24 августа (r = -0,38).

Обнаружена сильная (r > 0,7) корреляция между полевой всхожестью и всеми вегетационными индексами, полученными 28 июня, что совпадает с фазой 3–4-го тройчатого листа сои, в то время как 16 июня (фаза 1-го тройчатого листа) корреляционная зависимость была очень низкой (r < 0,3). К 12 июлю наблюдается снижение корреляционной зависимости: по одним индексам (NDRE, ClGreen, GNDVI) она принимает среднее (0,5 < r < 0,7) значение, по другим (NDVI, Mcari) – низкое (0,3 < r < 0,5). Данная дата совпадает с фазой цветения сои, по ряду индексов ещё можно оценить полевую всхожесть, но менее точно, чем в предыдущую фазу. К 26 июлю корреляции полевой всхожести и всех вегетационных индексов становятся слабыми (0,3 < r < 0,5) и очень слабыми (r < 0,3), соответствующая динамика сохраняется вплоть до 24 августа. Предположительно в фазу 1-го тройчатого листа съемка с дрона не позволяет оценить полевую всхожесть из-за разреженности посева на начальной стадии роста сои, в то время как начиная с фазы цветения посевы сои начинают загущаться, что также мешает оценке данного показателя. Следовательно, для оценки полевой всхожести можно использовать вегетационные индексы в фазу 3–4-го листа (табл. 5).

Таблица 5

Корреляционная зависимость полевой всхожести от вегетационных индексов
Correlation dependence of field germination on vegetation indices

Индекс	Дата					
	16 июня	28 июня	12 июля	26 июля	11 августа	24 августа
1	2	3	4	5	6	7
NDVI	0,11	0,73	0,34	0,12	0,10	0,21

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
NDRE	0,15	0,75	0,62	0,22	0,11	0,16
ClGreen	0,22	0,77	0,60	0,25	0,12	0,15
GNDVI	0,15	0,75	0,54	0,18	0,11	0,15
Mcari	0,26	0,71	0,36	0,13	0,09	0,39

ВЫВОДЫ

1. Наибольшие показатели чистой продуктивности фотосинтеза в фазу образования бобов в 2022 г. имели сорта Тайга и ЕС Командор, а также линии СГ 50 № 3, СГ 39 № 2 и Л 85; в 2023 г. – сорта Устя, Антигуа, ЭН Аргента и Эльта. Низкой чистой продуктивностью фотосинтеза в фазу образования бобов в 2022 г. обладали сорта СК Дока, Зельда, ЕС Навигатор и Кураж, а также линии СГ-20 и СГ-58; в 2023 г. – сорта ОАК Пруденс, Белгородская 48, ЕС Навигатор, Тайга и линия СГ 50 № 3. Наименьшую годовую вариацию признака имели сорта ЕС Навигатор, СибНИИК 315, Чера 1, Аляска, Оникс 57, Эльта, а наибольшую – сорта ОАК Пруденс, Белгородская 48, Тайга и линия СГ 50 № 3.

2. Обнаружены генотипы сои, у которых нитрогеназная активность в фазу образования бобов имеет минимальную годовую вариацию: ЭН Аргента, Орлея, Шатиловская 17, Зельда, Максус, СГ 50 №3, СГ 58 № 2 и Л 85.

3. Значительных корреляций между показателями нитрогеназной активности и ЧПФ обнаружено не было.

4. Корреляционная зависимость между показателями ЧПФ и нитрогеназной активностью с вегетационными индексами колебалась на уровне слабой и очень слабой.

5. Между полевой всхожестью и вегетационными индексами, полученными в фазу 3–4-го листа, обнаружена высокая корреляция ($r > 0,7$), что в перспективе можно использовать для оценки всхожести с помощью беспилотных летательных аппаратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Создание* высокопродуктивного сорта сои классическими методами селекции / В.В. Толоконников, Т.С. Кошкарова, Г.О. Чамурлиев [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 2 (62). – С. 87–93. – DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-09. – EDN ISIPGP.
2. *Зотиков В.И., Головина Е.В.* Взаимосвязь интенсивности азотфиксации и фотосинтеза у новых сортов сои северного экотипа // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3 (30). – С. 5–8. – EDN PONLOH.
3. *Quantifying* high-temperature stress on soybean canopy photosynthesis: The unique role of sun-induced chlorophyll fluorescence / H. Kimm, K. Guan, B. Peng [et al.] // Global Change Biology. – 2021. – Vol. 27, N 11. – P. 2403–2415. – DOI: 10.1111/gcb.15603. – EDN GHSEIQ.
4. *Интенсивность* фотосинтеза листьев у сортов сои в зависимости от фазы роста и ярусного расположения / А.В. Амелин, Е.И. Чекалин, В.В. Заикин [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 4 (24). – С. 53–58. – EDN ZWNYIH.
5. *Exploring* Potential Soybean Bradyrhizobia from High Trehalose-Accumulating Soybean Genotypes for Improved Symbiotic Effectiveness in Soybean / A. Bharti, H. S. Maheshwari, Sh. Garg [et al.] // Social Science Research Network. – 2022. – DOI: 10.2139/ssrn.4247386. – EDN KYZJCO.
6. *Применение* вегетационных индексов в селекции озимой мягкой пшеницы / С.Д. Вилюнов, В.И. Зотиков, В.С. Сидоренко [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 3 (43). – С. 73–83. – DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83. – EDN MXTNXP.
7. *Kurbanov R. Zakharova N.* Justification and selection of vegetation indices to determine the early soybeans readiness for harvesting // E3S Web of Conferences : 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021 года. Vol. 273. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – P. 01008.

8. *Кумаков В.А.* Принципы разработки оптимальных моделей (идеатипов) сортов растений // Сельскохозяйственная биология. – 1980. – № 2 (15). – С. 180–197.
9. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
10. *Методика* проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 1. Исследования в опытах с соей) / В.М. Лукомец, Н.М. Тишков, М.В. Трунова [и др.] // Масличные культуры. – 2023. – № 1 (193). – С. 33–52. – DOI: 10.25230/2412-608X-2023-1-193-33-52. – EDN RVQJGH.
11. *Методика* проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / под общ. ред. В.М. Лукомца, чл.-кор. РАСХН, д-ра с.-х. наук Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т масличных культур им. В.С. Пустовойта РАСХН. – 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар, 2010. – 327 с.
12. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Гос. комис. по сортоиспытанию с.-х. культур при М-ве сел. хоз-ва СССР. – М.: [б.и.], 1985.
13. *Методические* указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур / Н.И. Корсаков, О.А. Адамова, В.И. Будакова [и др.]. – Л.: ВИР, 1975. – 59 с.
14. *Методические* указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новосёлов, В.Н. Киреев [и др.]. – М.: РАСХН, 1997. – 156 с.
15. *Ничипорович А.А.* Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах // Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. Отд. растениеводства и селекции. Науч. совет по фотосинтезу АН СССР. – М.: [б.и.], 1969. – 94 с.
16. *Посыпанов Г.С.* Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. – М.: Агропромиздат, 1991. – 299 с.
17. *Методика* ВИР: Изучение мировой коллекции / ВИР. – Л.: ВИР, 1988. – 30 с.
18. *ГОСТ 12038–84*. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М., 2011. – 31 с.

REFERENCES

1. Tolokonnikov V.V., Koshkarova T.S., Chamurliev G.O. [i dr.], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 2 (62), pp. 87–93, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-09, EDN ISIPGP. (In Russ.)
2. Zotikov V.I., Golovina E.V., *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, No. 3 (30), pp. 5–8, EDN PONLOH. (In Russ.)
3. Kimm H., Guan K., Peng B. [et al.], Quantifying high-temperature stress on soybean canopy photosynthesis: The unique role of sun-induced chlorophyll fluorescence, *Global Change Biology*, 2021, Vol. 27, No. 11, pp. 2403–2415, DOI: 10.1111/gcb.15603, EDN GHSEIQ.
4. Amelin A.V., Chekalin E.I., Zaikin V.V. [i dr.], *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2017, No. 4 (24), pp. 53–58, EDN ZWNYIH. (In Russ.)
5. Bharti A., Maheshwari H. S., Garg Sh. [et al.], Exploring Potential Soybean Bradyrhizobia from High Trehalose-Accumulating Soybean Genotypes for Improved Symbiotic Effectiveness in Soybean, *Social Science Research Network*, 2022, DOI: 10.2139/ssrn.4247386, EDN KYZJCO.
6. Vilyunov S.D., Zotikov V.I., Sidorenko V.S. [i dr.], *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2022, No. 3 (43), pp. 73–83, DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83, EDN MXTNXP. (In Russ.)
7. Kurbanov R. Zakharova N. Justification and selection of vegetation indices to determine the early soybeans readiness for harvesting, *E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness*, Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021, pp. 01008.
8. Kumakov V.A., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 1980, No. 2 (15), pp. 180–197. (In Russ.)
9. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
10. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Trunova M.V. [i dr.], *Maslichnye kul'tury*, 2023, No. 1 (193), pp. 33–52, DOI: 10.25230/2412-608X-2023-1-193-33-52, EDN RVQJGH. (In Russ.)

11. *Metodika provedeniya polevykh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami* (Methodology for conducting field agrotechnical experiments with oilseeds), Krasnodar, 2010, 327 p.
12. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* (Methodology for state variety testing of agricultural crops), Moscow: [b.i.], 1985.
13. Korsakov N.I., Adamova O.A., Budakova V.I. [i dr.], *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollektsii zernovykh bobovykh kul'tur* (Guidelines for studying the collection of grain legumes), Leningrad: VIR, 1975, 59 p.
14. Novoselov Yu.K., Kireev V.N. [i dr.], *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami* (Guidelines for conducting field experiments with forage crops), Moscow: RASKhN, 1997, 156 p.
15. Nichiporovich A.A., *Metodicheskie ukazaniya po uchetu i kontrolyu vazhneyshikh pokazateley protsessov fotosinteticheskoy deyatel'nosti rasteniy v posevakh* (Guidelines for recording and monitoring the most important indicators of the processes of photosynthetic activity of plants in crops), Moscow: [b.i.], 1969, 94 p.
16. Posypanov G.S., *Metody izucheniya biologicheskoy fiksatsii azota vozdukha* (Methods for studying the biological fixation of air nitrogen), Moscow: Agropromizdat, 1991, 299 p.
17. *Metodika VIR: Izuchenie mirovoy kollektsii* (VIR Methodology: Study of the World Collection), Leningrad: VIR, 1988, 30 p.
18. *GOST 12038–84. Mezhgosudarstvennyy standart. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti* (GOST 12038–84. Interstate standard. Agricultural seeds. Methods for determining germination), Moscow, 2011, 31 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-132-138
УДК 635.21:631.58

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОГО СЕМЕНОВОДСТВА ОЗДОРОВЛЕННОГО КАРТОФЕЛЯ В ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ

[1]**А.И. Мурзин**, агроном
[2]**Р.Р. Галеев**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
[2]**П.Н. Потапов**, аспирант
[3]**Н.А. Потапов**, кандидат сельскохозяйственных наук
[2]**С.С. Потапова**, кандидат биологических наук
[1]ЗАО СХП «Мичуринец» Новосибирской обл., Россия
[2]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
[3]ООО АТФ «Агрос», Новосибирск, Россия
E-mail: rastniev@mail.ru

Ключевые слова: картофель, сорт, рост, развитие, семеноводство, оздоровление, безвирусный картофель, урожайность, выход семенной фракции.

Реферат. *Представлены результаты проводимых в 2022–2023 гг. комплексных опытов по изучению эффективности применения на сортах картофеля разной группы спелости элементов технологии ускоренного безвирусного семеноводства на серой лесной среднесуглинистой почве лесостепи Новосибирского Приобья. Почва места проведения исследований содержала гумуса 3,48 %, азота легкогидролизуемого – 11,3 мг, подвижного фосфора – 13,1 мг и обменного калия – 15,1 мг/100 г при pH 6,19. Агротехнология в опытах была общепринятая для современных агротехнологических исследований. На серой лесной среднесуглинистой почве ЗАО СХП «Мичуринец» Новосибирского района Новосибирской области в условиях изолированных участков открытого грунта при посадке оздоровленной супер-суперэлиты трех сортов разной группы спелости: Розара, Ред Скарлетт (ранние) и Златка (среднеспелый) показано формирование стандартного безвирусного посадочного материала суперэлиты. Валовый сбор безвирусной суперэлиты равен у сорта Розара – 40 т, Ред Скарлетт – 4,86 т и у сорта Златка – 33,72 т при выходе стандартной семенной фракции 35–60 мм на уровне 70 %. В условиях специализированной теплицы максимальное среднее количество клубней с сосуда отмечено в варианте с сортом Сокур – 14,9 шт. и Ред Скарлетт – 11 шт. В защищенном грунте доминировала стандартная фракция семенных оздоровленных клубней 35–60 мм от 18 т/га у сорта Златка, до 21 т/га у сорта Розара. В специализированной теплице доля семенных клубней была в большей степени фракции 35–45 мм и 45–55 мм – в среднем 26 %. Усовершенствованная технология семеноводства безвирусного картофеля обеспечила формирование оздоровленного элитного материала у сорта Златка 193,26 т, Розара – 111,63 т и Ред Скарлетт – 28,42 %. Выход семенной фракции 35–60 мм достигал 72 %.*

SPECIAL ASPECT OF USAGE OF ELEMENTS OF FORCED SEED PRODUCTION OF HEALTHY POTATO IN FOREST-STEPPE OF PRIOBYE

[1]**A.I. Murzin,** Agronomist
[2]**R.R. Galeev,** Doctor of Agricultural Sciences, Professor
[2]**P.N. Potapov,** PhD Student
[3]**N.A. Potapov,** PhD in Agricultural Sciences
[2]**S.S. Potapova,** PhD in Agricultural Sciences
1CJSC Agricultural Enterprise "Michurinets", Novosibirsk Region, Russia
2Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
3LLC Agrotechnology Firm "Agros," Novosibirsk, Russia
E-mail: rastniev@mail.ru

***Keywords*:** potato, variety, growth, development, seed production, health improvement, virus-free potato, yield, yield of seed fraction.

Abstract. *The results of those carried out in 2022–2023 are presented. complex experiments to study the effectiveness of using elements of accelerated virus-free seed production technology on potato varieties of different ripeness groups on gray forest medium-loamy soil of the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. The soil at the research site contained 3.48 % humus, 11.3 mg of easily hydrolyzed nitrogen, 13.1 mg of available phosphorus, and 15.1 mg/100 g of exchangeable potassium at pH 6.19. The agricultural technology in the experiments was generally accepted for modern agricultural technology research. On the gray forest medium-loamy soil of JSC Agricultural Enterprise "Michurinets" of the Novosibirsk district of the Novosibirsk region in the conditions of isolated areas of open ground when planting healthy super-super elite of three varieties of different ripeness groups: Rosara, Red Scarlett (early) and Zlatka (mid-ripening) the formation of standard virus-free planting material is shown super elites. The gross harvest of the virus-free superelite is equal to the Rosara variety – 40 tons, Red Scarlett – 4.86 tons, and the Zlatka variety – 33.72 tons, with the yield of the standard seed fraction of 35–60 mm at the level of 70 %. Under the conditions of a specialized greenhouse, the maximum average number of tubers per vessel was noted in the variant with the Sokur variety – 14.9 pcs. and Red Scarlett – 11 pcs. In protected soil, the standard fraction of seed healthy tubers 35–60 mm dominated, ranging from 18 t/ha for the Zlatka variety to 21 t/ha for the Rozara variety. In a specialized greenhouse, the share of seed tubers was mostly in the 35–45 mm and 45–55 mm fractions – an average of 26 %. Improved technology for seed production of virus-free potatoes ensured the formation of healthy elite material in the Zlatka variety – 193.26 tons, Rosara - 111.63 tons and Red Scarlett – 28.42 %. The yield of the seed fraction 35–60 mm reached 72 %.*

Почвенные и климатические условия лесостепи Новосибирского Приобья в целом благоприятны для многих сельскохозяйственных культур и позволяют получить урожайность картофеля на уровне 40–50 т/га [1–3]. Вместе с тем в последнее время в Сибирском федеральном округе имеет место уменьшение площадей картофеля в специализированных хозяйствах [4, 5]. В частном секторе возделывается 90,6 % картофеля. Урожайность этой культуры в регионе остается на невысоком уровне, в хозяйствах разных форм собственности она составляет 21–26 т/га и у населения – 13–15 т/га при средней урожайности – 20,6 т/га [6, 7].

Одной из важных задач при выращивании семенного картофеля остается достижение оптимального уровня урожайности, качественного выхода стандартной фракции семенных клубней и обеспечение выхода семенного картофеля на уровне требуемых стандартов, установленных для соответствующих категорий семенного картофеля. При ускоренном семеноводстве в зонах с развитым инфекционным фоном имеет место частичное заражение семенного материала вирусными, бактериальными и грибными заболеваниями начиная с первого полевого репродуцирования клубней [8–10]. Дальнейшее возделывание клонов до получения элиты способствует увеличению инфекционного фона и снижает урожайность [11, 12]. Методы биотехнологии обеспечивают решение задач по сохранению качества и повышению урожайности культуры. Однако эффективность оздоровления зависит от оптимальной организации всего семеноводства [13, 14]. Инновационные технологии семеноводства картофеля представлены тремя блоками, состоящими из оригинального, элитного и репродукционного семеноводства [15, 16]. Недостаток высококачественного посевного материала, несвоевременное сортовое обновление, внедрение неадаптивных сортов может уменьшать продуктивность картофеля с получением низкой семенной продуктивности [17].

Важным условием современных селекционных и семеноводческих программ является создание сортов картофеля отечественной селекции с повышенной устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам внешней среды, адаптированных к условиям выращивания экологически пластичных сортов [18].

Целью исследования является разработка технологии ускоренного семеноводства сортов картофеля разной группы спелости интенсивного типа в лесостепи Новосибирского Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2022–2023 гг. в условиях защищенного и открытого грунта на серых лесных среднесуглинистых почвах. Опыты осуществлены на экспериментальных участках ЗАО СХП «Мичуринец» Новосибирского района Новосибирской области.

Почва опытных участков серая лесная среднесуглинистая с содержанием гумуса 3,48 %, легкогидролизуемого азота 11,3 мг, подвижного фосфора 13,1 мг и обменного калия 15,1 мг/100 г при pH 6,19. Пространственная изоляция от посадок товарного картофеля составила 1,5 км. В ходе исследований осуществляли динамические наблюдения по методике государственных сортоиспытаний сельскохозяйственных культур [19], биологические измерения и оценка фракционного состава клубней в динамике по методическим указаниям ВНИИКХ [20]. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась по Б.А. Доспехову и с использованием пакета прикладных программ SNEDECOR [21].

В период вегетации в целях интегрированной защиты посадок картофеля осуществлялись обработки необходимыми препаратами: Зенкор Ультра, ВДГ – 0,8 л/га, Титус СТС – 0,05 кг/га, Престиж, КС – 1 л/га, Дитан М-45 – 1,2 кг/га, Конценто – 2 л/га, Инфинито, ВДГ – 1,2 л/га, а также против болезней: Ридомил Голд МЦ, ВДГ – 2,5 кг/га, инсектицидами: Конфидор, ВДГ – 0,125 кг/га, Децис Эксперт, ВДГ –0,05 л/га и Каратэ Зеон, МКС – 0,1 л/га. Для ускорения созревания клубней применяли препарат Реглон Супер, ВР – 2 л/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Супер-суперэлитные клубни, оздоровленные методом апикальных меристем, высаживали на площади 2,64 га. В том числе раннеспелый сорт Ред Скарлетт – 0,13 га, Розара – 1,36 га и среднеспелый сорт западно-сибирской селекции Златка – 1,17 га. Посадка проводилась на изолированных участках открытого грунта 7 мая 2022 г. и 11 мая 2023 г. При этом дата массовых всходов различалась у всех сортов. В более ранние сроки всходы наблюдались у сорта Ред Скарлетт – 8 июня и сорта Розара. Западно-сибирский сорт Златка дал всходы 12 июня. У сорта Розара от посадки до массовых всходов было 28 сут и у сорта Златка 30 сут. Продолжительность от периода посадки до десикации составила у сорта Розара – 84, Ред Скарлетт – 82, Розара – 84 и Златка – 88 сут. Механическая десикация осуществлялась у ранних сортов 28 июля и у среднеспелого сорта Златка 3 августа. При этом химическая десикация препаратом Реглон Супер – 2 л/га проводилась 4 августа. От механической десикации до уборки ранних сортов прошло 49 сут и у среднеспелого сорта – 43. Уборку выполняли у раннеспелых сортов 11 сентября, у среднеспелого сорта Златка – 13 сентября.

В 2023 г. в специализированных теплицах по выращиванию безвирусных растений осуществлялось изучение особенностей роста и развития сортов картофеля разной группы спелости. Опыты проводились в специализированных оборудованных теплицах по выращиванию меристемных растений на поликарбонатной основе в условиях изоляции от окружающей среды при защите с помощью мелких пластиковых сеток. Проводились профилактические обработки от вредителей, а также бактериальных и грибных возбудителей болезней. Выращивание меристемных клубней проводилось в теплицах. Показано, что при выращивании исходных пробирочных растений сортов Златка, Сокур, Адретта, Агата, Ред Скарлетт, Розара получены высококачественные безвирусные клубни. Наибольшее среднее количество клубней с сосуда было у среднеспелого сорта сибирской селекции Сокур – 14,9 шт., затем у ранних сортов Агата – 12,5 шт., Ред Скарлетт – 11,1 шт., а также у сорта Розара – 9,7 шт., Златка – 9,1 шт. (среднеспелый). Меньше всего клубней наблюдалось у сорта Адретта – 8,3 шт. с одного сосуда.

У разных сортов различался фракционный состав оздоровленных семенных клубней.

В табл. 1 представлены временные и количественные показатели выращивания безвирусных супер-суперэлитных клубней картофеля первого полевого поколения в ЗАО СХП «Мичуринец» в 2023 г.

У сорта Златка фракция семенных клубней менее 28 мм составила 20 %, от 28–35 мм – 19,2 %, 35–45 мм – 26 %, 45–55 мм – 25 %, фракции свыше 55 мм – 8 % и нестандартных клубней – 1,8 %. У сорта Сокур получен процентный состав клубней по фракциям соответственно 15, 17, 21, 28, 15 и 4 %. У сорта

Агата распределение фракционного состава было в пределах 18, 20, 22, 26, 12 и 2 %. У раннего сорта Ред Скарлетт также преобладали фракции 35–45 мм – 19 % и 45–55 мм – 14 %. В варианте с сортом Розара фракция менее 28 мм составляла 26 %, 25–35 мм – 27 %, 35–45 мм – 38 %, 45–55 мм – 8 % и свыше 55 мм – 0,5 % при нестандарте – 0,5 %.

Таблица 1

Выращивание безвирусных супер-суперэлитных клубней в ЗАО СХП «Мичуринец»
Cultivation of virus-free super-superelite tubers in CJSC Agricultural Enterprise "Michurinets"

Показатель		Сорт клубня					
		Златка	Сокур	Адретта	Агата	Ред Скарлетт	Розара
Дата посадки		01.06.2023	01.06.2023	01.06.2023	01.06.2023	01.06.2023	02.06.2023
Дата десикации		04.09.2023	30.08.2023	30.08.2023	30.08.2023	30.08.2023	30.08.2023
Дата уборки		30.09.2023	28.09.2023	28.09.2023	21.09.2023	01.10.2023	01.10.2023
Общее количество сосудов	шт.	3 600	1 200	1 200	1 200	864	300
Количество неучтенных сосудов	шт.	18	49	2	8	13	0
Количество учтенных сосудов	шт.	3 582	1 151	1 198	1 192	851	300
Сформированные растения	%	99,5	95,9	99,8	99,3	98,5	100,0
Общая масса клубней, заложенных на хранение	кг	1 378,0	393,0	380,0	593,0	309,0	110,3
Общее количество клубней после переборки	кг	1 249,30	376,30	360,10	516,70	293,90	105,80
	шт.	32 221	17 196	9 953	15 029	9 450	2 926
Среднее количество клубней с сосуда	кг	0,35	0,33	0,30	0,43	0,35	0,35
	шт.	9,0	14,9	8,3	12,6	11,1	9,7
Фракция <28 мм	кг	41,70	78,60	15,00	39,70	37,80	7,80
	шт.	6 446	8 434	1950	5 000	3240	764
Фракция 28–35 мм	кг	115,90	162,20	47,50	74,90	88,30	21,80
	шт.	6 200	6 441	2 440	3 232	3 516	814
Фракция 35–45 мм	кг	427,10	118,00	144,10	181,60	133,60	56,60
	шт.	11 228	2 140	3 648	4 465	2 347	1 128
Фракция 45–55 мм	кг	469,30	15,60	119,80	172,40	32,50	19,30
	шт.	6 717	167	1 645	1 980	330	218
Фракция >55 мм	кг	195,30	1,90	33,70	48,10	1,70	0,30
	шт.	1 630	14	270	352	17	2
Нестандарт	кг	16,2	0,0	4,1	3,3	3,8	0,0
Отход и естественная убыль	кг	112,5	17,6	15,8	73,0	11,3	4,5
	%	8,1	4,4	4,1	12,3	3,6	4,00

В ходе проведения исследования была установлена продуктивность оздоровленного посадочного материала безвирусного супер-суперэлитного картофеля разных групп спелости в открытом грунте. В табл. 2 представлены средние данные за 2022–2023 гг. валового сбора и урожайности этого посадочного материала.

Таблица 2

Валовый сбор и урожайность оздоровленных супер-суперэлитных клубней сортов картофеля различных групп спелости в открытом грунте ЗАО СХП «Мичуринец»
Gross harvest and yield of healthy super-super elite tubers of potato varieties of various ripeness groups in the open ground of JSC Agricultural Enterprise "Michurinets"

Сорт	Группа спелости	Валовый сбор, т			Урожайность, т/га		
		Общий	В том числе по фракциям		Общая	В том числе по фракциям	
			35–60 мм	Свыше 60 мм		35–60 мм	Свыше 60 мм
Розара	Ранний	39,65	26,17	13,48	30,2	21,44	8,76
Ред Скарлетт	Ранний	4,86	3,30	1,56	29,6	20,42	9,16
Златка	Среднеспелый	33,72	23,86	9,86	26,8	17,96	8,84
$НСР_{05}$		1,83	–	–	2,08	0,86	0,49

Как видно из данных табл. 2, на изолированных участках открытого грунта урожайность сортов картофеля разных групп спелости имела разные показатели по диаметру мини-клубней и их количеству. Валовый сбор картофеля сорта Розара (ранний) составил 39,65 т. При этом преобладала фракция 35–60 мм – 66 %. В варианте с сортом Ред Скарлетт валовый выход равен 4,86 т с преобладанием фракции 35–60 мм – 67 %. У сибирского сорта Златка выход семенных оздоровленных клубней был 33,72 с большей долей фракции 35–60 мм – 71 %. Наибольшая урожайность супер-суперэлитного безвирусного картофеля установлена у сорта Розара (ранний) – 30,2 т/га и у сорта Ред Скарлетт (ранний) – 29,6 т/га. У среднеспелого сорта Златка получено 26,8 т/га. Более урожайной оказалась фракция семенных клубней 35–60 мм: от 17,96 т/га у сорта Златка до 21,44 т/га у сорта Розара. Урожайность крупной фракции свыше 60 мм колебалась от 8,76 до 9,16 т/га.

В табл. 3 отражены средние данные за 2022–2023 гг. по выходу безвирусных элитных клубней картофеля, выращенного в условиях изолированных участков открытого грунта.

Из таблицы видно, что максимальный выход элитных безвирусных клубней определен у сорта Златка – 193,26 т. Для сорта Розара этот показатель составил – 111,63 т, для сорта Ред Скарлетт – 28,4 т. Выход фракции 35–60 мм у всех сортов колебался от 64 % у сорта Златка до 71 % у сорта Розара.

Наибольшая урожайность безвирусной элиты была у сорта Розара – 26,7 т/га при 25,6 т/га у сорта Златка и 24,9 т/га – Ред Скарлетт. Урожайность клубней фракции 35–60 мм была в пределах 17,15–19,22 т/га, что составляет в среднем 68 % от общей урожайности.

Таблица 3

Выход безвирусной элиты сортов картофеля, выращенных в условиях изолированных участков открытого грунта в ЗАО СХП «Мичуринец»
Yield of virus-free elite potato varieties grown in isolated areas of open ground at CJSC Agricultural Enterprise "Michurinets"

Сорт	Группа спелости	Валовый сбор, т			Урожайность, т/га		
		Общий	В том числе по фракциям		Общая	В том числе по фракциям	
			35–60 мм	Свыше 60 мм		35–60 мм	Свыше 60 мм
Розара	Ранний	111,63	79,27	32,36	26,7	19,22	7,48
Ред Скарлетт	Ранний	28,42	19,60	8,82	24,9	17,18	7,72
Златка	Среднеспелый	193,26	125,62	67,64	25,6	17,15	8,45
$НСР_{05}$		5,33	–	–	0,39	–	–

ВЫВОДЫ

1. На серой лесной среднесуглинистой почве ЗАО СХП «Мичуринец» Новосибирского района Новосибирской области в 2022–2023 гг. на изолированных участках открытого грунта при посадке оздоровленной супер-суперэлиты трех сортов разной группы спелости – Розара, Ред Скарлетт (ранние) и Златка (среднеспелый) – установлено получение стандартного безвирусного посадочного материала суперэлиты.

Валовый сбор безвирусной суперэлиты сорта Розара составил около 40 т, сорта Ред Скарлетт – 4,86 т, сорта Златка – 33,72 т. Выход высококачественной оздоровленной семенной фракции 35–60 мм равен 65–70 %.

2. Показана эффективность выращивания супер-суперэлитных оздоровленных клубней в условиях специализированной теплицы с соблюдением мероприятий борьбы с переносчиками вирусной инфекции и профилактическими мероприятиями по борьбе с болезнями. Максимальное среднее количество клубней с сосуда выявлено у среднеспелого сорта Сокур – 14,9 шт. и у сорта Ред Скарлетт – 11,1 шт.

3. Наиболее урожайной в условиях защищенного грунта была фракция семенных оздоровленных клубней 35–60 мм: от 17,96 т/га у сорта Златка до 21,44 т/га у сорта Розара.

4. В условиях защищенного грунта большую долю семенных клубней у большинства сортов составили фракции в диаметре клубня от 35–45 мм и 45–55 мм – на уровне 24–27 %.

5. Использование технологии ускоренного семеноводства безвирусного картофеля способствовало получению безвирусного элитного материала по сорту Златка – 193,26 т, Розара – 111,63 т, Ред Скарлетт – 28,42 т при выходе семенной фракции 35–60 мм до 72 %.

Научная работа проводилась в рамках Федеральной научно-технической программы «Развитие селекции, семеноводства картофеля в Российской Федерации».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Особенности* использование 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. Ковалев // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 2 (36). – С. 45–51.
2. *Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалев Е.А.* Совершенствование технологии дифференцированного внесения удобрений в лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 4–10.
3. *Михайлов П.М.* Удобрение картофеля при интенсивном земледелии Сибири. – Новосибирск: Агрос-Сибирь, 2014. – 106 с.
4. *Галеев Р.Р.* Особенности производства картофеля в лесостепи Западной Сибири. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2017. – 126 с.
5. *Прошкин М.А.* Перспективы производства картофеля в системе экологического земледелия. – Киров: Альянс, 2016. – 93 с.
6. *Карлов Н.Н.* Картофель в Приморье. – Хабаровск: Вега, 2017. – 89 с.
7. *Производство* семенного картофеля на оздоровленной основе. – Новосибирск: Ритм, 2017. – 72 с.
8. *Микроклональное* размножение в картофелеводстве: рекомендации. – Пенза: Изд-во НИИСХ, 2009. – 39 с.
9. *Пути* повышения эффективности семеноводства на безвирусной основе. – Брянск, 2016. – 108 с.
10. *Галеев Р.Р.* Семеноводство картофеля на безвирусной основе. – Новосибирск: Ритм, 2018. – 93 с.
11. *Особенности* воспроизводства оздоровленной супер-суперэлиты: метод. рекомендации. – Красково: Изд-во ВНИИСХ, 2014. – 81 с.
12. *Картофель* в интенсивном земледелии / М.Л. Сидеренко, Л.С. Бузолева, Н.А. Слепцова, А.Н. Бойко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 28–37.
13. *Современные* технологии биопереработки возобновляемых сырьевых ресурсов / Н.В. Фомичева, Г.Ю. Рабинович, В.П. Молчанов, Е.М. Сульман // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. – 2018. – № 2. – С. 263–273. – EDN:PAEOQZ.
14. *Титова В.И., Седов Л.К., Дабахова Е.В.* Индустриальное птицеводство и экология: опыт сосуществования. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2004. – 251 с.
15. *Казан М.А., Месхи Б.Ч., Павлов А.В.* Производство картофеля в орошаемом земледелии / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. – 2018. – № 9. – С. 78–94.

16. *Uses* and management of poultry litter / N.S. Bolan, A.A. Stogy, T. Chuasayathil [et al.] // World's poult, Sci. J. – 2010. – Vol. 66. – pp. 673–698.
17. *Королев А.Н.* Картофель при орошении. – Волгоград: Эпос, 2016. – 109 с.
18. *Николаев Н.А., Галеев Р.Р.* Картофель в экстремальном земледелии Сибири. – Новосибирск: Листва, 2016 – 128 с.
19. *Методики* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – 362 с.
20. *Методика* исследований по культуре картофеля / ВНИИСХ. – М., 2007. – 39 с.
21. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. – 162 с.

REFERENCES

1. 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.)
2. Albert M.A., Galeev R.R., Kovalev E.A., *Vestnik NGAU* (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet), 2022, No. 2 (63), pp. 4–10. (In Russ.)
3. Mihajlov P.M., *Udobrenie kartofelja pri intensivnom zemledelii Sibiri* (Potato fertilization in intensive farming in Siberia), Novosibirsk: Agros-Sibir', 2014, 106 p.
4. Galeev R.R., *Osobennosti proizvodstva kartofelja v lesostepi Zapadnoj Sibiri* (Features of potato production in the forest-steppe of Western Siberia), Novosibirsk: Agro-Sibir', 2017, 126 p.
5. Proshkin M.A., *Perspektivy proizvodstva kartofelja v sisteme jekologicheskogo zemledelija* (Prospects for potato production in an ecological farming system), Kirov: Al'jans, 2016, 93 p.
6. Karlov N.N., *Kartofel' v Primor'e* (Potatoes in Primorye), Habarovsk: Vega, 2017, 89 p.
7. *Proizvodstvo semennogo kartofelja na ozdorovlennoj osnove* (Production of seed potatoes on a healthier basis), Novosibirsk: Ritm, 2017, 72 p.
8. *Mikroklonal'noe razmnozhenie v kartofelevodstve* (Micropropagation in potato growing), Penza: Izd–vo NIISH, 2009, 39 p.
9. *Puti povyshenija jeffektivnosti semenovodstva na bezvirusnoj osnove* (Ways to increase the efficiency of seed production on a virus-free basis), Brjansk, 2016, 108 p.
10. Galeev R.R., *Semenovodstvo kartofelja na bezvirusnoj osnove* (Virus-free potato seed production), Novosibirsk: Ritm, 2018, 93 p.
11. *Osobennosti vosproizvodstva ozdorovlennoj super-superjelity* (Peculiarities of reproduction of a healthy super-super elite), Krasnovo: Izd–vo VNIISH, 2014, 81 p.
12. Siderenko M.L., Buzoleva L.S., Slepcova N.A., Bojko A.N., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 4 (162), pp. 28–37. (In Russ.)
13. Fomicheva N.V., Rabinovich G.Ju., Molchanov V.P., Sul'man E.M., *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Biologija i jekologija*, 2018, No. 2, pp. 263–273, EDN:PAEOQZ. (In Russ.)
14. Titova V.I., Sedov L.K., Dabahova E.V., *Industrial'noe pticevodstvo i jekologija: opyt sosushhestvovanija* (Industrial poultry farming and ecology: experience of coexistence), Nizhnij Novgorod: Izd–vo VVAGS, 2004, 251 p.
15. Kazan M.A., Meshi B.Ch., Pavlov A.V., *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo–Kavkazskij region. Estestvennye nauki*, 2018, No. 9, pp. 78–94. (In Russ.)
16. Bolan N.S., Stogy A.A., Chuasayathil T., Seshadril B., Rothrock M.J., Panneerselvam P., Uses and management of poultry litter. World's poult, *Sci. J.* 2010. Vol. 66, pp. 673–698.
17. Korolev A.N., *Kartofel' pri oroshenii* (Potatoes under irrigation), Volgograd: Jepos, 2016, 109 p.
18. Nikolaev N.A., Galeev R.R., *Kartofel' v jekstremal'nom zemledelii Sibiri* (Potatoes in extreme farming in Siberia), Novosibirsk: Listva, 2016, 128 p.
19. *Metodiki gosudarstvennogo sortoispytanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur* (Methods for state variety testing of agricultural crops), Moscow: Agropromizdat, 1989, 362 p.
20. *Metodika issledovanij po kul'ture kartofelja* (Methods of research on potato culture), Moscow, 2007, 39 p.
21. Sorokin O.D., *Prikladnaja statistika na komp'jutere* (Applied statistics on the computer), Novosibirsk: Izd–vo SoRASHN, 2004, 162 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-139-146
УДК 638.132.2

МЕДОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСОВ КОМИССАРОВСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА УССУРИЙСКОГО ФИЛИАЛА КГКУ «ПРИМОРСКОЕ ЛЕСНИЧЕСТВО»

Л.Ю. Острошенко, кандидат биологических наук
М.А. Несмачный, обучающийся
Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, Россия
E-mail: OstroshenkoV@mail.ru

Ключевые слова: медовая продуктивность, медонос, нектар, липа Таке, липа амурская, липа маньчжурская, клен мелколистный.

Реферат. *Дальневосточная тайга – это настоящая кладовая меда, медовая целина дальневосточных лесов. Медоносная растительность Дальнего Востока, отличающаяся своим уникальным и богатым разнообразием, создает значительные ресурсы для медосбора. Пчелиный мед – это удивительное творение пчел и цветов, чудесный дар природы, который является сладким и вкусным природным лакомством. Запах и вкус меда всегда удивляют своей неповторимостью. Мед обладает целебными свойствами. Для дальневосточных лесных угодий характерно наличие большого удельного веса медовых запасов. Медоносами здесь являются липы, ивы, клены, а также эндемики: актинидия (Actinidia Lindl.), бархат амурский (Phellodendron amurense), аралия маньчжурская (Aralia elata (Miq.) Seem.), диморфант (Kalopanax Miq.), элеутерококк (Eleutherococcus Maxim.). Целью исследований явилось определение медопродуктивности клена и липы на территории Приморского края в Комиссаровском участковом лесничестве для дальнейшего расчета количества пчелиных семей на лесных участках. В результате проведенной работы установлено, что медоносы, произрастающие на территории лесничества, обладают высокой медопродуктивностью. Выявлено, что выход меда с одного гектара площади составил 11,2 кг/га. Площадь заложенного продуктивного круга – 805 га. Определенный возможный медосбор с лесных участков с наличием липы составил 31,7 кг/га. Возможность заготовки товарного меда позволила рассчитать количество пасек (3–4) и подобрать лесные участки для их оптимального размещения.*

HONEY PRODUCTIVITY OF FORESTS OF THE KOMISSAROVSKY DISTRICT FORESTRY OF THE USSURI BRANCH OF THE KSKU “PRIMORSKOYE FORESTRY”

L.Yu. Ostroshenko, Candidate of Biological Sciences
M.A. Nesmachny, student
Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriisk, Russia
E-mail: OstroshenkoV@mail.ru

***Ключевые слова*:** honey productivity, melliferous plant, nectar, Take linden, Amur linden, Manchurian linden, small-leaved maple.

Abstract. *The Far Eastern taiga is a real storehouse of honey, the honey virgin lands of the Far Eastern forests. Far Eastern melliferous vegetation, is distinguished by its unique and rich diversity, creates significant resources for honey collection. Bee honey is an amazing creation of bees and flowers, a wonderful gift of nature, which is a sweet and delicious natural delicacy. For the smell and taste of honey, they always surprise with their uniqueness. Honey has healing properties. Far Eastern forest lands are characterized by the presence of a large proportion of honey reserves. Honey plants here are lindens, willows, maples, as well as endemics: actinidia (Actinidia Lindl.), Amur velvet (Phellodendron amurense), Manchurian aralia (Aralia elata (Miq.) Seem.), dimorphant (Kalopanax Miq.), eleutherococcus (Eleuthero- coccus Maxim.). The purpose of the research was to determine honey productivity for further calculation of the number of bee colonies in forest areas. The results of the research showed that the yield of honey from one hectare of the area was 11.2 kg/ha. The area of the laid productive circle was 805 hectares. A certain possible honey harvest from forest areas with the presence of linden amounted to 31.7 kg/ha. The possibility of harvesting marketable honey made it possible to calculate the number of apiaries (3–4) and select forest areas for their optimal placement.*

Дальневосточная тайга отличается уникальным разнообразием медоносной растительности, которая создает значительные ресурсы для медосбора [1].

Юг Дальнего Востока, в особенности зона кедрово-широколиственных лесов, обладает благоприятными природными условиями для развития пчеловодства [2].

Пчелиный мед – это чудесный дар природы, удивительное творение пчел и цветов. Это сладкое и вкусное природное лакомство. Запах и вкус меда всегда отличаются своей неповторимостью. С давних времен людям известны полезные качества меда [3]. Он используется как продукт питания всех народов в течение многих веков.

На территории Дальневосточного региона произрастает более трехсот видов дикорастущих древесно-кустарниковых, лиановых, а также травянистых медоносных растений.

В богатой и разнообразной флоре юга Дальнего Востока выделено около девяноста видов основных и ста второстепенных медоносов. К наиболее ценным относятся все виды родов липы и клена (*Tilia* L., *Acer* L.) [4–10].

На Дальнем Востоке пчеловодство базируется в основном на естественных источниках медосбора, которые обладают большими медоносными ресурсами. Богатые медовые запасы имеют не покрытые лесной растительностью площади: редины, прогалины, гари, вырубки, обильно зарастающие медоносами – кипреем, малиной и др. Значительное место в создании медоносного потенциала занимают естественные пастбища и сенокосы [11–14].

Медоносные пчелы способны собирать в разные периоды сезона от 30 до 50 % выделяемого растениями нектара. Остальная часть потенциальных медовых запасов не может быть использована ими из-за неблагоприятных погодных условий во время цветения медоносов. Другую часть медовых запасов используют дикие насекомые, питающиеся нектаром, или представители лесной фауны (к примеру медведи), разоряющие ульи и питающиеся медом.

Леса Комиссаровского участкового лесничества Уссурийского филиала КГКУ «Приморское лесничество» богаты медоносными растениями, в том числе и липой.

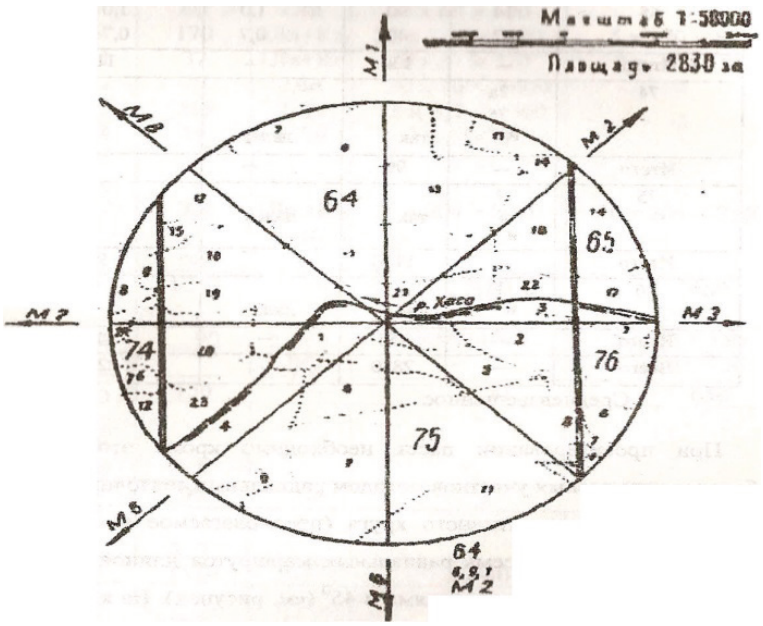
Уссурийский филиал КГКУ «Приморское лесничество» расположен в юго-западной части Приморского края на территории Пограничного, Ханкайского и Хорольского административных районов. Территория лесного фонда представлена несколькими отдельными массивами, наибольшая протяженность которых с севера на юг около 110 км, с запада на восток – 90 км. На этой территории размещены пять участковых лесничеств. Площадь Комиссаровского участкового лесничества составляет 54,3 тыс. га.

Целью настоящего исследования является выявление медопродуктивности клена и липы на территории Приморского края в Комиссаровском участковом лесничестве для дальнейшего расчета количества пчелиных семей на лесных участках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы проводили согласно методике, разработанной д-ром с.-х. наук А.Г. Измоденовым: на основе материалов лесоустройства по методу чистых древостоев.

Объектом исследований являлись липа Таке (*Tilia taquetii* C.K. Schneid.), амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), маньчжурская (*Tilia mandshurica* Rupr. & Maxim) и клен мелколистный (*Acer mono* Maxim.). Таксационную характеристику древостоев (диаметр, высоту, полноту, тип леса) изучали по материалам лесоустройства. Эти данные послужили для определения медопродуктивности, а также биологических, морфологических, экологических особенностей медоносных растений. В общем составе древостоя выявляли долю основных медоносов. С плана лесонасаждений с медоносами проводили выкопировку. Из-за небольших площадей выделов с медоносами намечали один продуктивный круг лета пчел, ограничивающийся радиусом 3 км (2 826 или 2 830 га). Вид продуктивного круга представлен на рисунке.



Продуктивный круг
Productive circle

По данным А.Г. Измоденова, полезный лет пчел от пасеки равен 2–3 км [15]. При лете дальше этого расстояния работа пчел становится непроизводительной. В расчетах продуктивный круг разбивали на составляющие: большой, средний и малый, радиусом 1, 2 и 3 км соответственно.

Первым этапом в работе по оценке «запаса» меда кормовой базы пасеки было определение количества медоносов в радиусе продуктивного лета пчел, оптимальное значение которого равно 3 км (площадь 2 830 га), причем площадь малого круга 314, среднего – 942 и большого – 1574 га. Однако из-за того, что пасека расположена на землях сельскохозяйственного пользования и не во всех обследованных выделах произрастают медоносы (липа и клен), значительная часть продуктивного круга выпала. Поэтому площадь, обладающая потенциальной медопродуктивностью, меньше и составляет 805 га. Площадь малого круга составляет 314 га, среднего – 268 га и большого – 223 га.

Далее была проведена оценка «запаса» меда кормовой базы пасеки: определено количество медоносов в радиусе продуктивного лета пчел. Определяли полноту.

Расчет медопродуктивности и количества пчелиных семей проведен на основе материалов лесоустройства по методу чистых древостоев медоносной древесной породы (согласно таблицам расчета медопродуктивности для древостоев полнотой 0,6–1,0).

Далее рассчитывали биологическую медопродуктивность на 1 га условно чистых древостоев, а также количество пчелиных семей, которое можно разместить на данной территории.

По данным В.К. Пельменева, биологическая медопродуктивность гектара чистых древостоев липы в кедрово-широколиственных лесах Хабаровского края колеблется в пределах 600–1000 кг [16].

Однако эти показатели рассматриваются для обильного цветения липы, а также для наиболее медопродуктивных разреженных лесов (с полнотой до 0,5), пройденных ранее выборочными рубками хвойных пород.

Исследования, проведенные А.Г. Измоденовым в высокополнотных древостоях (0,8–1,0) II–III классов бонитета, показали, что медопродуктивность деревьев липы (средний диаметр 28–44 см) в них значительно ниже и в год обильного цветения составляет 200–300 кг на 1 га чистых липняков.

Ввиду этого необходимо придерживаться следующих показателей медопродуктивности чистых древостоев липы, кг/га:

при полноте 0,8–1,0 – 250 (300–200);
при полноте 0,6–0,7 – 400 (500–300);
при полноте 0,3–0,5 – 600 (700–500).

Зная медопродуктивность гектара чистых древостоев, полноту древостоя, а также долю участия медоноса, рассчитывали биологическую медопродуктивность, возможный медосбор и необходимое количество пчелиных семей.

Для сравнения медопродуктивности древостоев, а также выхода валового количества меда с 1 га и всей площади медоносов, из таксационного описания выписывали все выделы, имеющие медоносы. Аналогично расчетам, проводимым по продуктивному кругу, осуществлялся расчет средней доли участия медоносных пород и средней полноты в составе древостоев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выявлено, что доля участия медоносных пород по кругам продуктивности неоднородна, по липе она колеблется от 9 % в большом круге до 39 % в малом; по клену – от 0,2 % в среднем круге до 2% в большом (табл. 1–3).

Так, отмечено, что в малом продуктивном круге радиусом 1 км доля участия медоносов по липе составляет 39 % (12 170 га), по клену значительно меньше – 0,5 га (150 га) (см. табл. 1).

В среднем продуктивном круге радиусом 2 км доля участия липы – 11 % (2900 га), клена – лишь 0,2 % (60 га) (см. табл. 2).

В большом продуктивном круге радиусом 3 км доля участия липы составляет 9 % (2030 га), клена – 2 % (510 га) (см. табл. 3).

Таблица 1

Расчет средней доли участия медоносных пород в составе древостоя малого продуктивного круга радиусом 1 км
Calculation of the average share of melliferous species in the composition of the stand of a small productive circle with a radius of 1 km

№ квартала	№ выдела	Площадь, га	Наличие медоносов, ед.	Расчет доли участия медоносов	
				Липа	Клен
				% х га	% х га
67	3 6 7 11	4,0 299,0 2,0 9,0	2Лп1Кл 4 Лп 2Лп1Кл 1Лп1Кл	20 х 4 = 80 40 х 299 = 11 960 20 х 2 = 40 10 х 9 = 90	10 х 4 = 40 10 х 2 = 20 10 х 9 = 90
Итого	х	314	х	12 170	150
Средневзвешенное				39 %	0,5 %

Таблица 2

Расчет средней доли участия медоносных пород в составе древостоя среднего продуктивного круга радиусом 2 км
Calculation of the average share of melliferous species in the composition of the stand of the middle productive circle with a radius of 2 km

№ квартала	№ выдела	Площадь, га	Наличие медоносов, ед.	Расчет доли участия медоносов	
				Липа	Клен
				% х га	% х га
65	11 12	4,0 23,0	1Лп 2Лп	10 х 4 = 40 20 х 23 = 460	
Итого	х	27,0	х	500	
67	1 3 6 7	2,0 1,0 235,0 3,0	1Лп1Кл 1Кл 1Лп 1Лп	10 х 2 = 20 10 х 235 = 2 350 10 х 3 = 30	10 х 2 = 20 10 х 1 = 10
Итого	х	241,0	х	2 400	30
Всего	х	268,0		2 900	60
Средневзвешенное				11 %	0,2 %

Таблица 3

Расчет средней доли участия медоносных пород в составе древостоя большого продуктивного круга радиусом 3 км
Calculation of the average share of melliferous species in the composition of the stand of a large productive circle with a radius of 3 km

№ квартала	№ выдела	Площадь, га	Наличие медоносов, ед.	Расчет доли участия медоносов	
				Липа	Клен
				% х га	% х га
65	10 11 12 13 17	1,0 2,0 11,0 6,0 1,0	1Кл 1Кл 2Лп 1Кл 1Кл	20 х 11 = 220	10 х 1 = 10 10 х 2 = 20 10 х 6 = 60 10 х 1 = 10
Итого	х	21,0	х	220	100
67	2	3,0	1Кл		10 х 3 = 30
	5	12,0	1Кл	10	10 х 12 = 120
	6	181,0	1Лп	10 х 181 = 1 810	
	8	2,0	2Кл		20 х8 = 160
	9	3,0	1Кл		10 х 9 = 90
	11	1,0	1Кл		10 х 1 = 10
Итого	х	202,0	х	1 810	410
Всего	х	223,0	х	2 030	510
Средневзвешенное				9 %	2 %

Установлено, что по средней полноте древостои в продуктивных кругах среднеполнотные – 0,7. По данным А.Г. Измоденова, в насаждениях с полнотой 0,6 и выше пчелы посещают в основном главный медонос (липу), другие медоносы – клен, кустарники и травы дают лишь поддерживающий взяток и практического значения не имеют. Поэтому расчет нами проводился только по липе.

Отмечено, что максимальное участие лип Таке, амурской и маньчжурской в составе насаждения отмечается на пониженных участках, а также на пологих горных склонах, т. е. предгорных и долинных.

Выявлено, что средний возможный медосбор за год в приведенном продуктивном круге составляет 27,1 т, или 27 100 кг. Поскольку норма сбора на одну семью в условиях юга Дальнего Востока составляет 150–200 кг, то количество меда (27,1 т) позволяет содержать от 136 до 181 пчелиной семьи (табл. 4).

Таблица 4

Расчет медопродуктивности и количества пчелиных семей продуктивного круга лесных угодий
Calculation of honey productivity and the number of bee colonies of the productive circle of forest lands

Круг	Биологический запас меда, т	Биологическая медопродуктивность гектара древостоев, кг	Возможный медосбор,т	Валовая медопродуктивность гектара древостоев, кг
Малый	113,2	40,0	37,7	13,3
65 %			14,7	5,2
Средний	86,8	30,8	29,0	10,2
30 %			11,2	3,9
Большой	71,3	25,2	23,8	8,4
5 %			1,2	0,4
Итого:	271,3	96,0	80,5	31,9
100 %			27,1	9,5

В практической деятельности нормой сбора меда на одну семью у дальневосточных пчеловодов является 150 кг, что объясняется частыми тайфунами, которые сопровождаются ливневыми осадками в середине летнего периода, снижающими активность лета пчел [10].

Средняя доля участия липы составила 12 %. Средняя полнота – 0,7.

В табл. 5 приведены данные медопродуктивности по всему лесничеству.

Таблица 5

Расчет медопродуктивности и количества пчелиных семей в лесных угодьях Комиссаровского участкового лесничества Уссурийского филиала КГКУ «Приморское лесничество»
Calculation of honey productivity and the number of bee colonies in the forest lands of the Komissarovsky district forestry of the Ussuri branch of the Primorsky Forestry

Кол-во кварталов	Биологический запас меда, т	Биологическая медопродуктивность гектара древостоев, кг	Возможный медосбор, т	Валовая медопродуктивность гектара древостоев, кг	Кол-во пчелиных семей (шт.) при норме медосбора на одну семью	
					200 кг	150 кг
6	95,1	33,6	31,7	29,9	158	212

Как видно из данных, приведенных в таблице, площадь лесных насаждений Комиссаровского участкового лесничества обладает высокой медопродуктивностью. Возможный медосбор составил 31,7 т.

ВЫВОДЫ

1. Максимальная доля участия лип Таке, амурской, а также маньчжурской в составе насаждения наблюдается на пониженных участках, а также на пологих горных склонах, т. е. предгорных и долинных.

2. В результате проведенных исследований выявлено, что медоносы, которые произрастают на территории лесничества, имеют высокую медопродуктивность. Возможный медосбор здесь определен по двум вариантам: по продуктивному кругу, а также по медопродуктивности всех лесных участков. Возможный валовый медосбор, который определен по расчету медопродуктивности каждого лесного участка, составил 31,7 т.

3. При мозаичном расположении мелких лесных выделов с медоносами, которые не позволяют заложить продуктивные круги диаметром 3 км, расчет медопродуктивности целесообразно проводить по каждому выделу. Для этого необходимо знать полноту, а также состав насаждения.

4. В высокополнотных древостоях все растения-медоносы обладают низкой медопродуктивностью, а также имеют незначительное количество цветков. Большая часть растений, которые находятся в подчиненном ярусе, не цветет, а цветущие слабо выделяют нектар. Распределение медоносных растений в лесах находится в тесной зависимости от плодородия почвы, глубины гумусового слоя и физиологии сообщества, а также от микроклимата.

5. Лучшей медопродуктивностью обладают древостои с полнотой 0,4–0,6 и с долей участия липы не менее 40 % в возрасте 120–250 лет. Такие древостои могут сформироваться путем направленного лесохозяйственного изреживания: проведения добровольно выборочных рубок в высокополнотных лесах с выборкой хвойных, твердолиственных пород, а также санитарных рубок, при которых вырубаются фаутные, больные, а также старые деревья.

6. Снижение полноты в древостоях с высокой полнотой позволит повысить сбор нектара пчелами за счет вовлечения не только липы, но и других травянистых и древесно-кустарниковых медоносов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сухомиров Г.И.* Пчеловодство на Дальнем Востоке: развитие и перспективы // Современные проблемы пчеловодства: мат-лы первой Междунар. конф., Грозный, 15–18 мая 2017 г. – Грозный: ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2017. – С. 229–236.

2. *Рубцова Т.А., Зубарева А.М.* Характеристика медоносных угодий и их пожароопасность в Еврейской автономной области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 32–43.
3. *Максимчук Д.А.* Продукция пчеловодства или уникальные свойства мёда // Лучшие научные исследования студентов и учащихся: сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 23 февраля 2023 г. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2023. – С. 48–52.
4. *Прогунков В.В.* Нектароносность липы // Пчеловодство. – 1975. – № 10. – С. 14–15.
5. *Прогунков В.В., Кузнецов Н.И.* Цветение и нектаропродуктивность липы маньчжурской // Пчеловодство. – 1976. – № 12. – С. 12–13.
6. *Прогунков В.В.* Нектаропродуктивность медоносных растений центральной части Приуссурья // Вопросы географии Дальнего Востока. – 1977. – № 17. – С. 141–149.
7. *Прогунков В.В.* Сезонный рост и нектаропродуктивность видов лип // Лесной журнал. – 1979. – № 2. – С. 24–27.
8. *Прогунков В.В.* Медопродуктивность липняков Приморья // Пчеловодство. – 1980. – № 9. – С. 7–8.
9. *Прогунков В.В.* Распределение древесных медоносных растений по высотным поясам юга Приамурья // Лесной журнал. – 1981. – № 1. – С. 124–127.
10. *Прогунков В.В.* Медоносная ценность кедрово-широколиственного леса юга Приамурья // Лесной журнал. – 1982. – № 5. – С. 31–35.
11. *Варфоломеев К.С.* Медоносные ресурсы Дальнего Востока // Пчеловодство. – 1991. – № 7. – С. 16–19.
12. *Васьковский И.И.* Повышение медоносности липовых деревьев и организация использования липы на медосборе. – Владивосток: Примиздат, 1954. – 28 с.
13. *Ганаев А.И., Смирнов В.М.* Пчеловоду Дальнего Востока. – Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1974. – 284 с.
14. *Измоденов А.Г.* Богатства кедрово-широколиственных лесов. – М.: Лесная пром., 1972. – 120 с.
15. *Измоденов А.Г.* Силедия: Начало учения. Лесные соки и ягоды: монография. – Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во, 2001. – 368 с.
16. *Пельменев В.К.* Справочная книга пчеловода. – Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во 1969. – 284 с.

REFERENCES

1. Suhomirov G.I., *Sovremennye problemy pchelovodstva* (Modern problems of beekeeping), Proceedings of the Conference Title, 2017, pp. 229–236. (In Russ.)
2. Rubtsova T.A., Zubareva A.M., *Izvestija vysshih uchebnyh zavedeniy. Lesnoj zhurnal*, 2022, No. 3, pp. 32–43, DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-32-4. (In Russ.)
3. Maksimchuk D.A., *Luchshie nauchnye issledovaniya studentov i uchashchikhsya* (The best scientific research of students and students), Proceedings of the Conference Title, Penza: MTsNS «Nauka i Prosveshchenie», 2023, pp. 48–52. (In Russ.)
4. Progunkov V.V., *Pchelovodstvo*, 1975, No. 10, pp. 14–15. (In Russ.)
5. Progunkov V.V., Kuznetsov N.I., *Pchelovodstvo*, 1976, No. 12, pp. 12–13. (In Russ.)
6. Progunkov V.V., *Voprosy geografii Dal'nego Vostoka*, 1977, No. 17, pp. 141–149. (In Russ.)
7. Progunkov V.V., *Lesnoj zhurnal*, 1979, No. 2, pp. 24–27. (In Russ.)
8. Progunkov V.V., *Pchelovodstvo*, 1980, No. 9, pp. 7–8. (In Russ.)
9. Progunkov V.V., *Lesnoj zhurnal*, 1981, No. 1, pp. 124–127. (In Russ.)
10. Progunkov V.V., *Lesnoj zhurnal*, 1982, No. 5, pp. 31–35. (In Russ.)
11. Varfolomeev K.S., *Pchelovodstvo*, 1991. No. 7, pp. 16–19. (In Russ.)
12. Vas'kovskiy I.I., *Povyshenie medonosnosti lipovykh derev'ev i organizatsiya ispol'zovaniya lipy na medosbore* (Increasing the melliferation of linden trees and organizing the use of linden in honey harvesting), Vladivostok: Primizdat, 1954, 28 p.
13. Ganaev A.I., Smirnov V.M., *Pchelovodu Dal'nego Vostoka* (Beekeeper of the Far East), Vladivostok: Dal'nevostochnoe knizhnoe izdatel'stvo, 1974, 284 p.
14. Izmodenov A.G., *Bogatstva kedrovo-shirokolistvennykh lesov* (Riches of cedar-deciduous forests), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1972, 120 p.

15. Izmodenov A.G., *Silediya: Nachalo ucheniya. Lesnye soki i yagody: monografiya. Uchebnik. Spravochnik. Povestvovanie* (Syledia: The beginning of the teaching. Forest Juices and Berries: Monograph. Textbook. Handbook. Narration), Khabarovsk: Khabarovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 2001, 368 p.
16. Pel'menev V.K., *Spravochnaya kniga pchelovoda* (Beekeeper's Reference Book), Khabarovsk: Knizhnoe izdatel'stvo, 1969, 284 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-147-156
УДК: 633.2:631.582(470.56)

ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В СИСТЕМЕ СЕВООБОРОТА И ПРИ БЕССМЕННОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

В.Ю. Скороходов, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru

***Ключевые слова*:** продуктивность, севооборот, удобрение, суданская трава, кукуруза на силос, ячмень, кормовая единица.

Реферат. *В статье рассмотрена продуктивность кормовых культур, полученная в системе севооборота и бессменного возделывания в течение 33 лет (с 1990 по 2022 гг.). Целью исследования является установление потенциальных продуктивных возможностей кормовых культур, возделываемых длительное время в системе шестипольных севооборотов с разными видами занятых паров и в монокультуре на двух фонах (удобренный, неудобренный) почвенного питания в условиях южноуральской степи. Объектами исследований выступают кормовые культуры (суданская трава, кукуруза на силос, ячмень, горох, овес). Место исследования – стационарный полевой опыт, расположенный в Оренбургской области (51.775125º с.ш., 55.306547º в.д.). Полевые культуры возделывались на двух агрофонах питания: удобренном $N_{40}P_{80}K_{40}$ и без удобрений. В статье описываются характерные особенности погодных условий за тридцать три года исследований, из которых десять лет соотносятся с условиями пустыни (ГТК < 0,4). Наибольшая продуктивность суданской травы получена в 1990 г. на фоне минеральных удобрений 6,23 тыс. кормовых единиц с 1 га и неудобренном 5,73 тыс. кормовых единиц на 1 га. Кукуруза на силос, возделываемая в севообороте при пролонгированном действии занятого однолетней культурой пара, по сбору кормовых единиц в сумме за годы исследований на фоне минеральных удобрений имела значение 108,52 тыс., на неудобренном – 106,16 тыс. При моновозделывании кукурузы на силос общий сбор кормовых единиц за весь период исследований составил на удобренном фоне 108,53 тыс., на неудобренном – 102,56 тыс. Выход кормовой продукции с 3 га севооборотной площади с почвозащитным паром составил на удобренном 259,80 тыс., с сидеральным паром – 256,26 и 232,49 тыс. кормовых единиц соответственно по фонам. Выращивание кукурузы на силос в бессменных посевах является самым высокопродуктивным вариантом среди изучаемых в опыте. За 33 года исследований по этому варианту получено 325,59 и 307,68 тыс. кормовых единиц соответственно по удобренному и неудобренному фону.*

PRODUCTIVITY OF FORAGE CROPS IN THE SYSTEM CROP ROTATION AND PERMANENT CULTIVATION IN THE STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS

V.Yu. Skorokhodov, Candidate of Agricultural Sciences

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru

Keywords: productivity, crop rotation, fertilizer, Sudanese grass, corn for silage, barley, feed unit.

Abstract. *This article discusses the productivity of fodder crops obtained in the system of crop rotation and permanent cultivation for a long time (33 years) for the period from 1990 to 2022. The aim of the study is to establish the potential productive capacity of fodder crops cultivated for a long time in the system of six-field crop rotations with different types of employed fallows and in monoculture on two backgrounds (fertilized, unfertilized) of soil nutrition in the conditions of the South Ural steppe. The objects of research are fodder crops (Sudanese grass, corn for silage, barley, peas, oats). The place of study was a stationary field experiment located in the Orenburg region (51.775125o N, 55.306547o E). Field crops were cultivated on two agrobackgrounds of nutrition – fertilized N40P80K40 and without fertilizers. The article describes the characteristic features of the weather conditions of 33 years of research, of which 10 correlate with desert conditions (HTC<0.4). The highest productivity of Sudanese grass was obtained in 1990 against the background of mineral fertilizers 6.23 thousand fodder units per 1 ha and unfertilized 5.73 thousand k.u. per 1 ha. Maize for silage cultivated in a crop rotation with prolonged action of a fallow occupied by an annual crop for the collection of fodder units in total over the*

years of research against the background of mineral fertilizers had a value of 108.52 thousand, for unfertilized – 106.16 thousand. units for the entire period of research amounted to 108.53 thousand on a fertilized background, 102.56 thousand on an unfertilized background. The yield of fodder products from 3 hectares of crop rotation area with soil-protective fallow was 259.80 thousand on a fertilized background, with green manure fallow 256.26 and 232 .49 thousand feed units, respectively, according to backgrounds. Growing corn for silage in permanent crops is the most highly productive option among those studied in the experiment. For 33 years of research on this option, 325.59 and 307.68 thousand feed units were obtained, respectively, on a fertilized and unfertilized background.

Выращивание экологически чистой сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации является приоритетной задачей для агропромышленного комплекса страны. Данная задача решается при научно обоснованном чередовании сельскохозяйственных культур в севооборотах современных систем земледелия. За счет биологизации севооборотов в земледелии решаются проблемы экологии, связанные с ростом нагрузки факторов интенсификации [1–3]. В разных почвенных и климатических условиях совершенствование севооборотов по принципу продуктивности и влияния на почвенное плодородие повышает эффективность земледелия [4, 5]. В зоне южноуральской степи изучение продуктивности полевых культур осуществляется в краткосрочных опытах. Необходимость данного подхода заключается в отсутствии анализа продуктивности в благоприятные и засушливые годы (когда урожайность полностью имеет зависимость от них) [6, 7]. Расширение севооборотов за счет высокопродуктивной культуры суданской травы и разработка научно обоснованных технологий ее возделывания считается одним из направлений укрепления отрасли животноводства [8, 9]. Суданская трава отличается высокой продуктивностью в условиях действия высоких температур воздуха и имеет универсальное использование [10].

Суданская трава является стрессоустойчивой в экстремальных климатических условиях культурой и по суточному приросту зеленой массы среди однолетних кормовых культур значительно превосходит кукурузу. Засухоустойчивость суданской травы обеспечивается благодаря мощной глубокопроникающей корневой системе, использующей влагу глубинных почвенных слоев [11].

Постоянный поиск увеличения объема кормов и улучшения их качества вызывает интерес к возделыванию суданской травы на сено и зеленую массу.

На 100 кг зеленой массы суданской травы приходится 19,0 кормоединиц и 2,3 кг переваримого протеина [12, 13].

При производстве грубых, сочных и искусственно обезвоженных кормов первостепенное значение имеет возделывание однолетней быстрорастущей культуры суданской травы, сочетающей ценные биологические и хозяйственные качества с высокой продуктивностью [14–16].

Одним из источников увеличения питательности концентрированных кормов является зернофуражная культура ячменя. На территории Оренбургской области доля ячменя в структуре посевных площадей составляет 20–25 % [17]. По мнению Н.А. Максютова, культура ячменя отзывается на внесение минеральных удобрений: во влажные годы на 0,8 т/га увеличивается продуктивность [19]. Зерновые культуры хорошо отзываются на внесение минеральных удобрений и выполнение других агроприемов увеличения продуктивности [21–23].

Высокая потребность в конкретном растениеводческом сырье делает возможным выращивание кормовых монокультур. Длительные опыты с кормовыми монокультурами на фоне изменяющегося климата массово представлены в западных странах (США, Германия, Дания и др.) [24, 25].

Одним из негативных почвенных процессов является снижение содержания в почве гумуса. Этот процесс постоянный и малозаметный. Для повышения почвенного плодородия необходимо вводить в севообороты сидеральные пары и промежуточные культуры с запашкой органической наземной массы. При запашке корнестерневых остатков и сидеральной массы увеличивается почвенное плодородие, превышающее эффект от применения органических удобрений. При этом в

севооборотах с сидеральным паром замедляются процессы минерализации гумуса [26, 27].

Цель исследования: определить потенциальные возможности кормовых культур, возделываемых длительное время в системе шестипольных севооборотов, и монокультуры на двух фонах почвенного питания в степной зоне Южного Урала. Установить влияние пролонгированного действия удобрений и севооборотов на продуктивность кормовых культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований выступали полевые культуры кормового назначения (суданская трава Бродская 2, ячмень Натали, кукуруза на силос РОСС-144 МВ, двухкомпонентная смесь гороха Чишминский 210 с овсом Скакун). Исследования проводились в 1990–2022 гг. на опытном участке, расположенном в Оренбургской области (51.775125° с.ш., 55.306547° в.д.). Полевые опыты закладывались согласно методике Б.А. Доспехова [28]. в четырехкратной повторности с систематическим расположением делянок. Общий размер делянок составил 3,6 × 90 м (324 м^2). Полевые культуры возделывались на двух агрофонах питания: удобренном $N_{40}P_{80}K_{40}$ и без удобрений. Почва опытного участка – чернозем южный карбонатный малогумусный тяжелосуглинистый с содержанием общего азота до 0,31 %, общего фосфора до 0,22 %, обменного калия до 3,8 %, гумуса 3,2–4,0 %. Среднемноголетнее количество осадков в районе выполнения исследований за год составляет 367 мм. Размер и площадь делянок удобренного фона – 3,6 × 30 м (108 м^2), без удобрения – 3,6 × 60 м (216 м^2 вторая часть делянки). Зерно ячменя учитывалось прямым комбайнированием Сампо 500 на фоне удобрений с 60 м^2, без них – 120 м^2. Урожайность парозанимающих культур (суданская трава и горохоовсяная смесь) учитывалась метровыми накладками с десяти мест на двух фонах почвенного питания (учетная площадь 10 м^2). Продуктивность кукурузы на силос учитывалась при срезании двух рядков растений в состоянии молочно-восковой спелости по длине делянки 30 м по удобренному фону и одного рядка длиной 60 м по неудобренному фону. Срезанная листостебельная масса кормовых культур взвешивалась на площадочных весах и затем приводилась расчетным способом к урожайности на 1 га. Технология возделывания кормовых культур, принятая для условий Оренбургской области. Посев ячменя, суданской травы, гороха и овса производился сеялкой СЗ-3,6, соответствующей ширине опытной делянки. Повторность опыта четырехкратная, расположение делянок систематическое.

Схема изучения кормовых культур

Севооборот, монопосев	Варианты опыта	Номер поля, культура, пары					
		1	2	3	4	5	6
Шестипольный севооборот	I	Парозанимающая культура суданской травы (почвозащитный)	Твердая пшеница	Мягкая пшеница	Кукуруза	Мягкая пшеница	Ячмень
	II	Парозанимающая смесь горохом с овсом (сидеральный)					
Монокультура	III	Кукуруза					
	IV	Ячмень					

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Годы эксперимента включают все многообразие условий от очень влажных до очень засушливых лет с низким гидротермическим коэффициэнтом по по Г.Т. Селянинову (ГТК). На рис. 1 представлен показатель ГТК вегетационного периода и продуктивность зеленой массы суданской травы, выраженная в кормовых единицах на двух фонах почвенного питания (удобренном и неудобренном).

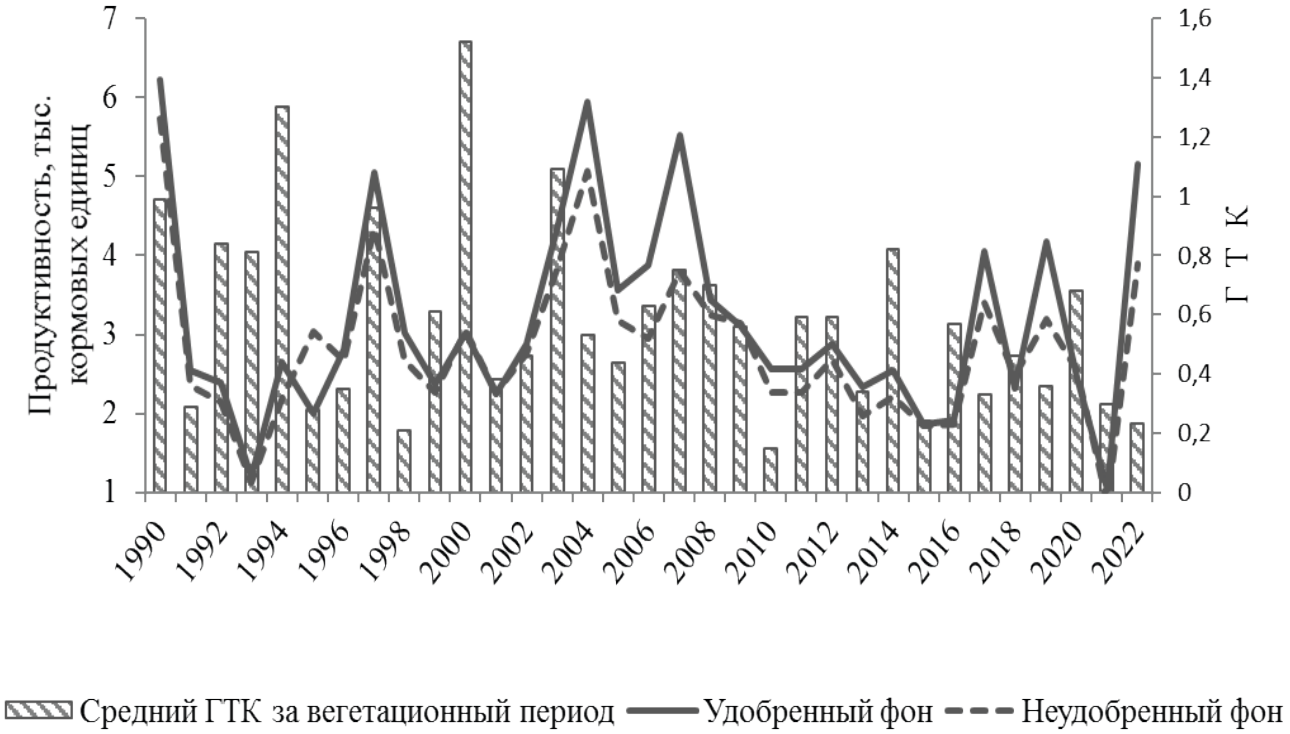


Рис. 1. Гидротермический коэффициент вегетационного периода и продуктивность суданской травы в кормовых единицах на двух агрофонах питания за годы эксперимента (1990–2022 гг.)

Hydrothermal coefficient of the growing season and productivity of Sudan grass in feed units on two agricultural nutrition backgrounds over the years of the experiment (1990–2022)

За 33 года эксперимента слабая засушливость отмечалась в 1994 и 2000 гг. (ГТК составил 1,0–1,3 ед.). Умеренная засушливость (при ГТК = 0,7–1,0) проявлялась в восьми годах: 1990, 1997, 2003, с 2006 по 2008, 2013, 2022 гг. Очень сильной засухе подверглись 1992, 1993, 1999, 2004, 2005, 2009, 2011, 2012, с 2014 по 2017, 2019 гг., при этом ГТК составил 0,4–0,7 ед. В течении десяти лет исследований ГТК был менее 0,4 ед., что соответствовало условиям пустынной местности, к этим годам относятся 1991, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2010, 2018, 2020 и 2021.

Наибольшая продуктивность суданской травы получена в 1990 г. на фоне минеральных удобрений (6,23 тыс. к. е. с 1 га) и неудобренном (5,73 тыс. к.е. на 1 га). Также наибольший сбор кормовых единиц суданской травы на двух фонах почвенного питания составил в 1997 г. 5,05 и 4,35 тыс., в 2003 г. – 4,33 и 3,83 тыс., в 2004 г. – 5,95 и 5,06 тыс., в 2007 г. – 5,52 и 3,81 тыс., 2022 г. – 5,16 и 3,90 тыс. с удобрением и без его применения соответственно.

Важной составляющей оценки сельскохозяйственных культур, возделываемых бессменно и в севооборотах, является продуктивность. Нами подсчитана продуктивность кормовых культур за длительный промежуток времени (на основании полученной урожайности за 1990–2022 гг.). В табл. 1 представлена продуктивность кормовых культур, возделываемых в севооборотах и монопосевах (выраженная в тысячах кормовых единиц) на двух фонах питания.

Таблица 1

Продуктивность кормовых культур в севообороте и при моновозделывании на двух агрофонах питания, выраженная в тысячах кормовых единиц (в сумме за 1990–2022 гг.)
Productivity of forage crops in crop rotation and during mono-cultivation on two agricultural backgrounds, expressed in thousands of feed units (in total for 1990–2022)

Вариант севооборота, монопосева	Культура	Фон питания	Выход кормовых единиц по культурам (сумма), тыс.	$НСР_{05}$		Выход кормовых единиц с 3 га (сумма за 1990–2022 гг.), тыс.	
						A	B
Почвозащитный	Суданская трава	A	104,00	0,36	0,14	276,36	259,80
		B	93,30	0,27			
	Кукуруза	A	108,52	0,87	0,27		
		B	106,16	0,82			
	Ячмень	A	63,84	0,53	0,10		
		B	60,34	0,48			
Сидеральный	Злаково-бобовая смесь	A	80,33	0,51	0,20	256,26	232,49
		B	69,45	0,44			
	Кукуруза	A	110,05	0,89	0,37		
		B	105,37	0,77			
	Ячмень	A	65,88	0,51	0,13		
		B	57,67	0,41			
Бессменная кукуруза		A	108,53	0,86	0,32	325,59	307,68
		B	102,56	0,85			
Бессменный ячмень		A	55,67	0,51	0,13	167,01	158,73
		B	52,91	0,47			

Примечание. A – удобренный фон, *B* – неудобренный.

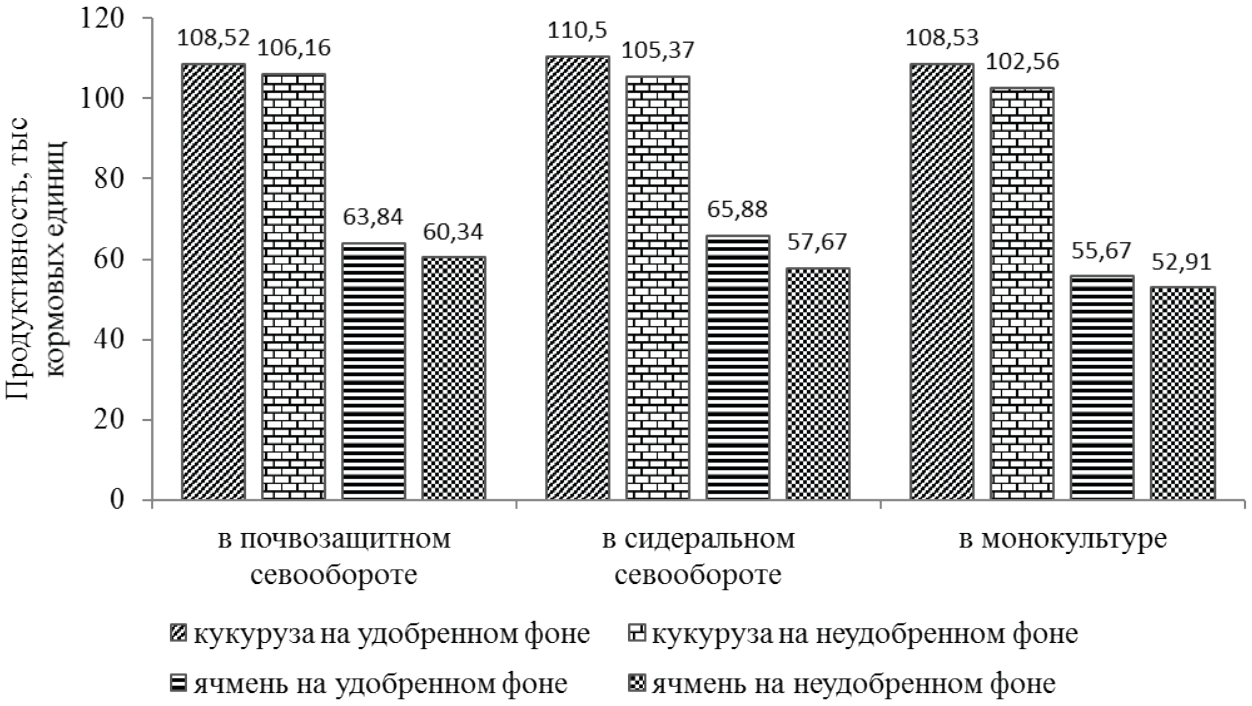


Рис. 2. Продуктивность ячменя, кукурузы на силос, возделываемых в севооборотах и монокультуре на двух агрофонах питания

Productivity of barley and corn for silage, cultivated in crop rotation and monoculture on two agricultural backgrounds

В кормовом отношении наиболее продуктивной культурой является кукуруза на силос, возделываемая в севообороте при пролонгированном действии занятого пара с суданской травой. Сбор кормовых единиц в сумме за годы исследований по этому варианту составил на фоне применения минеральных удобрений 108,52 тыс., на неудобренном 106,16 тыс. (рис. 2).

При моновозделывании кукурузы на силос общий сбор кормовых единиц за весь период исследований составил на удобренном фоне 108,53 тыс., на неудобренном – 102,56 тыс. Для сопоставления продуктивности суммы кормовых культур в севооборотах подсчитан выход кормовых единиц с 3 га. Выход кормовой продукции с 3 га севооборотной площади с почвозащитным паром составил на удобренном фоне 276,36 тыс., на неудобренном 259,80 тыс., с сидеральным паром 256,25 и 232,49 тыс. кормовых единиц соответственно по фонам. Продуктивность монопосевов кукурузы в сумме с 3 га пашни за годы исследований составила на фоне удобрения 325,59 тыс., без удобрения – 307,68 тыс. Выращивание кукурузы на силос в бессменных посевах является самым высокопродуктивным вариантом среди изучаемых в опыте.

На основании полученных данных по севооборотам и бессменному посеву, нами проведена экономическая и энергетическая оценка (в ценах 2022 г.) по двум основным показателям: прибыли и рентабельности производства продукции. Сравнительную оценку проводили на удобренном и неудобренном фонах. Как показало наше исследование, в засушливых условиях Оренбургской области применение минеральных удобрений в посевах кормовых культур низкорентабельно и убыточно. К убыточности вариантов с кормовыми культурами приводит высокая цена самих минеральных удобрений. Также из-за часто повторяющихся засух, особенно во второй половине лета, происходит сильное иссушение корнеобитаемого слоя, что делает минеральные удобрения недоступными для растений. Кроме того, в засушливых условиях региона возрастает почвенная концентрация солей, внесенных с минеральными удобрениями и поднимающихся из глубоколежащих слоев почвы, что создает стрессовую ситуацию для растений. Данное засоление почвы во время летних засух препятствует поступлению в растение почвенной влаги. Кормовые культуры в данном случае лишаются возможности использования почвенной влаги и потребления элементов почвенного питания. Макроэлементы в виде минеральных удобрений остаются «законсервированными» в почве до наступления влажных периодов вегетации. В последующем во влажные годы макроэлементы используются сегетальной растительностью, которая находилась в состоянии покоя семян ввиду их непрорастания в периоды засухи. Во влажные годы, при выпадении дождей в первой половине лета, кормовые культуры формируют корневую систему в верхних почвенных слоях. При наступлении дефицита влажности при использовании минеральных удобрений они сильно угнетаются и снижают свою урожайность на удобренном фоне. Таким образом, формируется поверхностный тип питания кормовых культур, когда при благоприятных условиях корни не проникают в глубоколежащие почвенные горизонты. Небольшая прибавка урожайности кормовых культур на удобренном фоне не покрывает затрат на приобретение и использование минеральных удобрений в засушливых условиях. В шестипольных севооборотах при возделывании кормовых культур с почвозащитными и сидеральными парами отсутствует экономический эффект от удобрений. Максимальный убыток от применения удобрения получен в сидеральном севообороте – 3 156,10 руб. на 1 га (табл. 2).

Наибольшая прибыль получена в почвозащитном севообороте на неудобренном фоне. Она составила 5 632,10 руб. на 1 га. Рентабельность севооборота с почвозащитным паром повышается за счет суданской травы, возделываемой в качестве парозанимающей культуры. Бессменный посев ячменя в среднем за 3 года исследований оказался самым рентабельным. На удобренном фоне рентабельность составила 28 %, без использования минеральных удобрений – 209,7 %.

Таблица 2

Экономическая и энергетическая оценка возделывания кормовых культур в севооборотах и бессменных посевах (в среднем за 1990–2022 гг.)
Economic and energy assessment of the cultivation of forage crops in crop rotations and permanent crops (average for 1990–2022)

Варианты севооборота, монопосева	Фон питания	Продуктивность, корм. ед.	Прибыль, руб. на 1 га	Рентабельность, %	$Э_{эф}$
Пар почвозащитный (занятый суданской травой) – твердая пшеница – мягкая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень	А	8,37	-893,40	-5,30	1,95
	В	7,87	5 632,10	72,70	2,75
Пар сидеральный (горох с овсом) – твердая, пшеница –мягкая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень	А	7,76	-3 156,10	-20,70	2,15
	В	7,04	3 095,30	42,10	3,98
Кукуруза на силос (монопосев)	А	9,8	3 786,20	3,30	3,79
	В	9,32	6 193,40	21,90	3,99
Ячмень (монопосев)	А	5,06	1 694,50	28,00	2,92
	В	4,81	5 095,80	209,70	3,95

Примечание. А – удобренный фон, *В* – неудобренный фон; $Э_{эф}$ – коэффициент энергетической эффективности.

ВЫВОДЫ

1. Длительное применение минеральных удобрений в севооборотах и бессменных посевах имеет пролонгированное действие. Так, при возделывании кормовых культур в севообороте с почвозащитным паром (занятым летним посевом суданской травы) на удобренном фоне возрастает сбор кормовых единиц на 6,4 % по сравнению с неудобренным (в сумме за 33 года исследований). Продуктивность кормовых культур в севообороте с сидеральным паром увеличивается при использовании минеральных удобрений на 10,2 %. Что в первую очередь объясняется положительным влиянием на почвенное плодородие запахиваемой сидеральной массы.

2. При бессменном возделывании кукурузы на силос и ячменя на удобренном фоне общий сбор кормовых единиц за 33 года исследований увеличился на 5,8 и 5,2 % соответственно. Продуктивность монопосевов кукурузы является самым высокопродуктивным вариантом среди изучаемых в опыте. Сбор кормовых единицс 3 га пашни составил на удобренном фоне 325,59 тыс., на неудобренном – 307,68 тыс. ед. В хозяйствах, занимающихся молочным направлением, возделывание кукурузы на силос бессменно является перспективным мероприятием, обеспечивающим большой вал сочных кормов. При изучении продуктивности суданской травы установлен наибольший валовый сбор кормовых единиц (6,23 тыс. к.е. с 1 га) в 1990 г. при использовании минеральных удобрений. Применение почвозащитного пара положительно влияет на рост урожайности ячменя. Выход кормовых единиц ячменя на неудобренном фоне в севообороте с почвозащитным паром (в сумме за 1990–2022 гг.) составил 60,34 тыс. к.е.

3. В засушливых регионах для сельхозтоваропроизводителей, ориентированных на производство молока и мяса, рекомендуются шестипольные севообороты с занятым летним посевом суданской травы паром без применения минеральных удобрений (рентабельность такого севооборота составляет 72,7 %). Наряду с рекомендацией севооборотов с занятым паром возможно возделывание кукурузы на силос и ячменя на зерно в бессменных посевах.

Исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательской работы «Разработка научно обоснованных параметров продуктивности агроценозов с улучшенными показателями качества продукции растениеводства на основе кормовых культур, применения новых технологических приемов совершенствования видов севооборотов, использования методов долгосрочного прогнозирования урожайности для хозяйств степной зоны с различным уровнем интенсификации и специализации в условиях изменяющегося климата и нарастающего антропогенного воздействия (№ FNWZ-2022-0014)» на 2022–2024 гг. ФГБНУ «ФНЦ БСТ РАН».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лошаков В.Г.* Эффективность раздельного и совместного использования севооборота и удобрений // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 1. – С. 9–13.
2. *Brankatschk G., Finkbeiner M.* Modeling crop rotation in agricultural LCAs – challenges and potrntial solutions // Agricultural Sustems. – 2015. – № 1 (38). – P. 66–76.
3. *Brankatschk G., Finkbeiner M.* Crop rotations and crop residues are relevant pfrfmetrs for agricultural Carbon footprints // Agronomy for Sustainable Development. – 2017. – P. 37–58.
4. *Почвозащитные* мероприятия при возделывании полевых культур в системе контурно–полосной организации эрозионно опасного склона / А.Е. Мищенко, Н.Н. Кисс, Э.А. Гаевая, А.П. Васильченко, А.В. Мищенко // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 2 (30). – С. 49–53.
5. *Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Попов Ф.А.* Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – № 20 (5). – С. 467–477.
6. *Чесалин С.Ф., Смольский Е.В., Нечаев М.М.* Реализация потенциала продуктивности кормовых культур в условиях запада Брянской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. –№ 1 (58). – С. 64–74.
7. *Скороходов В.Ю.* Урожайность кукурузы на силос в севооборотах и при бессменном возделывании в зависимости от предшественника на двух уровнях интенсификации в степной зоне Южного Урала // Известия ОГАУ (Оренбургский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2 (82). – С. 68–72.
8. *Ковтунова Н.А.* Биологические особенности роста и развития суданской травы // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 48–51.
9. *Влияние* факторов биологизации и химизации на фитосанитарное состояние ячменя в лесостепи Западной Сибири / Л.Ф. Ашмарина, Р.Ф. Галеев, О.Н. Шашкова, А.И. Ермохина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 1 (58). – С. 7–16.
10. *Продуктивность* и питательная ценность суданской травы при возделывании на зеленый корм / Ю.Н. Плескачев, Ю.А. Лаптина, О.Г. Гриченкова, Н.А. Куликова // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 8. – С. 28–33.
11. *Способы* посева кукурузы при возделывании на силос в условиях лесостепной зоны Западной Сибири / Н.И. Кашеваров, А.А. Полищук, А.Н. Лебедев, В.И. Пономарева, М.В. Хазов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3 (60). – С. 31–36.
12. *Фомин В.Н., Нафиков М.М., Медведев В.В.* Влияние приемов обработки почвы и удобрений на урожайность и засоренность посевов кукурузы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. – Т. 12, № 4–2 (47). – С. 75–79.
13. *Эффективность* возделывания зеленой массы гибридов кукурузы на расчетных фонах минерального питания в условиях Предволжья Республики Татарстан / И.П. Таланов, Л.З. Каримова, Л.Т. Вафина, Г.К. Хузина // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12, № 1 (43). – С. 40–45.
14. *Шишова Е.А.* Качество зеленой массы суданской травы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 2. – С. 145–151.
15. *Лиховцова Е.А., Николайченко Н.В., Норовяткин В.И.* Влияние азотно-фосфорных удобрений на плодородие темно-каштановой почвы и продуктивность различных сортов суданской травы // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 1. – С. 26–28.
16. *Лаптина Ю.А., Куликова Н.А.* Приемы повышения продуктивности суданской травы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1 (61). – С. 211–221.
17. *Тишков Н.И., Тимошенкова Т.А.* Результаты и перспективы селекции ярового ячменя в Оренбуржье // Повышение эффективности сельскохозяйственного производства в степной зоне Урала: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Гос. науч. учреждения «Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». – Оренбург, 2012. – С. 221–231.
18. *Оценка* адаптивных свойств сортов ярового ячменя в степных условиях Сибирского Прииртышья / П.Н. Николаев, Н.И. Аниськов, О.А. Юсова, И.В. Сафонова, П.В. Поползухин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 2 (47). – С. 37–44.

19. *Максютов Н.А.* Оценка эффективности беспарвоых севооборотов и бессменных посевов сельскохозяйственных культур // Наука и хлеб. – 1996. – Вып. 4 – С. 136–143.
20. *Таланов И.П., Каримова Л.З.* Продуктивность ячменя в зависимости от фонов питания и нормы высева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № 3 (54). – С. 67–70.
21. *Скороходов В.Ю.* Урожайность ячменя в шестипольных севооборотах на черноземах южных степной зоны Южного Урала // Известия ОГАУ (Оренбургский государственный аграрный университет). – 2019. – № 5 (79). – С. 93–97.
22. *Кирюшин В.И.* Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 30 (3). – С. 19–25.
23. *Яровой* ячмень – основная кормовая культура в Республике Марий Эл / В.А. Максимов, Г.М. Виноградов, Р.И. Золотарева, Л.И. Иванова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 11, № 1 (39). – С. 22–26.
24. *Miles R., Drown S., Agron S.* The Sanborn field experiment implication for long – term soil organic carbon levels. – 2011. – Vol. 103, N 1. – P. 268–278.
25. *Скороходов В.Ю.* Продуктивность полевых монокультур и возделываемых в севообороте в зависимости от содержания нитратного азота и биологической активности почвы на черноземах южных степных районов Южного Урала // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1 (53). – С. 60–67.
26. *Overestimation* of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter / J. Hirte, J. Leifeld, S. Abiven [et al.] // Front Plaht Sci. – 2017. – № 8. – P. 284.
27. *Cover* crop resiedue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization / B. Ghimire, R. Ghimire, D. Vanleeuwen, A. Mesbah // Sustainability. – 2017. – N 9. – C. 14.
28. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – Москва, 2012. – 352 с.

REFERENCES

1. Loshakov V.G., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2016, No. 1, pp. 9–13. (In Russ.)
2. Brankatschk G., Finkbeiner M., Modeling crop rotation in agricultural LCAs – challenges and potential solutions, *Agricultural Sustems*, 2015, No. 1 (38), pp. 66–76.
3. Brankatschk G., Finkbeiner M., Crop rotations and crop residues are relevant pfrfmetrs for agricultural Carbon footprints, *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, pp. 37–58.
4. Mishchenko A.E., Kiss N.N., Gaevaya E.A., Vasilchenko A.P. Mishchenko A.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2016, No. 2 (30), pp. 49–53. (In Russ.)
5. Kozlova L.M., Noskova E.N., Popov F.A., *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2019, No. 20 (5), pp. 467–477. (In Russ.)
6. Chesalin S.F., Smolsky E.V., Nechaev M.M., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 1 (58). – pp. 64–74. (In Russ.)
7. Skorokhodov V.Yu., *Izvestija OGAU*, 2020, No. 2 (82), pp. 68–72. (In Russ.)
8. Kovtunova N.A., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2016, T. 30, No. 6, pp. 48–51. (In Russ.)
9. Ashmarina L.F., Galeev R.F., Shashkova O.N., Ermokhina A.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 1 (58), pp. 7–16. (In Russ.)
10. Pleskachev Yu.N., Laptina Yu.A., Grichenkova O.G., Kulikova N.A., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal,* 2021, No. 8, pp. 28–33. (In Russ.)
11. Kashevarov N.I., Polishchuk A.A., Lebedev A.N., Ponomareva V.I., Khazov M.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet),* 2021, No. 3 (60), pp. 31–36. (In Russ.)
12. Fomin V.N., Nafikov M.M., Medvedev V.V., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, Vol., 12, No. 4–2 (47), pp. 75–79. (In Russ.)
13. Talanov I.P., Karimova L.Z., Vafina L.T., Khuzina G.K., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, Vol. 12, No. 1 (43), pp. 40–45. (In Russ.)
14. Shishova E.A., *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2017, No. 2, pp. 145–151. (In Russ.)

15. Likhovtsova E.A., Nikolaychenko N.V., Norovyatkin V.I., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2015, No. 1, pp. 26–28. (In Russ.)
16. Laptina Yu.A., Kulikova N.A., *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 1 (61), pp. 211–221. (In Russ.)
17. Tishkov N.I., Timoshenkova T.A., *Povyshenie jeffektivnosti sel'skohozjajstvennogo proizvodstva v stepnoj zone Urala* (Improving the efficiency of agricultural production in the steppe zone of the Urals), Proceedings of the Conference Title, Orenburg, 2012, pp. 221–231. (In Russ.)
18. Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V., Popolzukhin P.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet),* 2018, No. 2 (47), pp. 37–44. (In Russ.)
19. Maksyutov N.A., *Nauka i hleb*, 1996, Is. 4, pp. 136–143. (In Russ.)
20. Talanov I.P., Karimova L.Z., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, Vol. 14, No. 3 (54), pp. 67–70. (In Russ.)
21. Skorokhodov V.Yu., *Izvestiya OGAU*, 2019, No. 5 (79), pp. 93–97. (In Russ.)
22. Kiryushin V.I., *Dostizhenija nauki i tehniki APK,* 2016, No. 30 (3), pp. 19–25. (In Russ.)
23. Maksimov V.A., Vinogradov G.M., Zolotareva R.I., Ivanova L.I., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, Vol. 11, No. 1 (39), pp. 22–26. (In Russ.)
24. Miles R., Drown S., Agron S., The Sanborn field experiment implication for long-term soil organic carbon levels, 2011, Vol. 103, No. 1, pp. 268–278.
25. Skorokhodov V.Yu., *Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2021, No. 1 (53), pp. 60–67. (In Russ.)
26. Hirte J., Leifeld J., Abiven S. [et al.], Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter, *Front Plaht Sci.*, 2017, No. 8, pp. 284.
27. Ghimire B., Ghimire R., Vanleeuwen D., Mesbah A., Cover crop resiedue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization, *Sustainability*, 2017, No. 9, pp. 14.
28. Dospekhov B.A., *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Book on Demand, 2012, 352 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-157-167
УДК 632.931 632.934 632.4

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВЫХ ГНИЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ

[1,2]**Е.С. Фещенко**, аспирант
[1]**Е.Ю. Торопова**, доктор биологических наук, профессор
[1]*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
[2]*МЖК «Альва-фарм» (ООО), Нововоскресенка Новосибирской области, Россия*
E-mail: 89139148962@yandex.ru

***Ключевые слова**:* яровая пшеница, фитопатоген, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium spp*., протравливание семян.

Реферат. *Цель работы состояла в установлении влияния предшественников яровой пшеницы и препаратов для предпосевной обработки семян на паразитическую активность Bipolaris sorokiniana и грибов рода Fusarium. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в лесостепи Приобья в сельскохозяйственном предприятии МЖК «Альва-фарм» (ООО) Новосибирской области на сорте Новосибирская 31, использовали общепринятые и авторские методы. В годы исследований яровая пшеница по всем вариантам поражалась корневыми гнилями выше порога вредоносности. Развитие корневых гнилей достигало 9,6 ПВ. Сила влияния фактора «год» на развитие корневых гнилей всходов составила 42,2 %, фактора «протравливание» – 21,4 %, фактора «предшественник» – 8,8 %. Развитие корневой гнили в фазе полной спелости в среднем за 3 года было минимальным по паровому предшественнику – 33,8 %, что на 7,3 % меньше, чем по озимой ржи. Сила влияния фактора «предшественник» на развитие в конце вегетации составила 41,1 %, фактора «протравливание» – 8,5 %, а взаимосвязь факторов «год» и «предшественник» – 38,1 %. Протравливание семян показало среднюю эффективность по всем вариантам: 47,1–59,4 % в фазу всходов и 3,0–19,0 % в фазу полной спелости. Этиология корневых гнилей была представлена Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. и грибами рода Fusarium Link. Соотношение фитопатогенов на подземных органах определялось условиями года, органами растения и предшественниками и колебалось по вариантам от 0,8 : 1 до полного доминирования грибов рода Fusarium. Условия года влияли на биологическое разнообразие микромицетов – возбудителей корневых гнилей. На первичных корнях сила влияния условий года на биологическое разнообразие фитопатогенов составила 48,2 %, на основании стебля – 60,7 % и была достоверна на 5 и 1 % уровнях значимости соответственно. Супрессивность почвы к фитопатогенам по всем предшественникам была от умеренной до сильной и достигала 83,3 % к B. sorokiniana и 78,0 % к F. oxysporum, фитосанитарные предшественники (пар, вико-овес) достоверно увеличивали супрессивность почвы к фитопатогенам по сравнению с зерновым предшественником.*

FEATURES OF ROOT ROT INCIDENCE DEPENDING ON ELEMENTS OF SPRING WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY IN THE OB REGION FOREST-STEPPE

[1,2]**E.S. Feshchenko,** graduate student
[1]**E.Yu. Toropova,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[1]*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
[2]*MZhK "Alva-pharm" (LLC), Novovoskresenka village, Novosibirsk region, Russia*
E-mail: 89139148962@yandex.ru

***Keywords*:** spring wheat, phytopathogen, Bipolaris sorokiniana, Fusarium spp., seed treatment.

Abstract. *The goal of the work was to establish the influence of spring wheat precursors and preparations for pre-sowing seed treatment on the parasitic activity of Bipolaris sorokiniana and Fusarium fungi. The studies were conducted in 2021–2023 in the Ob region forest-steppe in the agricultural enterprise MZhK "Alvapharm" (LLC) in the Novosibirsk region on the Novosibirskaya 31 variety, we used generally accepted and proprietary methods. During the years of the study, spring wheat in all variants was affected by root rot above the threshold of harmfulness. The development of root rot reached 9.6 PV. The influence of the "year" factor on the development of root rot of seedlings was 42.2 %, the "treatment" factor was 21.4 %, and the "predecessor" factor was 8.8 %. The*

incidence of root rot in the phase of full ripeness on average over 3 years was minimal for the steam predecessor – 33.8 %, which is 7.3 % less than for winter rye. The strength of influence of the "predecessor" factor on disease incidence at the end of the growing season was 41.1 %, the "treatment" factor was 8.5 %, and the relationship between the "year" and "predecessor" factors was 38.1 %. Seed treatment showed average efficiency for all options: 47.1–59.4 % in the germination phase and 3.0–19.0 % in the full ripeness phase. The etiology of root rots was represented by Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. and Fusarium Link. fungi. The ratio of phytopathogens on underground organs was determined by the conditions of the year, plant organs and precursors and ranged across variants from 0.8 : 1 to complete dominance of Fusarium fungi. The conditions of the year influenced the biological diversity of root rot micromycetes. On primary roots, the strength of the influence of year conditions on the biological diversity of phytopathogens was 48.2%, on the base of the stem – 60.7% and was significant at 5 and 1% significance levels, respectively. The soil suppressiveness to phytopathogens for all precursors was from moderate to strong and reached 83.3 % for B. sorokiniana and 78.0 % for F. oxysporum; phytosanitary precursors (fallow, vico- oats) significantly increased the soil suppressiveness for phytopathogens compared to grain predecessor.

Одним из основных элементов продовольственной безопасности Российской Федерации является обеспечение внутреннего рынка отечественным зерном [1]. По результатам 2022 г., в стране было произведено около 157,7 млн т зерна, из которых более 104 млн т (или 65,9 %) составляет зерно пшеницы [2]. В Новосибирской области доля яровой пшеницы в общем объеме производства зерна составляет 59,5 % (2,0 млн т из 3,36 млн т).

Повсеместно распространенные почвенные инфекции ежегодно причиняют значительный ущерб урожайности и качеству зерна [3]. Грибы рода *Fusarium* Link. – возбудители болезней более 200 видов растений, *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (син. *Helminthosporium sativum* Pam., King et Bakke; *H. sorokiniana* Sacc.; *Drechslera sorokiniana* Subram) – более 60 видов культурных и дикорастущих растений заселяют почвы умеренных зон всего мира [4–6]. Многие возбудители корневых инфекций отмечаются активным токсинообразованием, приводящим к загрязнению зерна микотоксинами, опасными для здоровья людей и сельскохозяйственных животных [7–10].

Паразитическая активность фитопатогена регулируется комплексом биотических, абиотических и антропогенных факторов, влияющих как непосредственно на фитопатогена, так и на защитные механизмы растений [9, 11]. Среди природных биотических факторов важнейшая роль принадлежит супрессорам почвы, ограничивающим длительность выживания покоящихся структур микромицетов в почве [12]. Среди абиотических факторов решающая роль принадлежит гидротермическим стрессам, повышающим агрессивность фитопатогенов и восприимчивость растений к корневым гнилям [13, 14].

Для оздоровления семян и защиты проростков и всходов яровой пшеницы от возбудителей корневых гнилей широко применяют протравливание семян препаратами различных химических составов и назначений [15, 16]. Огромную роль в оздоровлении почвы от вредных организмов, особенно от возбудителей корневых гнилей, играет введение в севообороты фитосанитарных предшественников (черный и сидеральный пар, вико-овсяная смесь, донник и др.) [17].

Цель исследований – установить влияние предшественников яровой пшеницы и препаратов для предпосевной обработки семян на паразитическую активность *Bipolaris sorokiniana* и грибов рода *Fusarium* в условиях лесостепи Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2021–2023 гг. в условиях лесостепи Новосибирской области на базе МЖК «Альва-фарм» (ООО) Черепановского района по схеме двухфакторного опыта. Яровую пшеницу сорта Новосибирская 31 высевали по трем предшественникам: черный пар, вико-овсяная смесь на зеленую массу (зерносенаж), озимая рожь на зерно (фактор «предшественник»).

Протравливание семян перед посевом проводили фунгицидным протравителем Дивиденд Стар, КС (30 г/л дифеконазол + 6,3 г/л ципроконазол) – 0,85 л/т или баковой смесью

с добавлением инсектицидного протравителя Контадор Макси, КС (600 г/л имидаклоприд) – 0,5 л/т. Расход рабочей жидкости – 10 л/т. Контролем служили непротравленные семена (фактор «протравливание»).

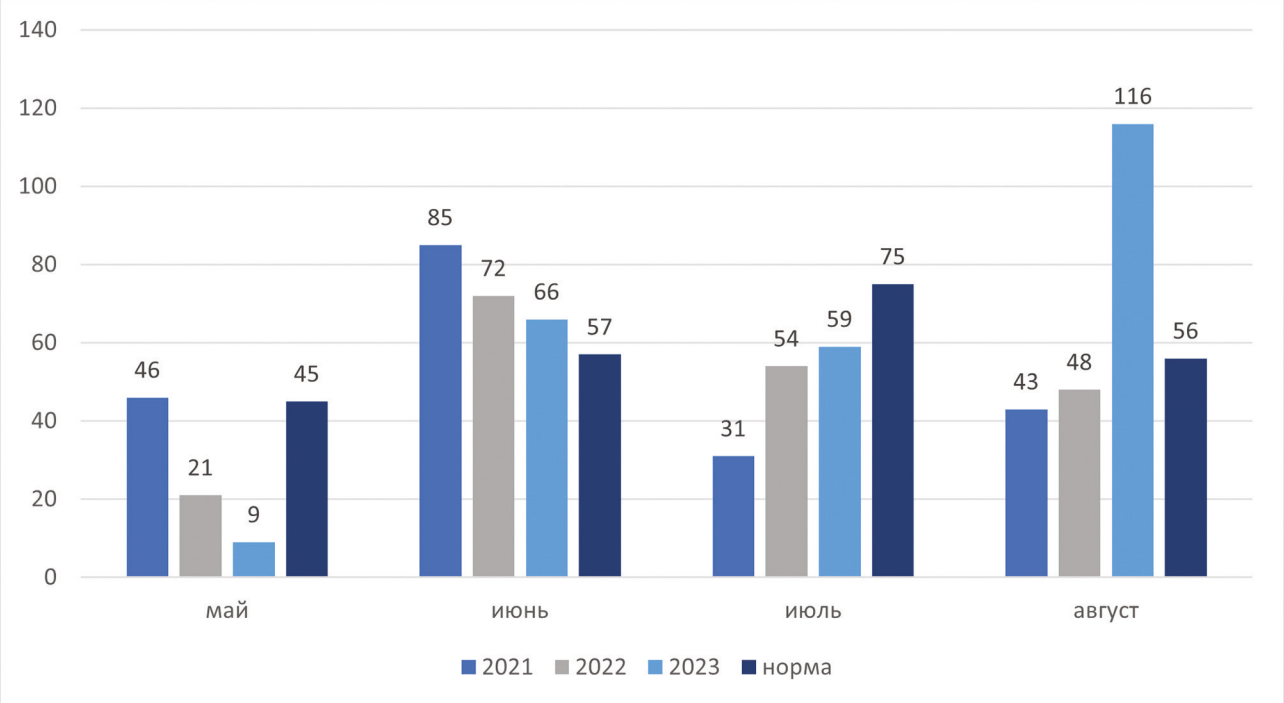
Почвенный покров опытного участка представлен черноземом выщелоченным среднемощным с небольшими вкраплениями чернозема оподзоленного среднемощного и почвы темно-серой лесной среднемощной.

Обеспеченность элементами питания отличалась по предшественникам. Так, содержание нитратного азота в пахотном слое составляло: 14,4 мг/кг в среднем по пару (9,9–23,5), 9,5 мг/кг по вико-овсяной смеси (4,3–19,8), 6,9 мг/кг по озимой ржи (5,2–13,2). Обеспеченность подвижными формами фосфора (по Никонову) по всем предшественникам была средняя: от 16,5 до 33,2 мг P_2O_5/кг. Содержание гумуса в среднем по всем полям составляло около 4,5 % (3,2–7,6). Реакция почвенного раствора (солевая) – близкая к нейтральной (pH 6,1).

Технология возделывания общепринятая для зоны. Посев проводили при достижении биологической спелости почвы (14–18 мая) посевным комплексом JD 730, норма высева 5,5 млн всхожих зерен на 1 га, глубина посева семян – 5,0–5,5 см. Послепосевное прикатывание проводили тяжелыми катками ККЗ 9,2. Для борьбы с сорной растительностью в фазу кущения культуры применяли гербициды на основетаких препаратов, как сложный 2-этилгексиловый эфир 2,4-Д кислоты, 410 г/л + флорасулам, 7,4 г/кг – 0,5 л/га; феноксапроп-П-этил, 90 г/л, клодинафоп-пропаргил, 60 г/л, антидот клоквинтосет-мексил, 40 г/л – 0,5 л/га. В фазу флаг-листа (после учета заболеваний) против листостеблевых болезней применяли фунгицид на основе пропиконазола и тебуконазола (300 и 200 г/л соответственно) – 0,5 л/га. Расход рабочей жидкости при всех обработках – 200 л/га. Уборка яровой пшеницы была проведена в фазу полной спелости прямым комбайнированием (RSM 161). Площадь под каждым вариантом опыта – 50 га. Повторность опыта трехкратная.

Учет корневых гнилей, микологический анализ органов растений яровой пшеницы проводили по апробированным методикам [18]. Анализ почвы на супрессивность к фитопатогенам выполнялся авторским методом [12]. При статистической обработке данных методами дисперсионного анализа использовали пакет программ SNEDEKOR.

Отличающиеся разнообразием гидротермические условия в годы исследования представлены на рисунке.



Месячная сумма осадков по годам по данным Посевнинской ГМС, мм

Monthly amount of precipitation by year according to Posevninskaya HMS data, mm

Так, показатели начала вегетации 2021 г. были близки к среднемноголетним. Июнь характеризовался повышенным увлажнением (ГТК 1,84), а июль и август – недостаточным увлажнением (ГТК 0,52 и 0,80 соответственно). Все агрометеорологические показатели 2022 г., кроме мая (среднемесячная температура выше на 4,1 °С при двухкратном недостатке осадков), соответствовали среднемноголетним значениям. 2023 г. отметился резкими изменениями гидротермических показателей. В мае выпало всего 20 % осадков от нормы, при этом среднесуточная температура воздуха в третьей декаде мая и первой декаде июня доходила до 34 °С. Условия второй половины июня и всего июля были близки к среднемноголетним. В августе выпало 2,1 нормы осадков при ГТК 2,18.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты учетов пораженности яровой пшеницы корневыми гнилями по вариантам опыта в начале вегетации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Развитие корневой гнили в фазу всходов по вариантам и годам (в среднем по подземным органам), %
Incidence of root rot in the germination phase by variant and years (average for underground organs), %

Предшественник	Обработка семян	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее по годам	Биологическая эффективность, %
Пар	контроль	35,4	8,9	11,7	18,7	–
	фунгицид	10,5	5,7	6,7	7,6	59,4
	+инсектицид	11,8	6,5	6,9	8,4	55,1
Однолетние травы	контроль	29,1	10,9	10,6	16,9	–
	фунгицид	10,4	5,6	5,8	7,3	56,8
	+инсектицид	11,7	6,1	4,6	7,5	55,6
Озимая рожь	контроль	47,9	15,4	13,8	25,7	–
	фунгицид	25,3	8,3	7,3	13,6	47,1
	+инсектицид	24,8	7,7	7,6	13,4	47,9
$НСР_{05}$ частных средних		1,82	1,24	0,62	1,39	–

Данные таблицы свидетельствуют, что в годы исследований яровая пшеница по всем вариантам поражалась корневыми гнилями значительно выше порога вредоносности (ПВ по всходам – 5 %). По контрольным вариантам наибольшее поражение было в 2021 г. на зерновом предшественнике – 47,9 % (9,6 ПВ). Наименьшее поражение корневой гнилью было отмечено по пару в 2022 г. – 8,9 %. В среднем за три года в фазу всходов наименьшее поражение подземной части растения корневыми гнилями отмечено по однолетним травам – 16,9 %, что на 8,8 % меньше, чем по озимой ржи. Биологическая эффективность однолетних трав в оздоровлении корневой системы яровой пшеницы, по сравнению с зерновым предшественником, составила 34,2 %. Протравливание семян показало среднюю эффективность по всем вариантам: 47,1–59,4 %. По данным дисперсионного анализа выявлено, что сила влияния фактора «год» на развитие корневых гнилей всходов составила 42,2 %, фактора «протравливание» – 21,4 %, фактора «предшественник» – 8,8 %; сила влияния фактора «год» на биологическую эффективность протравливания составила 47,8 %, а фактор «предшественник» не оказал достоверного влияния.

Развитие корневых гнилей в фазе полной (твердой) спелости в среднем за три года было минимальным по паровому предшественнику – 33,8 %, что на 7,3 % меньше, чем по озимой ржи (табл. 2).

Таблица 2

Развитие корневой гнили в фазу полной спелости по вариантам и годам (в среднем по подземным органам), %
Incidence of root rot in the phase of full ripeness by variants and years (on average for underground organs), %

Предшественник	Обработка семян	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее по годам	Биологическая эффективность, %
Пар	контроль	34,1	29,2	38,0	33,8	–
	фунгицид	31,6	28,3	32,2	30,7	9,2
	+инсектицид	30,8	31,3	36,3	32,8	3,0
Однолетние травы	контроль	38,4	36,0	28,6	34,3	–
	фунгицид	35,6	26,2	25,6	29,1	15,2
	+инсектицид	33,2	27,7	22,4	27,8	19,0
Озимая рожь	контроль	36,2	48,3	38,7	41,1	–
	фунгицид	39,1	38,7	35,5	37,8	8,0
	+инсектицид	39,4	40,3	35,7	38,5	6,3
$НСР_{05}$ частных средних		1,98	3,14	1,68	2,57	–

Биологическая эффективность парового предшественника по сравнению с зерновым в оздоровлении корневой системы пшеницы составила 17,8 %. Протравливание семян незначительно снизило развитие корневых гнилей. Эффективность протравливания в конце вегетации составила 3,0–19,0 %. Сила влияния фактора «предшественник» на развитие корневых гнилей в конце вегетации составила 41,1 %, фактора «протравливание» – 8,5 %, а взаимосвязь факторов «год» и «предшественник» – 38,1 %; сила влияния фактора «год» на биологическую эффективность протравливания составила 14,7 %, а фактора «предшественник» – 10,6 %. Следовательно, влияние предшественников на развитие корневых гнилей в течение вегетации возросло в 1,9 раза, они оказали небольшое, но достоверное влияние на эффективность протравливания, что связано с различиями инфекционного потенциала возбудителей корневых гнилей в почве после разных культур [10, 17]. Эти данные свидетельствуют о следующих закономерностях. Протравливание эффективно защищает растения от почвенных инфекций только в начале вегетационного периода, затем действие препаратов закономерно ослабевает. Напротив, влияние предшественников на поражение подземных органов корневыми гнилями в течение вегетации возрастает, поскольку они определяют фитосанитарное состояние почвы [12].

Заселенность почвы конидиями *Bipolaris sorokiniana* по различным предшественникам представлена в табл. 3.

Таблица 3

Численность конидий *Bipolaris sorokiniana* в почве по годам и предшественникам
Number of *Bipolaris sorokiniana* conidia in soil by years and predecessors

Год	Общая численность конидий, шт./г возд.-сух. почвы		Доля деградированных конидий, %
	Пределы колебаний	Среднее	
1	2	3	4
Озимая рожь			
2020	39–80	77,3	29,2
2021	78–123	100,7	37,1
2022	31–59	48,0	32,7
2023	12–54	41,0	34,9
Среднее	12–123	66,8	33,5
Однолетние травы			

Окончание табл. 3

1	2	3	4
2020	43–108	78,3	58,2
2021	89–117	102,7	55,9
2022	64–82	74,7	67,4
2023	23–45	30,7	79,9
Среднее	23–117	71,6	65,4
Пар			
2020	43–65	52,0	73,1
2021	23–58	42,0	41,2
2022	8–40	26,7	61,3
2023	1–13	10,0	70,0
Среднее	1–65	32,7	61,4
$НСР_{05}$ частных средних	11,9		9,5

Данные таблицы показывают, что численность конидий *Bipolaris sorokiniana* в почве перед посевом яровой пшеницы сильно отличалась как по предшественникам, так и по годам. Наименьшая численность выявлена после пара – 32,7 шт./г возд.-сух. почвы при деградации 61,4 % популяции, т.е. заселенность почвы была на уровне зонального биологического порога вредоносности (ПВ для выщелоченного чернозема – 20–30 конидий на 1 г почвы). По остальным предшественникам численность конидий была в два и более раза выше, чем после пара (до 123 конидий, или 4,1 ПВ). Однако здесь следует отметить высокую долю деградированных конидий после вико-овсяной смеси (65,4 %), что несколько нивелирует большой запас фитопатогена. По данным дисперсионного анализа выявлено, что сила влияния фактора «предшественник» на численность конидий патогена в почве составила 34,6 %, а фактора «год» – 29,1 %, что согласуется с ранее полученными в других агроэкологических зонах экспериментальными данными [14].

В период исследований таксономический состав фитопатогенных микромицетов на подземных органах яровой пшеницы был типичным для зоны и представлен *B. sorokiniana* и грибами рода *Fusarium*. В общей сложности в годы исследований из подземных органов яровой пшеницы были выделены следующие виды из рода *Fusarium*: комплекс видов *F. oxysporum* Schltdl., *F. poae* (Peck.) Wollenw., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. solani* Koord., *F. sambucinum* Fuckel., *F. sporotrichioides* Sherb., *F. avenacium* (Fr.) Sacc. Годы исследования характеризовались контрастными условиями, что сказалось на биологическом разнообразии микромицетов в зависимости от органа яровой пшеницы и предшественника (табл. 4).

Таблица 4

Биологическое разнообразие патогенных микромицетов по предшественникам, органам яровой пшеницы и годам, число выделенных видов

Biological diversity of pathogenic micromycetes by predecessors, spring wheat organs and years, number of isolated species

Предшественник	Орган растения	Всходы			Конец вегетации		
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5	6	7	8
Пар	Первичные корни	4	4	3	5	6	4
	Вторичные корни				6	4	5
	Основание стебля	5	3	2	6	3	5

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Однолетние травы	Первичные корни	6	3	2	6	4	4
	Вторичные корни				4	4	6
	Основание стебля	4	3	3	4	5	6
Озимая рожь	Первичные корни	5	3	2	5	2	4
	Вторичные корни				5	3	6
	Основание стебля	5	3	2	4	3	5

Анализы показали, что видовое разнообразие на первичных корнях в начале развития растений было наибольшим в 2021 г. – до шести видов (по однолетним травам). В остальные годы исследования оно снижалось: в 2022 г. – 3–4, а в 2023 г. – всего 2–3. Это связано с гидротермическими условиями начала вегетации. Наиболее благоприятным был 2021 г., самым экстремальным – 2023 г., что влияло на паразитическую активность фитопатогенов. В процессе вегетации видовое разнообразие микромицетов на первичных корнях увеличивалось: особенно заметный рост (в 2,5 раза) отмечен в 2023 г. после наступления относительно благоприятных условий. На основаниях растений в фазу всходов наибольшее биоразнообразие было отмечено также в 2021 г. (4–5 видов), в 2022 г. – по всем предшественникам – три вида, в самом экстремальном 2023 г. – всего два вида. К концу вегетации 2021–2022 гг. биологическое разнообразие фитопатогенных микромицетов на основании стебля яровой пшеницы несколько увеличилось или осталось прежним. Исключением снова стал 2023 г., когда на основании стебля пшеницы число видов к фазе зрелости выросло в 2–2,5 раза. Таким образом, предшественники и условия года влияли на биологическое разнообразие фитопатогенных микромицетов – возбудителей корневых гнилей. Дисперсионный анализ по схеме двухфакторного опыта показал, что на первичных корнях сила влияния условий года на биологическое разнообразие фитопатогенов составила 48,2 %, на основании стебля – 60,7 % и была достоверна на 5%-м и 1%-м уровнях значимости соответственно. Предшественник не оказывал достоверно значимого влияния на биоразнообразие. Полученные данные подтверждают ранее выявленные закономерности о влиянии условий вегетации на биологическое разнообразие возбудителей корневых гнилей яровой пшеницы [19].

Этиология корневых гнилей подземных органов яровой пшеницы отражала фитосанитарное состояние почвы, конкуренцию между фитопатогенами и реакцию микромицетов на биотические и абиотические стрессы (табл. 5).

Таблица 5

Этиология корневой гнили яровой пшеницы по соотношению фитопатогенов *B. sorokiniana* и *Fusarium spp.*

Etiology of spring wheat root rot according to the ratio of phytopathogens *B. sorokiniana* and *Fusarium spp.*

Предшественник	Орган	Всходы			Зрелость		
		2021	2022	2023	2021	2022	2023
1	2	3	4	5	6	7	8
Пар	Первичные корни	F	1 : 1	1 : 9	1 : 5	1 : 4	1 : 4
	Вторичные корни	–			1 : 18	F	F
	Основание стебля	F	F	F	1:20	1:2	1:6

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8
Однолетние травы	Первичные корни	1 : 29	1 : 12	1 : 9,5	1 : 2,6	1 : 5,3	1 : 3,3
	Вторичные корни	–			F	1 : 5,7	1 : 19
	Основание стебля	F	F	F	1 : 4,7	1 : 4	1 : 4
Озимая рожь	Первичные корни	1 : 13	1 : 17	1 : 8,5	1 : 15	F	1 : 3
	Вторичные корни	–			1 : 4,3	1 : 5,3	1 : 9
	Основание стебля	1 : 29	F	F	1 : 0,8	1 : 9	1 : 9

F – отсутствие *B. sorokiniana*, абсолютное доминирование *Fusarium spp*.

Как видно из таблицы, соотношение фитопатогенов было очень неравномерным как по предшественникам, так и по годам. Так, в 2021 г. в фазу всходов по всем предшественникам наблюдалось доминирование грибов рода *Fusarium* (до 100 %). Но при достижении полной спелости ситуация изменилась, по некоторым вариантам кардинально: превосходство *Fusarium spp*. осталось на вторичных корнях яровой пшеницы по пару и однолетним травам, первичных корнях по озимой ржи, основанию стебля по пару; по остальным вариантам соотношение составило 1 : 3–5, а на основании стебля по озимой ржи *B. sorokiniana* смог вытеснить фузариевые грибы и занять их экологическую нишу (соотношение 1 : 0,8). В 2022 г. наблюдалась схожая картина: превосходство грибов рода *Fusarium* в начале вегетации и повышение конкуренции со стороны *B. sorokiniana* к концу вегетации. Несколько иная ситуация сложилась в экстремальном по погодным условиям 2022 г. *B. sorokiniana* довольно успешно конкурировал за реализацию экологической ниши с грибами рода *Fusarium* на корнях и полностью отсутствовал на основании стебля в начале вегетации яровой пшеницы. К концу вегетации соотношение между *Fusarium spp*. и *B. sorokiniana* на всех подземных органах растений хотя и было в пользу фузариевых грибов, но их доминирование не было таким абсолютным. Увеличение размера реализованной экологической ниши у *B. sorokiniana* составило в течение вегетации до 25 %.

На протяжении 2022–2023 гг. проводили исследование супрессивности почвы к *B. sorokiniana* и *F. oxysporum*, по результатам которого были выявлены достоверные различия супрессивности почвы в отношении *B. sorokiniana* после пара и однолетних трав по сравнению с озимой рожью: пар увеличил ее в среднем на 9,3 % (табл. 6).

Таблица 6

Супрессивность почвы к основным фитопатогенам, %
Soil suppressiveness to main phytopathogens, %

Предшественник	*B. sorokiniana*			*F. oxysporum*		
	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	Среднее
Пар	65,0	83,3	74,2	60,7	70,7	65,7
Однолетние травы	71,7	74,0	72,9	56,7	78,0	67,4
Озимая рожь	60,7	69,0	64,9	40,3	61,7	51,0
$НСР_{05}$ частных средних	4,0	4,7	4,2	3,9	4,1	4,6

Показатель общей супрессивности почвы к *B. sorokiniana* коррелировал с долей деградированных конидий фитопатогена по предшественникам: $r = 0{,}796 \pm 0{,}232$ ($p < 0{,}05$). Общая супрессивность почвы к *B. sorokiniana* по всем предшественникам была от умеренной до силь-

ной, что может быть связано с типом почвы, содержанием общего органического вещества и повышенным размножением сапротрофных микроорганизмов, особенно в верхнем слое почвы [12].

Супрессивность почвы в отношении *F. oxysporum* по озимой ржи была в среднем на 16 % ниже, чем по пару и однолетним травам. В целом результаты учетов свидетельствуют о достоверном ($p \leq 0,05$) росте супрессивности почвы после возделывания фитосанитарных предшественников, по сравнению с повторным посевом зерновых культур, как по отношению к *B. sorokiniana*, так и *F. oxysporum*. Это согласуется с ранее полученными в другой агроэкологической зоне результатами [12].

Самая большая биологическая урожайность контрольных вариантов в среднем по годам получена по паровому предшественнику – 28,6 ц/га, что превышает урожайность яровой пшеницы по однолетним травам и озимой ржи на 4,7 и 6,9 ц/га соответственно. Протравливание семян фунгицидным протравителем дало прибавку в среднем по предшественникам и годам на 1,6–3,8 ц/га. Введение в баковую смесь протравителей инсектицидного компонента дало дополнительную прибавку биологической урожайности до 8 ц/га (по паровому предшественнику).

По данным дисперсионного анализа выявлено, что сила влияния фактора «год» на биологическую урожайность составила 47,9 %, фактора «предшественник» – 29,7 %, а фактора «протравитель» – 9,2 %.

ВЫВОДЫ

1. В годы исследования развитие корневых гнилей яровой пшеницы на контрольном варианте достигало 9,6 ПВ. В течение вегетации сила влияния фактора «предшественник» на развитие корневых гнилей возрастала с 8,8 до 41,1 %.

2. Биологическая эффективность протравливания семян снижалась в течение вегетации с 47,1–59,4 % в фазу всходов до 3,0–19,0 % в фазу полной спелости, сила влияния года на эффективность протравливания составила 47,8 %, а предшественника – 10,6 % и проявилась только к концу вегетации.

3. Численность конидий *Bipolaris sorokiniana* в почве перед посевом яровой пшеницы зависела от предшественников и условий года. Наименьшая численность на уровне ПВ выявлена после пара, по остальным предшественникам численность конидий была в 2 раза выше (до 123 конидий, или 4,1 ПВ).

4. Этиология корневых гнилей была представлена *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. и грибами рода *Fusarium* Link., среди которых доминировал *F. oxysporum*. Соотношение фитопатогенов на подземных органах определялась условиями года, органами растения, предшественниками и колебалась по вариантам от 0,8 : 1 до полного доминирования грибов рода *Fusarium*.

5. Условия года влияли на биологическое разнообразие микромицетов – возбудителей корневых гнилей: на первичных корнях сила влияния условий года на биологическое разнообразие фитопатогенов составила 48,2 %, на основании стебля – 60,7 % и была достоверна на 5%-м и 1%-м уровнях значимости соответственно.

6. Супрессивность почвы к основным фитопатогенам по всем предшественникам была сильно выраженной и достигала 83,3 % к *B. sorokiniana* и 78,0 % к *F. oxysporum*, фитосанитарные предшественники достоверно увеличивали супрессивность почвы по сравнению с озимой рожью. Показатель супрессивности почвы к *B. sorokiniana* коррелировал с долей деградированных конидий фитопатогена $r = 0,796 \pm 0,232$ ($p < 0,05$).

7. Самая большая в среднем по годам биологическая урожайность контрольных вариантов получена по паровому предшественнику – 28,6 ц/га, что выше, чем по однолетним травам и озимой ржи на 4,7 и 6,9 ц/га соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Костерина Н.А.* Анализ современного состояния проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. – 2023. – № 5 (234). – С. 49–60. – DOI:10.32417/1997–4868–2023–234–05–49–60.

2. *Посевные* площади Российской Федерации в 2022 году. Федеральная служба государственной статистики. – [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 25.12.2023).
3. *Сравнительная* агротехнологическая оценка возделывания яровой пшеницы в лесостепи Омской области / Л.В. Юшкевич, А.Г Щитов, Д.Н. Ющенко, А.С. Бутко // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 6 (195). – С. 41–47. – DOI:10.36718/1819–4036–2023–6–41–47.
4. *Figueroa M., Hammond–Kosack K.E., Solomon P.S.* A review of wheat diseases–a field perspective // Molecular Plant Pathology. – 2018. – Vol. 19, No. 6. – P. 1523–1536.
5. *Fusarium graminearum*: pathogen or endophyte of North American grasses? / L.A. Lofgren, N.R. Le Blanc, A.K. Certano [et al.] // New Phytol. – 2018. – Vol. 217. – P. 1203–1212.
6. *Parasitic* activity of plant pathogens at the underground organs of spring wheat in the West Siberia / E.Yu. Toropova, I.G. Vorob'ova, A.A. Kirichenko, R.I. Trunov // J. Phys.: Conf. Ser. 1942 0120791942 (2021) 012079 IOP Publishing. – DOI: 10.1088/1742–6596/1942/1/012079.
7. *Species* composition, toxigenic potential and agressivness of *Fusarium* isolates causing Head Blight of barley in Uruguay / G. Garmendia, L. Pattarino, C. Negrin [et al.] // Food Microbiol. – 2018. – Vol. 76. – P. 426–433.
8. *Fusarium graminearum* species complex: a bibliographic analysis and web–accessible database for global mapping of species and trichothecene toxin chemotypes / E.M. Del Ponte, G.M. Moriera, T.J. Ward [et al.] // Phytopathology. – 2022. – Vol. 112. – P. 741–751. – DOI: 10.1094/PHYTO–06–21–0277–RVW.
9. *Influence* of agronomic and climatic factors on Fusarium infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway / A. Barnhart, M. Torp, P.-E. Clasen, A.-K. Loes, A.B. Kristoffersen // Food Addit. Contamin. – 2012. – Part A. – P. 1–12.
10. *Корчагина И.А., Юшкевич Л.В.* Особенности развития корневой гнили в агрофитоценозе пшеницы яровой при различных агротехнологиях в лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. – 2022. – Т. 14, № 6. – С 90–96. – DOI: 10.31367/2079–8725–2022–83–6–90–96.
11. *Паразитирование* Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. в системе органов сортов яровой пшеницы в северной лесостепи Приобья / Е.Ю. Торопова, В.Ю. Сухомлинов, А.А. Кириченко, В.В. Пискарев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 1 (62). – С. 76–87. – DOI:10.31677/2072–6724–2022–62–1–76–87.
12. *Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Посаженников С.Н.* Влияние культурных растений на сапротрофные микроорганизмы и супрессивность почвы // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 7. – С. 17–20.
13. *Modeling* yield losses and fungicide profitability for managing Fusarium head blight in Brazilian spring wheat / M.R. Duffeck, K.S. Alves, F.J. Machado [et al.] // Phytopathology. – 2020. – Vol. 110. – P. 370–378. – DOI: 10.1094/PHYTO–04–19–0122– R.
14. *Development* of Soil–Borne Infections in Spring Wheat and Barley as Influenced by Hydrothermal Stress in the Forest–Steppe Conditions of Western Siberia and the Urals / E.Yu. Toropova, A.P. Glinushkin, M.P. Selyuk, O.A. Kazakova, A.V. Ovsyankina // Russian Agricultural Sciences. – 2018. – N 44 (3). – P. 241–244. – DOI 10.3103/S1068367418030163.
15. *Протравливание* семян зерновых и зернобобовых культур / Е.Ю. Торопова, А.Ф. Захаров, Г.Я. Стецов, А.Г. Санаров // Приложение к журналу Защита и карантин растений. – 2020. – № 1. – С. 37(1)–72(36).
16. *Торопова Е.Ю., Фещенко Е.С.* Эффективность протравителей семян яровой пшеницы при возделывании по разным предшественникам в лесостепи Новосибирской области // Защита и карантин растений. – 2023. – № 4. – С. 15–18. – DOI: 10.47528/1026–8634_2023_4_15.
17. *Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю.* Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве. – М.: Агрорус, 2016. – 288 с.
18. *Фитосанитарная* диагностика агроэкосистем: учебно-практическое пособие / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, А.А. Кириченко [и др.]; под ред. Е.Ю. Тороповой. – Барнаул: ГРАФИКС, 2017. – 210 с.
19. *Биологическое* разнообразие фитопатогенных почвенных микромицетов на сортах яровой пшеницы в Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, О.А. Казакова, Р.И. Трунов // Агрохимия. – 2022. – № 10. – С. 56–64. – DOI: 10.31857/S000218812210012X.

REFERENCES

1. Kosterina N.A., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2023, No. 5 (234), pp. 49–60, DOI: 10.32417/1997–4868–2023–234–05–49–60 (In Russ).
2. *Posevnye ploshchadi Rossiiskoi Federatsii v 2022 godu* (Cultivated areas of the Russian Federation in 2022), available at: https://rosstat.gov.ru/ (December 25, 2023).
3. Yushkevich L.V., Shchitov A.G., Yushchenko D.N., Butko A.S., *Vestnik KrasGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 6 (195), pp. 41–47, DOI:10.36718/1819–4036–2023–6–41–47 (In Russ).
4. Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S., A review of wheat diseases-a field perspective, *Molecular Plant Pathology*, 2018, Vol. 19, No. 6, pp. 1523–1536.
5. Lofgren L.A., Le Blanc N.R., Certano A.K. [et al.], Fusarium graminearum: Pathogen or endophyte of North American grasses? *New Phytol*, 2018, Vol. 217, pp. 1203–1212.
6. Toropova E.Yu., Vorob'ova I.G., Kirichenko A.A., Trunov R.I., Parasitic activity of plant pathogens at the underground organs of spring wheat in the West Siberia, *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1942 0120791942 (2021) 012079 IOP Publishing, DOI: 10.1088/1742–6596/1942/1/012079.
7. Garmendia G., Pattarino L., Negrin C. [et al], Species composition, toxigenic potential and agressivness of Fusarium isolates causing Head Blight of barley in Uruguay, *Food Microbiol*, 2018, Vol. 76, pp. 426–433.
8. Del Ponte E.M., Moriera G.M., Ward T.J. [et al], Fusarium graminearum species complex: a bibliographic analysis and web-accessible database for global mapping of species and trichothecene toxin chemotypes, *Phytopathology*, 2022, Vol. 112, pp. 741–751, DOI: 10.1094/PHYTO–06–21–0277–RVW.
9. Barnhart A., Torp M., Clasen P.-E., Loes A.-K., Kristoffersen A.B., Influence of agronomic and climatic factors on Fusarium infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway, *Food Addit. Contamin*, 2012, Part A, pp. 1–12.
10. Korchagina I.A., Yushkevich L.V., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2022, No. 6, pp. 90–96, DOI: 10.31367/2079–8725–2022–83–6–90–96 (In Russ).
11. Toropova E.Yu., Sukhomlinov V.Yu., Kirichenko A.A., Piskarev V.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 1(62), pp. 76–87, DOI:10.31677/2072–6724–2022–62–1–76–87 (In Russ).
12. Toropova E.Yu., Selyuk M.P., Posazhennikov S.N., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018, No. 7, pp. 17–20 (In Russ).
13. Duffeck M.R., Alves K.S., Machado F.J., Esker P.D., Del Ponte E.M., Modeling yield losses and fungicide profitability for managing Fusarium head blight in Brazilian spring wheat, *Phytopathology*, 2020, Vol. 110, pp. 370–378, DOI: 10.1094/PHYTO–04–19–0122– R.
14. Toropova E.Yu., Glinushkin A.P., Selyuk M.P., Kazakova O.A., Ovsyankina A.V., Development of Soil–Borne Infections in Spring Wheat and Barley as Influenced by Hydrothermal Stress in the Forest–Steppe Conditions of Western Siberia and the Urals, *Russian Agricultural Sciences*, 2018, No. 44 (3), pp. 241–244, DOI: 10.3103/S1068367418030163.
15. Toropova E.Yu., Zakharov A.F., Stetsov G.Ya., Sanarov A.G., *Prilozhenie k zhurnalu Zashchita i karantin rastenii*, 2020, No. 1, pp. 37(1)–72(36) (In Russ).
16. Toropova E.Yu., Feshchenko E.S., *Zashchita i karantin rastenii*, 2023, No. 4, pp. 15–18, DOI: 10.47528/1026–8634_2023_4_15 (In Russ).
17. Glinushkin A.P., Sokolov M.S., Toropova E.Yu., *Fitosanitarnye i gigienicheskie trebovaniya k zdorovoi pochve* (Phytosanitary and hygienic requirements for healthy soil), Moscow, 2016, 288 p.
18. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., Kirichenko A.A., *Fitosanitarnaya diagnostika agroekosistem* (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems), Barnaul, 2017, 210 p.
19. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Kazakova O.A., Trunov R.I., *Agrokhimiya*, 2022, No. 10, pp. 56–64, DOI: 10.31857/S000218812210012X (In Russ).

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-168-176
УДК 631.174:633.11

УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗНЫХ СРОКОВ РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

[1]**И.Н. Шарков**, доктор биологических наук, доцент
[2]**С.А. Колбин**, кандидат сельскохозяйственных наук
[2]**Л.М. Самохвалова**, старший научный сотрудник
[1]*Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирск, Россия*
E-mail: humus3@yandex.ru

Ключевые слова*:* сорта яровой пшеницы, азотные удобрения, интенсивная технология, окупаемость азота прибавкой урожая, чернозем выщелоченный.

Реферат. *Анализ производства зерна в Сибири обнаруживает явное несоответствие между количеством создаваемых новых сортов зерновых культур (многие десятки) и практически полным отсутствием роста средней по пятилетиям урожайности зерна в последние два-три десятилетия. Цель исследования заключалась в сравнении урожайности и качества зерна современного интенсивного сорта яровой пшеницы (Новосибирская 31) и старинного (условно) экстенсивного сорта (Саратовская 29), районированного в Западной Сибири более 60 лет назад. Важно понять, какие ценные качества приобрел современный сорт за столь длительный период селекции. Сорта сравнивали в условиях интенсивной технологии выращивания – при применении возрастающих доз азотного удобрения (N_{30}, N_{60}, N_{90}) на фоне комплекса средств защиты растений от вредителей, сорняков, болезней и полегания. Исследование проведено в 2019–2020 гг. в Центральной лесостепи Новосибирского Приобья на старопахотном черноземе выщелоченном. Установлено, что в начале диапазона доз сорта существенно не различались по отзывчивости на азотное удобрение, формируя практически одинаковые урожаи зерна вплоть до 3,7 т/га. При повышенных дозах азотного удобрения урожайность сорта Новосибирская 31 начинала значительно опережать сорт Саратовская 29, что было обусловлено полегаемостью растений последнего, несмотря на применение ретарданта. Величина урожайности 3,7 т/га в 1,5–2,0 раза превышает фактически получаемые большинством сибирских хозяйств урожаи, поэтому использование в такой ситуации потенциально более урожайных сортов практического значения не имеет. Тем не менее с научной точки зрения важно продолжить исследования имеющихся у селекционеров возможностей повышения среднегодовой урожайности культур за счет корректировки генотипов растений на территориях с ограниченными ресурсами тепла и влаги.*

YIELD OF SPRING WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT DATES OF ZONING WHEN GROWN UNDER INTENSIVE TECHNOLOGY IN THE FOREST-STEPPE OF THE NOVOSIBIRSK OB REGION

[1]**I.N. Sharkov,** Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
[2]**S.A. Kolbin,** Candidate of Agricultural Sciences
[2]**L.M. Samokhvalova,** senior research fellow
[1]*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*
[2]*Siberian Research Institute of Agronomy and Agricultural Chemistry, Novosibirsk, Russia*
E-mail: humus3@yandex.ru

Keywords: spring wheat varieties; nitrogen fertilizers; intensive technology; nitrogen payback by yield increase; leached chernozem; forest-steppe of Western Siberia.

Abstract. *Analysis of grain production in Siberia reveals a clear discrepancy between the number of new varieties of grain crops (many dozens) and the almost complete absence of growth in the five-year average grain yield in the last two to three decades. The aim of the study was to compare the yield and grain quality of a modern intensive variety of spring wheat (Novosibirskaya 31) and an old (conditionally) extensive variety (Saratovskaya*

29), released in Western Siberia more than 60 years ago. It is important to understand what valuable qualities the modern variety has acquired over such a long period of breeding. The varieties were compared under conditions of intensive cultivation technology - with the application of increasing doses of nitrogen fertilizer (N30, N60, N90) against the background of a complex of plant protection products against pests, weeds, diseases and field-raising. The study was conducted in 2019-2020 in the Central forest-steppe of the Novosibirsk Ob region on old plowed chernozem leached. It was found that at the beginning of the dose range varieties did not differ significantly in responsiveness to nitrogen fertilizer, forming almost the same grain yields up to 3.7 t/ha. At higher doses of nitrogen fertilizer, the yield of Novosibirskaya 31 variety began to significantly outpace the Saratovskaya 29 variety, which was due to the lodging of plants of the latter, despite the use of retardant. The yield of 3.7 t/ha is 1.5–2.0 times higher than the actual yields received by most Siberian farms, so the use of potentially higher-yielding varieties in this situation is of no practical importance. Nevertheless, from the scientific point of view, it is important to continue research on the opportunities available to breeders to increase the average annual yield of crops by adjusting plant genotypes in areas with limited heat and moisture resources.

Магистральным направлением наращивания производства продукции растениеводства в стране является интенсификация агротехнологий, основанная на использовании адаптированных к местным условиям сортов культур, кондиционных семян, оптимальных доз минеральных удобрений и пестицидов [1, 2]. Из зерновых в Сибири возделываются преимущественно яровые культуры – пшеница, ячмень, овес, занимающие примерно 60 % площади пашни [3]. Наибольшее влияние на их урожайность оказывают погодные условия вегетационного периода. Результаты исследования на сортоучастках Омской области [4] показали, что в общей изменчивости урожайности яровой пшеницы доля сорта составляла 1–15 %, а условий вегетации (годы) – 51–94 %. Уменьшение количества осадков за вегетационный период с 247–448 до 90–100 мм снижало урожайность сортов яровой пшеницы всех групп спелости на 49–52 % [5]. В Центральной лесостепи Новосибирской области коэффициент корреляции между урожаем зерна и гидротермическим коэффициентом Селянинова (ГТК) за июнь – июль достигал 0,8 [6]. По мнению ученых, основной задачей селекции зерновых в Сибири является выведение сортов, сочетающих высокий потенциал генетической продуктивности с устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды [1, 7]. Исследователи полагают, что засушливость вегетационных периодов в Западной Сибири будет нарастать в связи с тенденцией потепления климата, поэтому актуальность сохранения и повышения засухоустойчивости вновь создаваемых сортов сохраняется [8].

За десятилетия селекционерам удалось создать сорта зерновых культур, которые оптимально сочетают отзывчивость на улучшение агрофона с особенностями погодных условий территории [9, 10]. Такие сорта называют интенсивными, они отличаются повышенной отзывчивостью на применение удобрений и их рекомендуется использовать в интенсивных агротехнологиях [2, 10]. Напротив, сорта экстенсивного типа (толерантные по [2]), сравнительно слабо реагируют на улучшение условий выращивания, поэтому больше подходят для использования в экстенсивных агротехнологиях, в которых минеральное питание растений обеспечивается главным образом за счет ресурсов самой почвы.

Можно полагать, что с точки зрения наращивания среднегодовой урожайности процесс совершенствования сортов для данной местности с характерными для нее гидротермическими условиями является конечным, хотя о его пределе судить достаточно сложно. Тем не менее иногда приходится слышать мнение, что в Сибири с ее ограниченными ресурсами тепла и влаги селекционеры давно ходят по кругу. Разумеется, оно не разделяется многими селекционерами, и этому есть основание. Оно состоит в том, что процесс получения новых сортов продолжается, и при сортоиспытаниях они, как и прежде, показывают преимущества в урожае зерна в сравнении со стандартами. В частности, совсем недавно на Государственное сортоиспытание РФ были переданы 3 новых сорта яровой мягкой пшеницы – Новосибирская 49, Новосибирская 75 и Загора Новосибирская, которые по урожаю зерна в Центральной лесостепи западносибирского региона превысили

стандарт на 0,6–0,8 т/га [7]. С 1975 по 2008 гг. научно-исследовательскими учреждениями Сибири было создано и районировано почти 200 сортов зерновых, в том числе 102 сорта яровой мягкой пшеницы, 46 сортов овса и 47 – ячменя [11]. Казалось бы, вновь создаваемые сорта должны быть более адаптированными к климатическим особенностям территории Сибири и при прочих равных условиях (в том числе при неизменяющихся технологиях выращивания) обеспечивать устойчивый прирост урожайности. Однако, по свидетельству исследователей [12], за последние 30 лет урожайность и валовые сборы зерна в Западной Сибири существенно не изменились. Об отсутствии устойчивого прироста урожайности зерновых в Сибири свидетельствует и динамика этого показателя в Сибирском федеральном округе за период 2000–2020 гг. Так, в 2001–2005 гг. среднегодовая урожайность составила 14,0 ц/га, 2006–2010 гг. – 14,6; 2011–2015 гг. – 14,1 и 2016–2020 гг. – 16,5 ц/га [13]. По нашему мнению, причины, объясняющие этот феномен, в отсутствии существенного прироста урожайности зерновых в Сибири несмотря на выведение селекционерами двух сотен новых сортов, что требует специального исследования.

В настоящей статье предпринята попытка в условиях интенсивной технологии выращивания сравнить урожайность и качество зерна современного интенсивного сорта яровой пшеницы и старинного (условно) экстенсивного сорта, районированного в Западной Сибири более 60 лет назад. Важно понять, какие качества, существенные для интенсивной технологии выращивания, приобрели современные сорта за длительный период селекции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве старинного сорта яровой мягкой пшеницы был выбран среднеспелый сорт Саратовская 29, выведенный в НИИСХ Юго-Востока, современного – среднеранний сорт Новосибирская 31 селекции Сибирского НИИ растениеводства и селекции СО РАСХН. Оба сорта относятся к разновидности лютесценс, районированы в Новосибирской области соответственно в 1961 г. и 2010 г., и рекомендации к их выращиванию сохраняются и в настоящее время [14]. Хотя сорт Новосибирская 31 среднеранний, при сравнительном исследовании [9] продолжительность его вегетационного периода – 81 день – не отличалась существенно от среднеспелых сортов яровой пшеницы. В наших опытах оба сорта – Саратовская 29 и Новосибирская 31 – созревали практически в один срок. Также следует отметить, что согласно современным представлениям Саратовская 29 относится к группе экстенсивных, а Новосибирская 31 – интенсивных сортов. В частности, в сравнительном исследовании [10] коэффициент пластичности (bi) у Саратовской 29 составил 0,68, а у интенсивных сортов он был больше 1. Известно также, что сорт Новосибирская 31 относительно восприимчив к листостебельным инфекциям, поэтому хорошо отзывается на применение фунгицидов [15].

Сравнение сортов проводили в условиях интенсивной технологии выращивания, чтобы по возможности нивелировать между ними негенотипические различия. Например, хорошо известно, что более качественные семена способствуют получению большей урожайности. Однако различия в качестве семян могут обусловливаться не только генетическими особенностями сортов, но и зависеть от режимов подработки и хранения семян. Поэтому для нивелирования этих различий полевой опыт засевали элитными семенами после их протравливания. По аналогичной причине сорта выращивали на фонах с применением инсектицида, фунгицида и ретарданта. Применение последнего препарата в виде хлорхолинхлорида было обусловлено известной предрасположенностью сорта Саратовская 29 к полеганию растений при формировании высокого урожая зерна.

Полевой опыт проводили в Центральной лесостепи Новосибирского Приобья (опытная станция «Элитная» Новосибирской области) на старопахотном черноземе выщелоченном среднесуглинистого гранулометрического состава в 2019–2020 гг. В слое почвы 0–25 см содержалось: гумуса – 6,2 %, общего азота – 0,30 %, подвижных соединений фосфора и калия (по Чирикову) – 23 и 18 мг/100 г почвы соответственно. Опыт закладывали на фоне глубокой (22–25 см) зяблевой обработки почвы стойками СибИМЭ после зернового предшественника. Семена элиты каждого сорта высе-

вали из расчета 6 млн всхожих семян на 1 га на следующих фонах азотного удобрения: N_0, N_{30}, N_{60}, N_{90}. Удобрения вносили в поверхностный слой почвы с помощью сеялки СЗП 3,6. Затем проводили предпосевную культивацию с прикатыванием почвы кольчатыми катками. В оба года проведения опыта семена протравливали химическим протравителем, по всходам и для защиты колоса применяли инсектицид, в фазу кущения посевы обрабатывали ретардантом и баковой смесью гербицидов против одно- и двудольных сорняков, в колошение растения опрыскивали фунгицидом. В 2020 г. посев дополнительно обрабатывали фунгицидом в фазу выхода в трубку, чтобы предотвратить заболеваемость растений мучнистой росой. Урожай зерна учитывали прямым комбайнированием с помощью селекционного комбайна Wintersteiger Classic. Качество зерна пшеницы оценивали по содержанию в нем сырой клейковины. Площадь делянки составляла 108 м^2 (6 × 18 м), повторность 3-кратная. Статистическую обработку результатов исследования выполняли с помощью пакета программ «Снедекор» [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидротермические условия вегетационного периода 2020 г. были более благоприятными в сравнении с 2019 г.: за май – август осадков выпало больше на 50 %, сумма активных температур была выше на 11 %, а ГТК увеличился на 16 %. По отношению к среднемноголетним значениям погоды вегетационный период 2020 г. был существенно влажнее и теплее, а 2019 г. отличался умеренной засушливостью (табл. 1).

Таблица 1

Некоторые показатели вегетационных периодов проведения опыта
Some indicators of vegetation periods of the experiment

Год	Весенний запас в слое 0–100 см		Показатель периода май – август*		
	Продуктивной влаги, мм	N-NO_3, кг/га	Сумма осадков, мм	Сумма температур выше 10 °С	ГТК Селянинова
2019	144	59	162	1 922	0,87
2020	166	38	244	2 133	1,01

*Среднемноголетние значения: сумма осадков – 214 мм, сумма температур – 1 839 °С, ГТК – 1,05.

В оба года получены достаточно высокие урожаи сортов яровой пшеницы со схожими закономерностями изменения под влиянием азотного удобрения (табл. 2). Судя по критерию Фишера (при $\rho \leq 0{,}05$), урожайность сортов была практически одинаковой: в 2019 г. вплоть до дозы N_{60}, 2020 г. – до N_{30}. При этом в оба года сорт Саратовская 29 начинал существенно (на 0,65–0,87 т/га) уступать по урожайности сорту Новосибирская 31, когда она превышала 3,7 т/га зерна.

Интересными оказались закономерности по окупаемости сортами азотного удобрения прибавкой урожая. В умеренно засушливом 2019 г. окупаемость сортами 1 кг N удобрения прибавкой зерна была одинаковой вплоть до дозы N_{60}.

Таблица 2

Урожайность сортов яровой пшеницы после зернового предшественника при возрастающих дозах азотного удобрения, т/га
Yield of spring wheat varieties after grain foregoing crop at increasing doses of nitrogen fertilizer, t/ha

Доза N, кг/га	Саратовская 29	Новосибирская 31	Различие между сортами
1	2	3	4
2019 г.			
0	2,08	2,01	$F_ф < F_{05}$
30	3,07	2,99	$F_ф < F_{05}$

Окончание табл. 2

1	2	3	4
60	3,69	3,70	$F_ф < F_{05}$
90	3,78	4,43	0,65
$НСР_{05}$	0,39	0,60	
2020 г.			
0	2,84	3,23	$F_ф < F_{05}$
30	3,76	3,73	$F_ф < F_{05}$
60	3,94	4,46	0,52
90	4,20	5,07	0,87
$НСР_{05}$	0,31	0,38	

При дозе N_{90} Новосибирская 31 значительно опережала по этому показателю Саратовскую 29: 27 и 19 кг зерна на 1 кг N соответственно. В 2020 г., более благоприятном по гидротермическим условиям вегетационном периоде, сорт Новосибирская 31 обеспечивал значительно большую окупаемость азотного удобрения прибавкой урожая уже после дозы N_{30}. Так, окупаемость дозы N_{90} у Саратовской 29 составила 15, Новосибирской 31 – 20 кг/кг соответственно. Некоторое снижение окупаемости удобрения сортами в 2020 г. по сравнению с 2019 г. объясняется большей урожайностью пшеницы на неудобренном фоне в более благоприятном по погодным условиям году (см. табл. 2).

Основной причиной прекращения роста урожайности сорта Саратовская 29 (сверх 3,7 т/га) под влиянием азотного удобрения явилась полегаемость растений несмотря на применение ретарданта. У сорта Новосибирская 31 полегания растений не наблюдалось, в том числе и при самой высокой дозе азота.

В специальном опыте, на фоне N_{90}, была предпринята попытка оценки влияния ретарданта – хлорхолинхлорида, примененного в фазу кущения в дозе 1 л/га, на морфологию стебля сортов пшеницы. У сорта Саратовская 29 уменьшение длины междоузлий и высоты растений под влиянием ретарданта было значительно менее выраженным, чем у сорта Новосибирская 31 (табл. 3). В результате на фоне применения ретарданта длина междоузлий и высота растений у сорта Саратовская 29 были соответственно на 15–23 и 17 % больше, чем у Новосибирской 31. Возможно, более слабое воздействие ретарданта на эти морфологические показатели растений Саратовской 29 явилось одной из причин их полегания при применении повышенных доз азотного удобрения.

Таблица 3

Влияние ретарданта на длину междоузлий и высоту растений
Effect of retardant on internode length and plant height

Вариант	Средняя длина междоузлий, см				Средняя высота растений, см
	1-го	2-го	3-го	4-го	
Саратовская 29					
Без ретарданда	5,2	14,8	31,9	52,8	104,7
Ретардант	3,4	12,6	25,3	46,5	87,8
Уменьшение под влиянием ретарданта	1,8	2,2	6,5	6,2	16,9
Новосибирская 31					
Без ретарданда	4,6	18,6	33,6	50,2	107,0
Ретардант	3,0	10,2	21,9	40,2	75,3
Уменьшение под влиянием ретарданта	1,6	8,5	11,7	10,0	31,7
$НСР_{05}$	1,1	1,9	2,2	2,2	5,2

Оценка качества зерна пшеницы показала, что на неудобренном варианте опыта содержание сырой клейковины в зерне Саратовской 29 и Новосибирской 31 было примерно одинаковым – 24,8 и 26,4 % соответственно, на интенсивном фоне при применении N_{90} по этому показателю Саратовская 29 (26,8 %) значительно уступала сорту Новосибирская 31 (32,8 %). Вероятно, основной причиной этого различия явилась также полегаемость растений Саратовской 29.

Безусловно, полегаемость растений является весьма специфическим фактором снижения урожайности, качества зерна и отзывчивости сорта на применение удобрений. При отсутствии полегания различия в среднегодовой урожайности сортов в одной группе спелости, как правило, выражены довольно слабо либо отсутствуют вовсе. Например, сравнение в течение девяти лет пяти среднеспелых сортов яровой пшеницы в Среднем Поволжье показало, что только один из них имел достоверные различия по урожайности от других сортов. В этом регионе доля изменчивости урожайности, обусловленная воздействием внешней среды, достигала 83,3 %, а генотипическими особенностями сортов яровой пшеницы – только 3,1 % [17]. Сравнение в течение трех лет четырех среднеспелых сортов яровой пшеницы, выращивавшихся по чистому пару при применении комплекса средств химизации в южной лесостепи Омской области, не обнаружило различий в урожайности [18]. При сравнении выращивания по пару, также в течение трех лет, четырех среднеспелых сортов яровой пшеницы в северной лесостепи Тюменской области зарегистрировано заметное изменение (увеличение) среднегодовой урожайности только у одного сорта [19]. Трудно сказать, различались бы сорта по среднегодовой урожайности, если проводить сравнение на протяжении большего количества лет. Очевидно, что, обладая теми или иными генотипическими особенностями, сорт получает преимущество в урожайности в определенных погодных условиях вегетационного периода и может проигрывать, если эти условия складываются по-другому. Однако при выборе сорта для практического выращивания ориентироваться нужно именно на среднегодовые показатели урожайности и качества зерна, поскольку точный прогноз погодных условий вегетационного периода (прежде всего июня – июля) пока невозможен. Следует также отметить, что при проведении полевых опытов среднегодовые различия в урожайности сортов не всегда обусловливаются их генотипическими особенностями. Как уже отмечалось, большую роль может играть качество семян, и при анализе результатов опытов не всегда ясно, были ли исследователями предприняты достаточные усилия (протравливание, подработка и др.), чтобы это качество у сравниваемых сортов привести к какому-то одному уровню.

Наш опыт, проведенный в соответствии с требованиями интенсивной технологии, показал, что современный сорт яровой пшеницы Новосибирская 31 превосходил по урожайности сорт Саратовская 29 только при весьма высоких урожаях: более 3,7 т/га зерна. Как уже отмечалось, урожайность зерновых в преимущественно экстенсивном земледелии Сибири пока не превышает 2,0 т/га зерна. Поэтому можно полагать, что для подавляющего большинства хозяйств, использующих экстенсивные и малоинтенсивные технологии, использование потенциально более урожайных сортов заметного преимущества пока не дает. Вполне вероятно, что значительное отставание хозяйств в освоении интенсивных технологий выращивания культур – одна из причин упоминавшегося выше несоответствия между количеством выведенных селекционерами сортов и фактическим увеличением урожайности зерновых культур в Сибири. Это свидетельствует о пока недостаточно эффективном использовании практическим земледелием достижений селекции, но вовсе не означает бесполезности наличия на данном этапе сортов с потенциально высокой урожайностью. Дело в том, что в Сибири имеются передовые хозяйства, которые систематически получают урожаи зерна 3–4 т/га и более. Пока таких хозяйств сравнительно немного и их роль в формировании среднегодовой по пятилетиям урожайности зерновых в регионе не очень заметна. Безусловно, ситуация постепенно будет улучшаться, и благодаря увеличению хозяйств с высокой культурой земледелия повысятся не только эффективность использования достижений селекции, но и урожайность зерновых культур в регионе. Тем не менее с научной точки зрения

важно продолжить исследования имеющихся у селекционеров возможностей повышения среднегодовой урожайности культур за счет корректировки их генотипов на территориях с ограниченными ресурсами тепла и влаги. Эти возможности могут быть связаны не только с устранением фактора полегаемости, как в нашем опыте, но и повышением эффективности использования культурами влаги и элементов минерального питания из почвы, оптимизацией в агрофитоценозе процессов фотосинтеза и дыхания, увеличением устойчивости сортов к вредителям и грибковым инфекциям и др.

ВЫВОДЫ

1. Применение под современный сорт яровой пшеницы (Новосибирская 31) и районированный более 60 лет назад (Саратовская 29) относительно небольших доз азотного удобрения на фоне комплекса средств защиты растений обеспечивало практически одинаковое увеличение урожайности вплоть до получения 3,7 т/га зерна. При этом окупаемость сортами удобрения прибавкой урожая также существенно на различалась.

2. При использовании азотного удобрения в повышенных дозах ($N_{60} – N_{90}$) наблюдался опережающий рост урожайности сорта Новосибирской 31, в результате чего отставание Саратовской 29 по этому показателю составило 0,52–0,87 т/га зерна.

3. Основной причиной прекращения роста урожайности Саратовской 29 при повышенных дозах азота и, как следствие, падения окупаемости ею азотного удобрения и ухудшения качества зерна явилось полегание растений несмотря на применение ретарданта. У растений Новосибирской 31 этот недостаток не проявлялся, причем реакция этого сорта на применение ретарданта в виде уменьшения длины междоузлий и высоты растений была выражена значительно сильнее, чем у сорта Саратовская 29.

4. Можно полагать, что для большинства сибирских хозяйств, применяющих экстенсивные и малоинтенсивные технологии, использование новых сортов с высоким потенциалом урожайности пока практического значения не имеет. В этом, по-видимому, кроется одна из основных причин наблюдаемого противоречия между большим количеством выведенных селекционерами высокоурожайных сортов и отсутствием роста среднегодовой по пятилетиям урожайности зерновых в Сибири в последние 2–3 десятилетия.

Исследование выполнено в рамках государственных заданий ИПА СО РАН (№ 121031700309-1) и СФНЦА РАН (№ 0533-2021-0005).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гончаров П.Л.* О стабилизации растениеводства в Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 12. – С. 6–8.
2. *Кирюшин В.И., Кирюшин С.В.* Агротехнологии. – СПб.: Лань, 2015. – 464 с.
3. *Межрегиональная* схема размещения и специализации сельскохозяйственного производства в субъектах Российской Федерации Сибирского федерального округа / А.С. Донченко, В.К. Каличкин, Р.П. Митякова [и др.]; ИИЦ ГНУ СибНСХБ Россельхозакадемии. – Новосибирск, 2016. – 255 с.
4. *Андреева З.В., Цильке Р.А.* Урожайность зерна мягкой яровой пшеницы на госсортоучастках Омской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 12 (204). – С. 18–22.
5. *Воробьев В.А., Воробьев А.В.* Влияние влагообеспеченности вегетационного периода на смену рангов сортов яровой пшеницы по урожайности и элементам ее структуры // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – № 8. – С. 29–32. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10806.
6. *Шарков И.Н., Колбин С.А.* Влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотного удобрения в лесостепи Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 1 (54). С. 33–41. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-54-1-33-41.
7. *Продуктивность* и качество мягкой яровой пшеницы в Западной Сибири / Т.Н. Капко, И.Е. Лихенко, В.В. Советов, Е.В. Агеева // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – № 10. – С. 25–31. – DOI: 10.53859/02352451-2021-35-10-25.

8. *Проблема* засухоустойчивости яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири и современные экспресс-методы ее оценки в полевых условиях / В.П. Шаманин, А.Ю. Трущенко, А.В. Пинкаль [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 3 (40). – С. 57–64.
9. *Результаты* селекции яровой мягкой пшеницы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН /И.Е. Лихенко, В.В. Советов, Г.В. Артемова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – № 10. – С. 5–10. – DOI: 10.53859/02352451-2021-35-10-5.
10. *Экологическая* пластичность сортов мягкой яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Ю.С. Краснова, В.П. Шаманин, С.Л. Петуховский, Л.М. Кирилюк // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1633.
11. *Каталог* сортов сельскохозяйственных культур, созданных учеными Сибири и включенных в Госреестр РФ (районированных) в 1929–2008 гг. Вып. 4, Т. 1. – Новосибирск, 2009. – 208 с.
12. *Экономическая* эффективность и перспективы развития зернового производства в Сибири / Л.В. Тю, Е.В. Афанасьев, А.А. Быков, О.А. Алещенко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 1. – С. 28–32. – DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-1-28-32.
13. *Шарков И.Н.* Интенсификация агротехнологий – главный приоритет сибирского земледелия // Наука и технологии Сибири. – 2021. – № 3. – С. 13–19.
14. *Сортовое* районирование сельскохозяйственных культур в Новосибирской области на 2011 г. – Новосибирск: ИПЦ «АГРОС», 2011. – 105 с.
15. *Слободчиков А.А.* Влияние средств защиты растений на продуктивность сортов яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – № 2. – С. 10–14. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10202.
16. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Новосибирск: СО РАСХН, 2008. – 217 с.
17. *Кривобочек В.Г.* Итоги и перспективы селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья. – Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – 180 с.
18. *Корчагина И.А., Юшкевич Л.В.* Сорта пшеницы в интенсивном земледелии Омского Прииртышья. – Омск: Омский АНЦ, 2023. – 172 с.
19. *Сапега В.А., Турсумбекова 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. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.

REFERENCES

1. Goncharov P.L., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2007, No. 12, pp. 6–8. (In Russ.)
2. Kiryushin V.I., Kiryushin S.V., *Agrotekhnologii* (Agrotechnologies), Sankt-Peterburg: Lan', 2015, 464 p.
3. Donchenko A.S., Kalichkin V.K., Mityakova R.P., Utenkov G.L., *Mezhregional'naya skhema razmeshcheniya i spetsializatsii sel'skokhozyai-stvennogo proizvodstva v sub"ektakh Rossiiskoi Federatsii Sibirskogo federal'nogo okruga* (Interregional scheme of location and specialization of agricultural production in the subjects of the Russian Federation of the Siberian Federal District), Novosibirsk: GNU SibNSKhB Rossel'khozakademii, 2016, 255 p.
4. Andreeva Z.V., Tsil'ke R.A., *Sibirskii vestnik sel'skokho-zyaistvennoi nauki,* 2009, No. 12 (204), pp. 18–22. (In Russ.)
5. Vorob'ev V.A., Vorob'ev A.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK,* 2019, No. 8, pp. 29–32, DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10806. (In Russ.)
6. Sharkov I.N., Kolbin S.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet),* 2020, No. 1 (54), pp. 33–41, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-54-1-33-41. (In Russ.)
7. Kapko T.N., Likhenko I.E., Sovetov V.V., Ageeva E.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK,* 2021, No. 10, pp. 25–31, DOI: 10.53859/02352451-2021-35-10-25. (In Russ.)
8. Shamanin V.P., Trushchenko A.Yu., Pinkal' A.V., Pushkarev D.V., Potoczkaya I.V., Morgunov A.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet),* 2016, No. 3 (40), pp. 57–64. (In Russ.)
9. Likhenko I.E., Sovetov V.V., Artemova G.V., Ageeva E.V., Kapko T.N., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK,* 2021, No. 10, pp. 5–10, DOI: 10.53859/02352451-2021-35-10-5. (In Russ.)
10. Krasnova Yu.S., Shamanin V.P., Petukhovskii S.L., Kirilyuk L.M., *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 6, pp. 1633. (In Russ.)

11. *Katalog sortov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur, sozdannykh uchenymi Sibiri i vklyuchennykh v Gosreestr RF (raionirovannykh) v 1929–2008 gg.* (Catalog of varieties of agricultural crops, created by scientists of Siberia and included in the State Register of the Russian Federation (zoned) in 1929-2008.), Vypusk 4, Vol. 1, Novosibirsk: Sibirskoe otd-nie, 2009, 208 p.
12. Tyu L.V., Afanas'ev E.V., Bykov A.A., Aleshchenko O.A., *Ekonomika sel'skokhozyaistvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii,* 2021, No. 1, pp. 28–32, DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-1-28-32. (In Russ.)
13. Sharkov I.N., *Nauka i tekhnologii Sibiri,* 2021, No. 3, pp. 13–19. (In Russ.)
14. *Sortovoe raionirovanie sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Novosibirskoi oblasti na 2011 g.* (Variety zoning of agricultural crops in the Novosibirsk Region for 2011), Novosibirsk: IPTs "AGROS", 2011, 105 p.
15. Slobodchikov A.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK,* 2020, No. 2, pp. 10–14, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10202. (In Russ.)
16. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied statistics on a computer), Novosibirsk: SO RASKhN, 2008, 217 p.
17. Krivobochek V.G., *Itogi i perspektivy selektsii yarovoi myagkoi pshenitsy v lesostepi Srednego Povolzh'ya* (Results and prospects of spring soft wheat breeding in the forest-steppe of the Middle Volga region), Penza: RIO PGAU, 2018, 180 p.
18. Korchagina I.A., Yushkevich L.V., *Sorta pshenitsy v intensivnom zemledelii Omskogo Priirtysh'ya* (Wheat varieties in intensive farming in the Omsk Priirtyshye region), Omsk: Omskii ANTs, 2023, 172 p.
19. Sapega V.A., Tursumbekova G.Sh., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 3 (64), pp. 67–75, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-177-188
УДК 631.362.36

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПНЕВМОСЕПАРИРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

[1]**Д.А. Яковлев**, кандидат технических наук, доцент
[2]**Р.Е. Прокопчук**, кандидат технических наук
[2]**В.Н. Кузнецов**, кандидат технических наук, доцент
[2]**А.А. Мороз**, аспирант
[3]**Д.П. Гребенюк**, аспирант
[1]*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
[2]*Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия*
[3]*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирской обл., Россия*
E-mail: dyagro@yandex.ru

***Ключевые слова*:** семена, подготовка семенного материала, удельный вес семян, пневмосепарирование, скорость витания пшеницы.

Реферат. *Объектом исследования является процесс формирования урожая яровой пшеницы после посева семенами, выделенными на скоростях витания 9, 10, 11 м/с. Цель работы – повышение качества посевного материала на основе пневмосепарирования и урожая яровой пшеницы. В ходе исследований на лабораторном пневмоклассификаторе Petkus K-293 проводилось разделение зерна на фракции при скоростях витания в диапазоне 9–11 м/с с шагом дискретизации 1 м/с. Для определения влияния семян, имеющих различную скорость витания, на рост и развитие растений, а также на урожайность и качество полученного зерна в период с 2020 по 2023 г. на базе учебно-опытной сельскохозяйственной станции Алтайского ГАУ были проведены исследования, для которых был выбран наиболее распространенный и районированный в Алтайском крае элитный сорт мягкой пшеницы Алтайская жница. Были проведены сравнительные посевы яровой пшеницы фракциями, выделенными на скоростях витания 9, 10, 11 м/с. В процессе работы проведена качественная и количественная оценка семенного материала яровой пшеницы и её урожая, также были проведены наблюдения за фазами развития растений в период вегетации и условиями их произрастания. Основным показателем семенного материала является удельный вес семян. В ходе обработки результатов исследований наблюдалась линейная зависимость удельной массы семян и их урожайности. Технология подготовки семян путем пневмоклассификации может быть внедрена в производство после проведения дополнительных уточняющих исследований по дифференциации нормы высева в рамках одной выделенной фракции.*

EFFICIENCY OF SPRING WHEAT SEEDS PREPARATION BY AIR SEPARATION

[1]**D. Iakovlev,** PhD in Engineering, Associate Professor
[2]**R. Prokopchuk,** PhD in Engineering
[2]**V. Kuznetsov,** PhD in Engineering, Associate Professor
[2]**A. Moroz,** postgraduate student
[3]**D. Grebenyuk,** postgraduate student
[1]*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
[2]*Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia*
[3]*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia*
E-mail: dyagro@yandex.ru

***Keywords*:** seeds, seed material preparation, seeds specific weight, pneumoseparation, wheat soaring speed.

Abstract: *The object of the study is the process of formation of the spring wheat harvest after sowing with seeds isolated at soaring speeds of 9, 10, 11 m/s. The purpose of the work is to improve the quality of seed material and spring wheat harvest based on pneumatic separation. During the research, using a Petkus K-293 laboratory pneumatic classifier, grain was separated into fractions at soaring speeds in the range of 9-11 m/s with a sampling step of 1 m/s. To determine the effect of seeds with different soaring speeds on the growth and development of*

plants, as well as on the yield and quality of the resulting grain, studies were carried out in the period from 2020 to 2023 on the basis of the educational and experimental agricultural station of the Altai State Agrarian University. The most common and zoned variety in the Altai region, the elite soft wheat variety Altai Zhnitsa, was chosen. Comparative sowings of spring wheat were carried out with fractions isolated at soaring speeds of 9, 10, 11 m/s. In the process of work, a qualitative and quantitative assessment of the seed material of spring wheat and its harvest was carried out, observations were also made of the phases of plant development during the growing season and the conditions of their growth. The main indicators of seed material are their specific gravity; during the processing of the results, a linear relationship between the specific gravity of seeds and their yield was observed. The technology of seed preparation by pneumatic classification can be introduced into production after additional clarifying studies on differentiating the seeding rate within one selected fraction.

В настоящее время вопрос качества семенного материала яровой пшеницы достаточно актуален, от этого зависит будущая урожайность и, как следствие, продовольственная безопасность нашей страны. Важными приемами, способствующими получению семян, обладающих высокими посевными качествами, является тщательная очистка и сортировка зерна. На сегодняшний день при подготовке семенного материала зерновой ворох разделяют по размеру, массе и аэродинамическим свойствам при помощи решет, воздушного потока и вибрации. Зачастую такие зерноочистительные машины бывают комбинированными и сочетают в себе все перечисленные способы сортировки [1, 2].

Процесс сортирования зерна при помощи воздушного потока представляет особый интерес, поскольку позволяет разделять семена по удельному весу, отделяя щуплые и слабые зерна из посевного материала. Работающие по данному принципу машины разделяют зерновой ворох на фракции в горизонтальном или вертикальном воздушном потоке. Движение зерновок в воздушном потоке зависит от их массы, формы, площади миделевого сечения и скорости воздушного потока [3–7].

По результатам множества отечественных и зарубежных исследований известно, что при подготовке семенного материала наиболее крупные и тяжелые семена предпочтительнее, поскольку они обладают лучшей энергией прорастания, лабораторной и полевой всхожестью, а главное, наибольшим потенциалом для получения высоких урожаев зерна высокого качества и класса [8–10].

В соответствии с этим целью нашего исследования является повышение качества посевного материала на основе пневмосепарирования и урожая яровой пшеницы.

В ходе исследования необходимо было решить следующие задачи:

1) провести лабораторные исследования по определению качества семенного материала яровой пшеницы путем пневмоклассификации на различных скоростях витания;

2) провести закладку полевого опыта семенами яровой пшеницы, разделенными на фракции по скорости витания;

3) исследовать влияние качества семян яровой пшеницы на структуру урожая и качество зерна;

4) обосновать требуемые параметры качества семян яровой пшеницы и технологию их получения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования для определения влияния семян, имеющих различную скорость витания, на рост и развитие растений, а также на урожайность и качество полученного зерна были проведены в период с 2020 по 2023 г. [11–14].

В ходе исследований проводилось разделение зерна на фракции при скоростях витания в диапазоне 9–11 м/с с шагом дискретизации 1 м/с. Скорость витания пшеницы – это скорость потока воздуха, при которой сила тяжести зерновки уравновешивается силой сопротивления воздуха. Указанный диапазон скоростей витания пшеницы соответствует среднему, установленному многими исследователями, – 8,9–11,5 м/с.

Для проведения исследований был выбран наиболее распространенный и районированный в Алтайском крае элитный сорт мягкой пшеницы Алтайская жница, полученный от семеноводческого предприятия и имеющий

соответствующие сертификаты. Разделение зерна по фракциям проводилось на лабораторном пневмоклассификаторе Petkus K-293 (рис. 1). Данный пневмоклассификатор позволяет обеспечить конкретно заданную скорость воздушного потока по всей площади сепарации канала, что улучшает качество фракционирования. Процесс работы машины протекает следующим образом: зерновой ворох загружается в бункер-питатель, в нижней части которого установлен вибропитатель, который подает материал в вертикальный воздушный поток. Фракции, имеющие наибольшую массу, опускаются вниз и накапливаются в приемнике крупной фракции, а более легкие выдуваются воздушным потоком, одна их часть уходит в осадочную камеру, а другая – в приемник мелкой фракции [15, 16].

Результаты разделения семян по фракциям (рис. 2) на разных скоростях витания показали, что в 1 кг содержится наибольшее количество семян (41,2 %), выделенных на скорости витания 9 м/с, а наименьшее (1,4 %), – на скорости ниже 9 м/с.



Рис. 1. Пневмоклассификатор Petkus K-293
Pneumatic classifier Petkus K-293

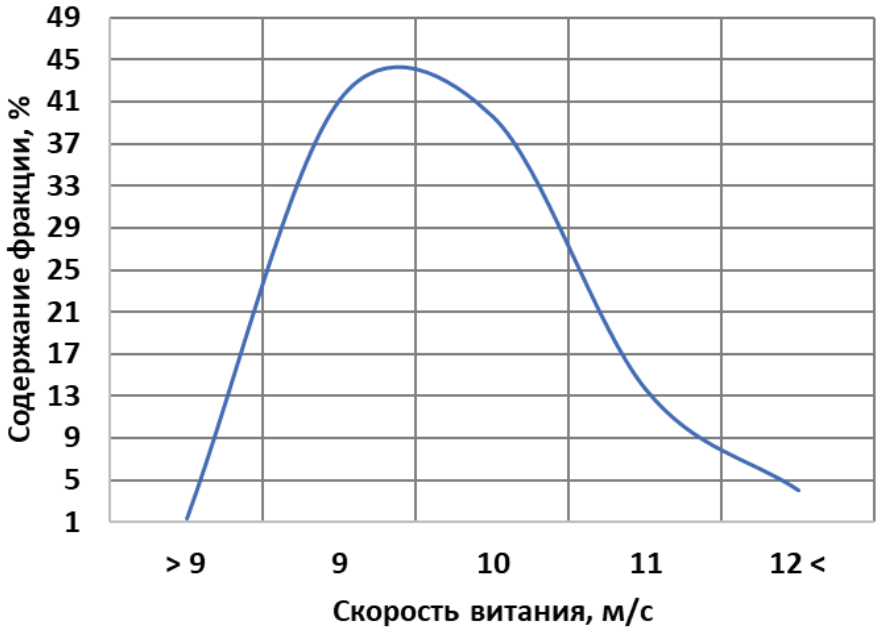


Рис. 2. Экспериментальная зависимость содержания фракций в 1 кг семян от скорости витания
Experimental dependence of the content of fractions in 1 kg of seeds on the soaring speed

При росте скорости витания выделяются наиболее крупные семена, из этого следует, что связь массы и скорости витания линейная. Наибольшей массой обладают семена, выделенные на скорости витания 11 м/с при средней массе 1000 семян 47,2 г, а наименьшей – исходные семена, принятые за контроль при средней массе 1000 семян 36,9 г.

Для определения влияния семян, имеющих различную скорость витания, на рост и развитие растений, а также на урожайность и качество полученного зерна с 2020 по 2023 г. проводились полевые опыты на базе учебно-опытной сельскохозяйственной станции Алтайского ГАУ.

Качественные показатели зерна определялись в соответствии с ГОСТ Р 71208-2024 при помощи инфракрасного анализатора «ИнфраЛЮМ ФТ-12».

В результате проведения лабораторных исследований посевного материала была принята норма высева семян 4 млн шт/га, соответствующая региональным рекомендациям агрономов-технологов. Весовые нормы высева рассчитаны в соответствии с массой 1000 семян, определенной для каждой выделенной фракции и составили для контроля – 148 кг/га; 9 м/с – 177 кг/га; 10 м/с – 186 кг/га4/ 11 м/с – 189 кг/га.

Деляночные опыты закладывались на поле площадью 72 га. Общая площадь, занимаемая делянками – 792 м^2 (12 делянок по 66 м^2). Тип почвы на опытном поле – выщелочные черноземы. Предшественник – пар. С осени поле не обрабатывалось, весной проводилось раннее весеннее боронование с целью закрытия влаги, предпосевная культивация почвы непосредственно перед посевом на его глубину, которая составляла 5 см. Каждый вариант был заложен в трёхкратной повторности, делянки были расположены в соответствии с методом рандомизации по методике Б.А. Доспехова. Схема полевого опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1

Схема закладки полевого опыта
Scheme of setting up a field experiment

№ Делянки	Вариант
1	2
1	Контроль
2	11 м/с

Окончание табл. 1

1	2
3	10 м/с
4	9 м/с
5	10 м/с
6	Контроль
7	9 м/с
8	11 м/с
9	Контроль
10	10 м/с
11	11 м/с
12	9 м/с

Перед посевом семена были обработаны протравителем Дивиденд Суприм («Сингента») в дозировке 2 л/т. Посев осуществлялся посевным агрегатом на базе трактора МТЗ-82,1 и селекционной сеялки СС-11 «Альфа», с междурядьем 15 см. Обработка посевов средствами защиты производства компании «Сингента» проводилась в фазы кущения: гербицид Камаро 0,5 л/га, инсектицид Каратэ Зеон 0,2 л/га, фунгицид Альто Турбо 0,5 л/га. Расход рабочего раствора – 200 л/га.

Ежегодно перед посевом на опытном поле определяли влажность почвы по слоям до 100 см (рис. 3). Замеры влажности почвы проводили при помощи стандартизованного влагомера НН-2 Delta-t Devices. Влажность почвы в поверхностном слое (0–10 см) в среднем составляла 22,3 %, что соответствует благоприятным условиям для прорастания семян.

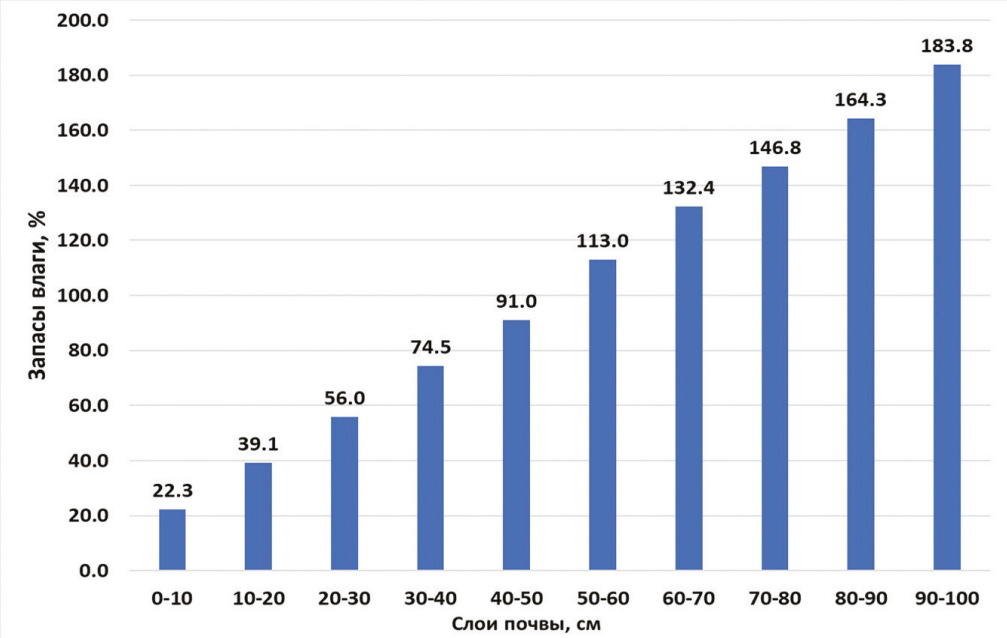


Рис. 3. Средние запасы влаги на опытном поле по слоям почвы
Average moisture reserves in the experimental field by soil layers

Средние запасы влаги в метровом слое составляли 183,8 мм, что соответствует очень низким значениям.

Контроль выпадения осадков и изменения суточных температур проводился с использованием данных агрометеостанции, расположенной в АО «Пригородное» в 3 км от опытного поля. Распределение осадков было неравномерным. Основное их количество выпадало в июле–августе. Общая средняя сумма осадков составляла 267,4 мм. Самая высокая среднесуточная температура за период вегетации растений наблюда-

лась в начале июня и составляла 35 ^{0}C , самая низкая – 10 ^{0}C в начале мая.

Анализ почвы на содержание элементов питания на момент посева проводился в Центре агрохимической службы «Алтайский». Щелочногидролизуемый азот определяли по методу Корнфилда, фосфор и калий в подвижной форме – в соответствии с ГОСТ 26204–91. Среднее содержание элементов: легкогидролизуемого азота – 63 мг/кг, подвижного фосфора – 265 мг/кг, обменного калия – 129 мг/кг. Согласно классификации это соответствует среднему уровню обеспеченности почвы легкогидролизуемым азотом и высокому фосфором и калием.

Полевую всхожесть семян пшеницы расчитывали отношением количества всходов к количеству фактически высеянных семян на 1 м^2 в процентах. В нашем случае при норме высева 4 млн шт./га количество высеянных семян составляло 400 шт./м^2. Высоту растений пшеницы определяли в соответствии с известными методиками полевого опыта, коэффициент кустистости – в соответствии с методикой полевого опыта Б.А. Доспехова путём учёта количества всходов, общего количества побегов и продуктивных побегов.

Биологическую урожайность пшеницы определяли на основе структуры урожая в соответствии с методикой полевого опыта Б.А. Доспехова.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели влажности почвы в метровом слое по фазам развития пшеницы приведены на рис. 4.

Исходя из средней динамики влажности почвы в ходе вегетации растений видим, что в фазу всходов наибольшие запасы влаги в метровом слое (159,8 мм) наблюдали в варианте, с семенами выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшие (145,4 мм) – в варианте, принятом за контроль. В фазу кущения наибольшими запасы влаги (147,5 мм) были в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьшие (138,7 мм) – в контрольном варианте. В фазу выхода в трубку в почве отличались минимальные запасы за весь период вегетации, при этом наибольшие запасы (120,5 мм) наблюдали в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, наименьшие (99,1 мм) – 9 м/с. В фазу цветения наибольшие запасы влаги (210,3 мм) наблюдалась в контроле, а наименьшие (152,4 мм) – в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с. В фазу колошения наибольшие запасы влаги (156,4 мм) зафиксированы в контроле, а наименьшие (135,2 мм) – в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с. В фазу молочной спелости наибольшие запасы влаги (273,8 мм) определены в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшие (224,2 мм) – 10 м/с.

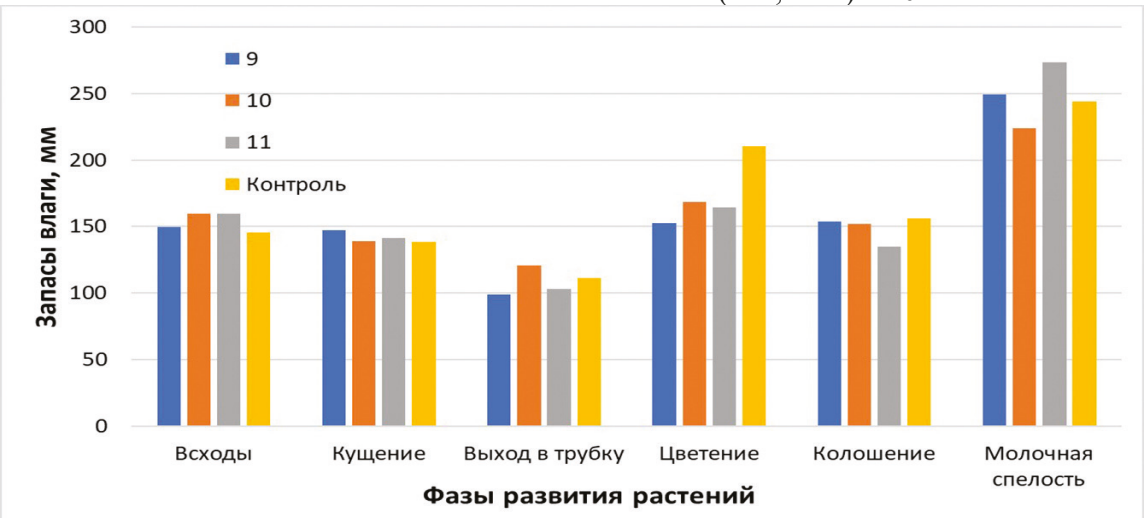


Рис. 4. Динамика средних запасов влаги в метровом слое по вариантам опыта
Dynamics of average moisture reserves in a meter layer according to experimental options

При 400 шт. высеянных на 1 м^2 семян, наибольшую полевую всхожесть семян (90,8 %) имел вариант с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, наименьшую (83 %) –

контроль, варианты с семенами, выделенными на скорости витания 9 и 11 м/с показали 85,9 и 83,4 % соответственно.

Динамика средней высоты растений за период вегетации представлена на рис. 5.

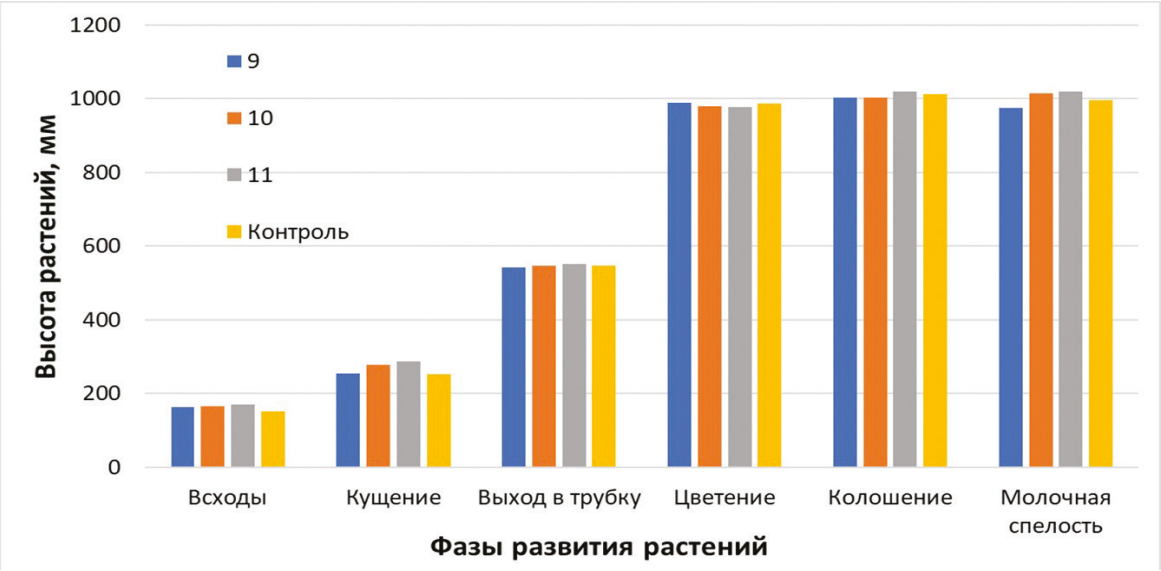


Рис. 5. Динамика средней высоты растений за период вегетации
Dynamics of average plant height during the growing season

В среднем по фазам вегетации растения во всех вариантах развивались равномерно, и изменения высот находятся в пределах ошибки опыта, но тем не менее необходимо отметить, что на стадии всходов наибольшей высотой (170,4 мм) обладали растения варианта с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (152,8 мм) растения контрольного варианта. На стадии кущения наибольшей высотой (287,6 мм) отличались растения варианта с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (252,7 мм) – контрольного варианта. На стадии выхода в трубку наибольшая высота (551,8 мм) наблюдалась у растений варианта с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшая (541,8 мм), – 9 м/с. На стадии цветения наибольшей высотой (989,1 мм) характеризовались растения в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьшей (977,1 мм) – 11 м/с. На стадии колошения наибольшей высотой (1019,1 мм) обладали растения в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (1002,7 мм) – 9 м/с. На стадии молочной спелости наибольшей высотой (1020 мм) отличались растения в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (974 мм) – 9 м/с.

Результаты определения коэффициентов кустистости показаны в табл. 2.

Таблица 2

Средние коэффициенты кустистости растений пшеницы
Average tillering coefficients of wheat plants

Скорость витания, м/с	Коэффициент кустистости		Разница, %
	общей	продуктивной	
9	2,81	2,76	1,8
10	2,74	2,58	6,2
11	2,58	2,52	2,4
Контроль	2,73	2,38	14,7

Из таблицы видно, что наибольший средний коэффициент общей кустистости (2,81) показал вариант с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (2,58)

– 11 м/с. Наибольший коэффициент продуктивной кустистости (2,76) показал вариант с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (2,38) контрольный вариант. Наименьшую разницу между коэффициентами (1,8 %) имел вариант с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наибольшую (14,7 %) – контрольный вариант.

Для характеристики качественных показателей урожая было определено содержание фракций семян по вариантам опыта в 1 кг (табл. 2).

Таблица 3

Среднее содержание фракций в 1 кг полученного урожая
Average content of fractions per 1 kg of harvested crop

Скорость витания, м/с		Содержание фракции в 1 кг, %
исходных семян	полученного зерна	
Контроль	< 9	3,2
	9	83,1
	10	9,0
	11	2,1
	> 11	2,6
9	< 9	22.0
	9	3.2
	10	35.7
	11	38.4
	> 11	0.7
10	< 9	0,8
	9	5,4
	10	40,5
	11	50,0
	> 11	3,3
11	< 9	10,5
	9	59,5
	10	22,8
	11	5,8
	> 11	1,4

Как показывает анализ, в 1 кг урожая, полученного в контроле, наибольшее содержание (83,1 %) имела фракция, выделяемая на скорости витания 9 м/с. В варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, содержится больше всего (38,4 и 35,7 %) фракций, выделяемых на скорости витания 11 и 10 м/с соответственно. В варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, содержится больше всего (50,0 и 40,5 %) фракций, выделяемых на скорости витания 11 и 10 м/с соответственно. В варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, больше всего (59,5 %) фракции, выделяемой на скорости витания 9 м/с.

Для наглядного сравнения качественных показателей зерна полученного урожая, разделенного на фракции по скорости витания между опытными вариантами, данные были сведены в табл. 4.

При средней влажности проб 12,6 %, массе проб 55 г и натуре 846 г/л самое высокое содержание белка (17,65 %) наблюдалось в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, самое низкое (17,14 %) – 9 м/с. Самое высокое содержание клейковины (34,89 %) отмечено в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, самое низкое (33,79 %) – 9 м/с. Наиболее высокий ИДК (82,14) наблюдался в контрольном варианте, самый низкий (75,69) – в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с.

Таблица 4

Качественные показатели полученного зерна
Quality indicators of the resulting grain

№	Скорость витания, м/с		Влажность, %	Белок, %	Клейковина, %	ИДК	Натура, г/л
	Семян	Зерна					
1	Контроль		11,99	17,19	33,85	82,14	831,77
2	Контроль	9	12,93	18	33,53	81,30	841,97
3		10	13,05	17,55	35,74	78,35	862,80
4		11	12,71	17,39	34,66	78,75	853,12
5	9		12,40	17,14	33,79	79,29	848,40
6	9	9	12,59	17,05	32,96	79,81	841,45
7		10	12,61	17,21	34,83	79,59	856,58
8		11	12,41	17,96	32,47	79,94	833,53
9	10		11,99	17,65	34,89	75,69	843,25
10	10	9	13,06	16,57	30,81	82,49	807,23
11		10	12,34	17,51	36,64	74,71	861,35
12		11	12,37	17,52	38,01	74,95	855,69
13	11		12,00	17,33	34,16	80,06	836,42
14	11	9	13,41	17,50	33,64	79,30	865,50
15		10	11,58	17,14	34,64	76,74	844,09
16		11	13,66	17,36	34,44	83,82	857,35
Среднее			12,57	17,38	34,32	79,18	846,28

Для оценки потребления растениями элементов питания за период вегетации были проведены исследования почвенных образцов, взятых с экспериментального поля по вариантам опыта после уборки урожая пшеницы. Наибольший расход азота (31 мг/кг) наблюдался в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (19,6 мг/кг) – в контроле. Наибольший расход фосфора (38 мг/кг) отмечен в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (32 мг/кг) – в контрольном. Содержание калия в почве изменялось в пределах 118–139 мг/кг.

Результаты определения урожайности приведены к влажности 12 %. В варианте с семенами, полученными при скорости витания 9 м/с биологическая урожайность составила 49,1 ц/га, 10 м/с – 52,3 ц/га, 11 м/с – 53,3 ц/га и в контроле – 56,4 ц/га.

Таким образом, наибольшую урожайность показал контрольный вариант, а наименьшую – вариант с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с. Стандартное отклонение составило 7,7, коэффициент вариации 14,7 %, что говорит о средней степени рассеивания данных и свидетельствует об однородности совокупности.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее урожайным вариантом(56,4 ц/га) оказались семена, принятые за контроль. Семена, выделенные на скоростях витания 9, 10, 11 м/с обеспечили урожайность, возрастающую с ростом удельного веса семян – 49,1; 52,3; 53,3 ц/га соответственно, т.е. чем выше удельный вес семян, тем они урожайнее.

2. При анализе качества семена, выделенные на скорости витания 10 м/с, показали самое высокое содержание белка (17,65 %) и клейковины (34,89 %). Данные показатели являются ключевыми при определении классности зерна. Это говорит о том, что при пограничных значениях, урожай, полученный из семян, выделенных на скорости витания 10 м/с, будет предпочтительнее и, как следствие, дороже при реализации.

3. При разделении полученного урожая на фракции установлено, что в урожае, полученном после посева семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, наиболее крупные

зерна, имеющие наибольший удельный вес, составляют 90 % в 1 кг зерна и относятся к фракциям, выделяемым на скоростях витания 10 и 11 м/с. Следовательно, перед подготовкой семян необходимо определить, как будет использоваться полученный урожай. Если нужно получить более качественный семенной материал, следует высевать семена, выделяемые на скорости витания 10 м/с, а если требуется получить наибольший урожай товарного зерна, то необходимо сеять исходные семена.

4. Целесообразно проведение пневмокласcификации семян по удельному весу на разных скоростях витания. При этом следует отметить, что в рамках настоящего исследования норма высева семян каждой фракции составляла 4 млн шт/га, а поскольку наиболее тяжелые семена являются и наиболее конкурентноспособными в рамках данного опыта они конкурировали между собой за питание и условия произрастания и угнетали друг друга, не реализуя при этом полностью свой потенциал. В связи с этим необходимо дальнейшее проведение исследований по определению оптимальной нормы высева семян каждой из выделенных по скорости витания фракций. Рабочей гипотезой дальнейших исследований является то, что при дифференциации нормы высева в рамках каждой из выделенных фракций мы можем уменьшить норму высева определенной фракции и при этом получить урожай соответствующий или выше того, который показывают классические семена, а также снизить нормы высева и затраты на посев. Полученные выводы подтверждаются результатами других исследователей,работающих в этой области. [17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Конышев Н.Л.* Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств послеуборочной обработки зерна и семян трав / под общ. ред. Н.Л. Конышева. – Киров: ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока», 2018. – 348 с.
2. *Экспресс-оценка* качества семян пшеницы после очистительной линии / Н. Н. Барышева, С.П. Пронин, В. И. Беляев, Д. Д. Барышев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 10 (180). – С. 128–134.
3. *Kumar A., Muir W.E.* Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow direction, filling method and dockage // Transactions of the ASAE. – 1986. – Vol. 29, N 5. – P. 1423–1426.
4. *Brunet Y., Finnigan J.J., Raupach M.R.* A wind tunnel study of air flow in waving wheat: single–point velocity statistics // Boundary–Layer Meteorology. – 1994. – Vol. 70, N 1–2. – P. 95–132.
5. *Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А.* Сравнительные исследования эффективности функционирования пневмосепарирующих каналов фракционного пневмосепаратора семян // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019 – № 3 (62). – С. 26–31.
6. *Correlation* of microstructure, pore characteristics and hydration properties of wheat bran modified by airflow impact mill / Y. Li [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2022. – Vol. 77. – P. 102977.
7. *Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.* Моделирование диапазона скоростей витания и распределения примесей в камере при сепарировании зерна пшеницы // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 4. – С. 105–109.
8. *Поздняков В.М., Зеленко С.А.* Сортирование семян по биологической ценности // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – Т. 3. – С. 135–140.
9. *Подготовка* высококачественных семян с использованием пневмосепараторов / А.И. Бурков, Г.А. Баталова, А.Л. Глушков, В.А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017 – № 2 (57). – С. 72–76.
10. *Барышев Д.Д., Беляев В.И.* Классификация семян пшеницы для оценки качества их фракционирования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020 – № 9 (191). – С. 104–108.
11. *Экспериментальное* исследование электрофизических свойств семян пшеницы, разделенных на фракции по аэродинамическим свойствам / Д.Д. Барышев, Н.Н. Барышева, С.П. Пронин, В.И. Беляев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 179. – С. 136–140.

12. *Сравнение* биоэлектрических сигналов щуплых и выполненных семян пшеницы / Д.Д. Барышев, Н.Н. Барышева, С.П. Пронин, В.И. Беляев // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. – № 3 (51). – С. 38–45.
13. *Сравнение* мембранного потенциала зерен пшеницы, разделенных на фракции по аэродинамическим свойствам, разных сортов с разной урожайностью / Н.Н. Барышев, Д.Д. Барышева, С.П. Пронин, Д.Д. Барышев, В.И. Беляев // Инженерные технологии и системы. – 2020. – № 30. – С. 550–575.
14. *Мороз А.А., Хижников А.А.* Влияние режимов пневмосепарирования семян на урожай яровой пшеницы // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. мат-ов 17-й Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: Алтайский ГАУ, 2022. – № 2. – С. 60–62.
15. *Оценка* эффективности пневмосепарирования при подготовке семенного материала яровой пшеницы / Д.А. Яковлев, Р.Е. Прокопчук, В.Н. Кузнецов, А.А. Мороз, Д.П. Гребенюк // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых: материалы 9-й Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск–Краснообск: СФНЦА РАН, 2023. – С. 167–169.
16. *Analysis* of the physical properties of spindle seeds for seed sorting operations / Z. Kaliniewicz [et al.] // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 13625.
17. *Синягин И.И.* Площади питания растений. – 3-е изд., доп. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 383 с.

REFERENCES

1. Konyshev N.L., *Razrabotka i sovershenstvovanie tehnologicheskih linij i tehnicheskih sredstv posleuborochnoj obrabotki zerna i semjan* (Development and improvement of technological lines and technical means for post-harvest processing of grain and grass seeds), Kirov: FGBNU «FANC Severo-Vostoka», 2018, 348 p. (In Russ.)
2. Barysheva N.N., Pronin S.P., Beljaev V.I., Baryshev D.D., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 10 (180, pp. 128–134. (In Russ.)
3. Kumar A., Muir W.E., Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow direction, filling method and dockage, *Transactions of the ASAE*, 1986, Vol. 29, No. 5, pp. 1423–1426.
4. Brunet Y., Finnigan J.J., Raupach M.R., A wind tunnel study of air flow in waving wheat: single-point velocity statistics, *Boundary-Layer Meteorology*, 1994, Vol. 70, No. 1–2, pp. 95–132.
5. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A., *Agrarnaja nauka evro-severo-vostoka*, 2019, No. 3 (62), pp. 26–31. (In Russ.)
6. Li Y. et al., Correlation of microstructure, pore characteristics and hydration properties of wheat bran modified by airflow impact mill, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, Vol. 77, pp. 102977.
7. Piven' V.V., Umanskaja O.L., Krivchun N.A., *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2022, No. 4, pp. 105–109. (In Russ.)
8. Pozdnjakov V.M., Zelenko S.A., *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2013, Vol. 3, pp. 135–140. (In Russ.)
9. Burkov A.I., Batalova G.A., Glushkov A.L., Lazykin V.A., *Agrarnaja nauka evro-severo-vostoka*, 2017, No. 2 (57), pp. 72–76. (In Russ.)
10. Baryshev D.D., Beljaev V.I., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 9 (191), pp. 104–108. (In Russ.)
11. Baryshev D.D., Barysheva N.N., Pronin S.P., Beljaev V.I., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 179, pp. 136–140. (In Russ.)
12. Baryshev D.D., Barysheva N.N., Pronin S.P., Beljaev V.I., *Vestnik agrarnoj nauki Dona*, 2020, No. 3 (51), pp. 38–45. (In Russ.)
13. 13. Barysheva N.N., Barysheva D.D., Pronin S.P., Baryshev D.D., Beljaev V.I., *Inzhenernye tehnologii i sistemy*, 2020, No. 30, pp. 550–575. (In Russ.)
14. Moroz A.A., Hizhnikov A.A., *Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu* (Agricultural Science for Agriculture), Proceedings of the 17th International scientific and practical conference, Barnaul: Altajskij GAU, 2022, No. 2, pp. 60–62.
15. Jakovlev D.A., Prokopchuk R.Ye., Kuznecov V.N., Moroz A.A., Grebenjuk D.P., *Novejshie napravlenija razvitija agrarnoj nauki v rabotah molodyh uchenyh* (The latest directions in the development of agricul-

tural science in the works of young scientists), Proceedings of the 9th International scientific and practical conference, Krasnoobsk: SFNCA RAN, 2023, pp. 167–169. (In Russ.)
16. Kaliniewicz Z. et al., Analysis of the physical properties of spindle seeds for seed sorting operations, *Scientific Reports*, 2021, Vol. 11, No. 1, pp. 13625.
17. Sinyagin I.I., *Ploshhadi pitaniya rastenij* (Plant nutrition areas), Moscow: Rossel`hozizdat, 1975, 383 p. (In Russ.)

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-189-198
УДК 592:593.3

ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЖАБРОНОГОГО РАЧКА АРТЕМИИ В ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ РАВНИНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Л.В. Веснина, доктор биологических наук, профессор
Д.М. Безматерных, доктор биологических наук, доцент
Ю.А. Веснин, инженер
М.В. Лассый, лаборант
Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, Россия
E- mail: artemia.vesnina@mail.ru

Ключевые слова: жаброногий рачок, плодовитость, диапаузирующие цисты, летние яйца, живорождение, фазы водности.

Реферат. *Жаброногий рачок артемия является наиболее распространенным живым кормом, который используется в аквакультуре во всем мире. Для управления промыслом биоресурса цист артемии необходимо определять их запасы, величина которых зависит от биопродукционных характеристик артемии. В статье проанализирована межгодовая динамика численности цист артемии, взрослых особей рачка и его разновозрастных стадий в разные фазы водности в сравнении с их среднемноголетними показателями в основных промысловых озерах Алтайского края: Кулундинском, Кучукском, Большом Яровом и Малом Яровом. В разнотипных исследуемых озерах в течение вегетационного периода наблюдается три-четыре генерации артемии. Выявлено, что на жизненный цикл артемии в среднем приходится 3,7±1,4 поколений. Рассчитана длина половозрелых особей в оз. Кулундинское со средней плодовитостью самок в пределах 16,0–94,0 экз.; в оз. Кучукское – 34,0–45,0 экз.; в оз. Большое Яровое – 26,6–134,4 экз.; в оз. Малое Яровое – 25,0–30,0 экз. В озерах Кулундинское и Большое Яровое показана структура продукционных характеристик самок рачка в составе толстоскорлуповых цист, тонкоскорлуповых яиц и живорождения. На долю последних приходится в среднем от 1,5 до 9,4 %. Рассчитан коэффициент корреляции между плодовитостью и температурой воды – $r = 0,80$ ($p < 0,05$). Показана особенность вариационных рядов плодовитости на примере самок рачка артемии оз. Кулундинское в трансгрессивную и регрессивную фазы водности. Выявлен тренд запасов цист артемии в гипергалинных озерах до 2030 г.*

PRODUCTION POTENTIAL OF THE BRINE SHRIMP ARTEMIA IN HYPERSALINE LAKES OF THE PLAIN OF THE ALTAI TERRITORY

L.V. Vesniba, Doctor of Biological Sciences, Professor
D.M. Bezmaternyh, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
Yu.A. Vesnin, Engineer
M.V. Lassyi, Laboratory assistant
Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia
E- mail: artemia.vesnina@mail.ru

Keywords*:* branchiopod crustacean, fertility, diapausing cysts, summer eggs, viviparity, water phases.

Abstract. *The brine shrimp Artemia is the most common live food used in aquaculture worldwide. In order to manage the fishery of Artemia cysts bioresource it is necessary to determine their stocks, the value of which depends on the bioproductive characteristics of Artemia cysts. The article analyzes the inter-annual dynamics of Artemia cysts abundance, adult individuals of the brine shrimp and its different age stages in different phases of water availability in comparison with their average annual indicators in the main commercial lakes of the Altai Krai: Kulundinskoye, Kuchukskoye, Bolshoye Yarovoye and Maloye Yarovoye. Three or four generations*

of Artemia are observed in different types of the studied lakes during the vegetation period. It was revealed that Artemia life cycle has 3.7±1.4 generations on average. The length of sexually mature individuals was calculated in Kulundinskoye with average fecundity of females ranging from 16.0–94.0 specimens; in Kuchukskoye – 34.0–45.0; in Bolshoye Yarovoye – 26.6–134.4; in Maloye Yarovoye – 25.0–30.0 specimens. In lakes Kulundinskoye and Bolshoye Yarovoye, the structure of productive characteristics of female crustacean in the composition of thick-shell cysts, thin-shell eggs, and live birth is shown. The share of the latter accounts on average from 1.5 to 9.4 %. The correlation coefficient between fecundity and water temperature was calculated – r = 0.80 (p < 0.05). The peculiarity of fecundity variation series on the example of female Artemia of Lake Kulundinskoe in transgressive and regressive phases of water content is shown. The trend of Artemia cysts stocks in hypergaline lakes up to 2030 is revealed.

В основе освоения биоресурса цист артемии в гипергалинных озерах Западной Сибири лежит выпуск стартовых биокормов. В 70-е гг. впервые были проведены исследования и начато хозяйственное освоение цист артемии на оз. Соленое Завьяловского района Алтайского края объемом добычи 0,5–23,8 т сырой массы. В 80-е гг. объем вылова возрос до 39,0 т, в 90-е гг. – до 1 077,0 т. Начиная с 2000 г. на гипергалинных озерах равнины Алтая ведется мониторинг состояния биоты озер и прогнозирование рекомендованного объема вылова диапаузирующих цист.

Гипергалинные озера юга Западной Сибири становятся основными поставщиками диапаузирующих цист для море- и аквакультуры. Большую значимость имеет жаброногий рачок как ресурс белкового корма. На современном международном рынке есть не только цисты артемии в качестве стартовых кормов, но и науплии, взрослые особи в живом, сублимированном виде, свежемороженном, а также в виде муки и гранул. Россия на мировом рынке занимает третье место по запасам диапаузирующих цист после США и Китая. Цисты относятся к стратегически важным ресурсам и знаковыми для развития аквакультуры и подтверждены основными документами: приказом Росрыболовства № 191 от 2009 г. и постановлением Правительства РФ № 401 от 2019 г.

В Западной Сибири известно более 90 гипергалинных озер с соленостью от 30 до 300 г/л. Рекомендованный объем вылова артемии (на стадии цист) ежегодно превышает 1 300 т. Однако динамика запасов цист определяется климатической изменчивостью с циклами различной длительности [1]. Наступление регрессивных и трансгрессивных фаз увлажненности определяет состояние водных экосистем и состояние развития популяции рачка артемии и ее цист. Повышение водности приводит к развитию в составе зоопланктона солоноватоводной фауны, которая может составлять по численным параметрам выше 50 %, вытесняя доминирующий таксон – артемию. При этом в связи с нарушением баланса экосистемы снижается плодовитость рачка артемии и запасы цист, они сокращаются до минимальных значений [1].

В Западной Сибири самыми перспективными и продуктивными по запасам диапаузирующих цист артемии являются следующие озера: Кулундинское, расположенное на территории трех районов (Благовещенский, Суетский, г. Славгород); Кучукское Благовещенского района; Большое Яровое г. Славгорода и Малое Яровое г. Славгорода (Алтайский край).

Цель исследований – оценка плодовитости жаброногого рачка артемии разнотипных гипергалинных озер Алтайского края и определение потенциала биоресурса диапаузирующих цист рачка.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными объектами исследований послужили жаброногий рачок артемия и его диапаузирующие цисты из озер Алтайского края: Кулундинского (52°95′ с.ш., 79°50′ в.д.), Кучукского (52°65’ с.ш., 79°75’ в.д.), Большого Ярового (52°52’ с.ш., 78°36’ в.д.) и Малого Ярового (53°05’ с.ш., 79°10’ в.д.). Карта-схема озер представлена на рис. 1. Пробы отбирались тотальным способом (от поверхности до дна) в течение вегетационного периода с апреля по октябрь по постоянным трансектам глубоководной зоны озер и их литоральным участкам [2, 3]. Отбор проб проводили планктонной сетью Апштейна малой модели (размер ячеи 64 мкм) и фиксировали 70%-м этанолом. В лабораторных

условиях планктонные пробы рассматривали в камере Богорова с использованием бинокуляра МБС-10. Оценку численности гидробионтов, их измерение и идентификацию осуществляли во всей пробе. В составе зоопланктона выделяли представителей солоноватоводной фауны (коловраток, веслоногих и ветвистоусых ракообразных), все возрастные стадии жаброногого рачка артемии (ортонауплии, метанауплии, ювенильные (1,0–5,0 мм), предвзрослые (5,1–10,0 мм), половозрелые самки и самцы). Отмечали летние тонкоскорлуповые яйца и толстоскорлуповые (диапаузирующие) цисты.

На каждой станции измеряли температуру воды с применением ртутного термометра в поверхностном слое воды; соленость воды – с помощью рефрактометра ATAGO (Kenco Instruments Co., USA) на глубине не менее 0,2 м.

Статистическую обработку материала проводили с применением программ Microsoft Excel 2013 и Statistica 10 [4, 5].

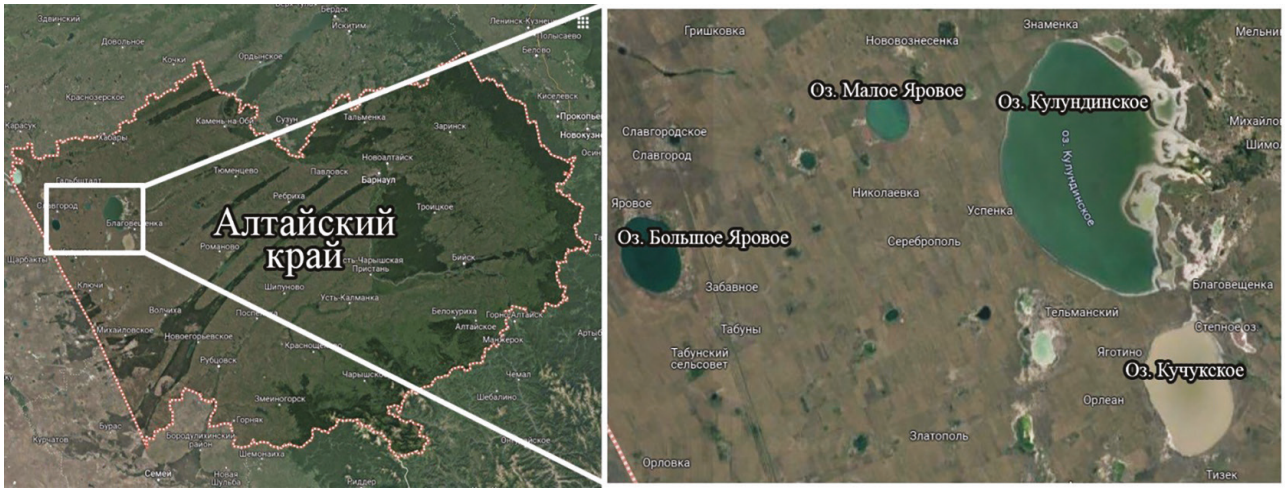


Рис. 1. Карта-схема расположения гипергалинных озер Алтайского края
Location map of hyperhaline lakes in Altai Krai

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Периодические колебания климата приводят к цикличности гидрохимического режима с сопровождением флуктуации биоты в целом. Особенно подвержены циклональным и антициклональным явлениям озера Кулундинское и Кучукское. Многолетний диапазон минерализации воды составляет в оз. Кулундинское 39,0–145,2 г/л; в оз. Кучукское – 220,0–310,0 г/л. Более стабилен многолетний гидрохимический режим оз. Большое – 140,0–160,0 г/л и оз. Малое Яровое – 240,0–260,0 г/л [6–8]. Значение солености воды важно для жизнедеятельности артемии и других представителей зоопланктона. Во всех исследованных водоемах основу гидрофауны составляет этот жаброногий рачок. Однако с опреснением оз. Кулундинского в отдельные годы (в трансгрессивную фазу водности) получали развитие представители солоноватоводной фауны – коловратки, веслоногие и ветвистоусые рачки, составляя до 70 % от общей численности зоопланктона [9, 10]. Оз. Кучукское, наоборот, подвергается осолонению. Этот процесс привел к уменьшению развития популяции артемии до единичных экземпляров [11]. Границы оптимальных условий для воспроизводства рачка артемии находятся в пределах 20,0–280,0 г/л. Степень эвригалинности цист и науплиусов несколько ниже, чем у взрослых особей, и является критическим фактором для состояния плавучести цист в озере [12, 13].

Жаброногий рачок в исследуемых озерах образует в течение вегетационного периода три-четыре поколения. Число кладок за жизненный цикл составляет в среднем 3,7±1,4, C_v = 14 %. Рачки становятся половозрелыми в оз. Кулундинское при длине их тела 9,81±0,07 мм со средней плодовитостью самок в пределах

16,0–94,0 экз., в оз. Кучукское – при длине тела 9,13±0,12 мм со средней плодовитостью от 34,0 до 45,0 экз., в оз. Большое Яровое – при длине тела 8,71±0,16 со средней плодовитостью от 26,6 до 134,4 экз., в оз. Малое Яровое – при длине тела 7,43±0,09 мм со средней плодовитостью от 25,0 до 30,0 экз. В озерах Кулундинское и Большое Яровое для рачков свойственен вымет самками не только толстоскорлуповых цист и тонкоскорлуповых яиц, но и отмечается живорождение, составляющие в среднем от 1,5 до 9,4 %. Коэффициент корреляции Спирмена между плодовитостью и температурой воды составляет $r = 0,80$ ($p < 0,05$).

Поскольку плодовитость самок определяет запасы цист артемии в озере, была подробно изучена плодовитость на примере самок в оз. Кулундинское в разные фазы водности.

В трансгрессивную фазу (2019–2022 гг.) плодовитость самок в популяции характеризовалась двухмодальным распределением: $Mo_1 = 24$ экз. /особь, $Mo_2 = 1$ экз./особь. Наличие второй моды объясняется спецификой проведения исследований: учитывалась остаточная плодовитость. Крайний левый класс представлен такими особями с «остаточной плодовитостью», их было порядка 16,7 % от всего экспериментального материала трансгрессивной фазы. К первому модальному классу (20–30 экз./особь) относились 30,7 % особей. Плодовитость равную или больше модальной (≥ 24 экз./особь) имели 46,3 % особей.

В регрессивную фазу (2006–2013 гг.) крайний левый класс (до 0,10 экз./особь) не создавал дополнительной моды и был достаточно малочисленен. Это связано с тем, что плодовитость учитывали на живом материале сразу после отбора пробы.

Вариационный ряд значительно удлинился справа: прибавились три достаточно многочисленных класса: 80–90, 90–100, 100–110 экз./особь, а также четыре класса с совсем незначительной численностью (отметать их как случайные «выбросы» было бы неверно): 110–120, 120–130, 130–140 и 140–150 экз./особь. Такой плодовитостью характеризовались особи из правого «хвоста» графика. Особи из добавившихся классов составляли 8,2 % от всего экспериментального материала регрессивной фазы. Мода вариационного ряда составляла 27 экз./особь. К модальному классу принадлежало 29,6 % исследованных самок. Плодовитость равную либо больше модальной имели 58,2 % особей (рис. 2).

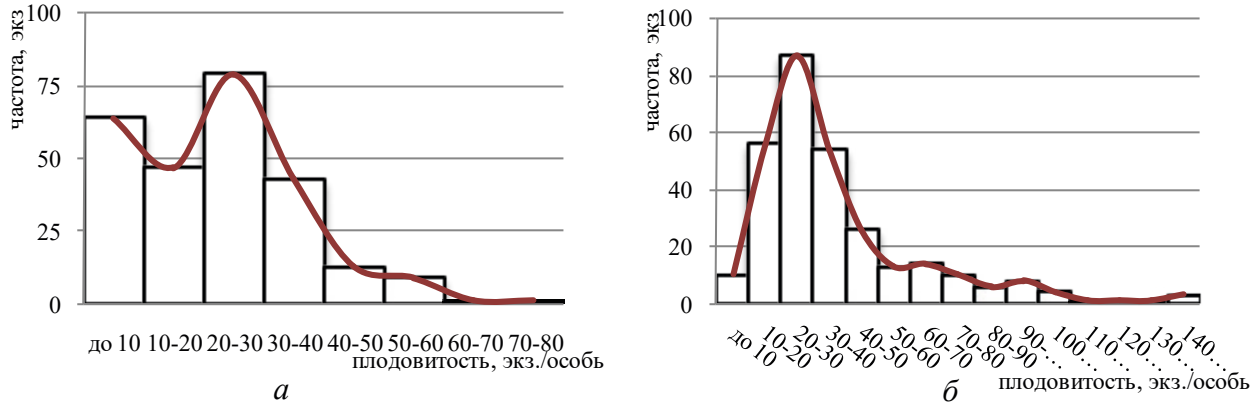


Рис. 2. Гистограммы распределения половозрелых самок артемии по плодовитости в трансгрессивную (*а*) и регрессивную (*б*) фазы водности.

Histograms of the distribution of sexually mature artemia females by fertility (r) in the transgressive (*a*) and regressive (*b*) phases of water availability

Таким образом, в регрессивную фазу оз. Кулундинского имелась тенденция к повышению плодовитости, что было обусловлено появлением немногочисленных особей, имеющих большое количество цист в яйцевом мешке самки рачка артемии, что согласуется с исследованиями других авторов [14, 15].

Среднегодовая численность половозрелых самок в оз. Кулундинское за период 2000–2019 гг. составляла 2,05±0,65 тыс. экз./м^3. Со-

поставление этих данных с периодами 2020 г. и 2022 г., соответственно 0,46±0,04 и 0,33±0,12 тыс. экз./м^3, подтверждает тенденцию к понижению численных показателей в оз. Кулундинское в фазе трансгрессии (табл. 1). В оз. Кучукское наблюдалась обратная тенденция – к повышению численных характеристик до 9,0±5,75 тыс. экз./м^3 (2020 г.). Сходные значения многолетних среднегодовых и текущих характеристик наблюдались в оз. Малое Яровое, составляя соответственно 1,17±0,79 (2000–2019 гг.) и 1,12±0,59 тыс. экз./м^3 (2020 г.). Самые низкие показатели по численности половозрелых самок отмечены в оз. Большое Яровое, минимальные значения которых находятся в пределах от 0,05±0,01 до 0,58±0,16 тыс. экз./м^3.

Таблица 1

Численные показатели популяций самок артемии в гипергалинных озерах Алтайского края
Numerical indicators of Artemia females populations in hypergaline lakes Altai Krai

Озеро	Среднегодовая численность самок, тыс. экз./м^3		
	2000–2019 гг.	2020 г.	2022 г.
Кулундинское	2,05±0,65	0,46±0,04	0,33±0,12
Кучукское	0,76±0,44	9,0±5,75	1,55±0,33
Большое Яровое	3,62±1,13	0,05±0,01	0,58±0,16
Малое Яровое	1,17±0,79	1,12±0,59	0,64±0,09

Среднегодовая численность артемии (науплий, метанауплий, предвзрослых особей) в оз. Кулундинское за многолетний период (2000–2019 гг.) составляла 26,64±8,39 тыс. экз./м^3 (табл. 2). Достаточно высокие значения этих показателей отмечены в 2020 г. – 43,89±6,85 тыс. экз./м^3, с последующим понижением к 2022 г. в 2 раза: до 22,42±4,13 тыс. экз./м^3. Самая большая вспышка развития артемии отмечена в оз. Кучукское с максимальными значениями в 2020 г. до 173,89±52,61 тыс. экз./м^3. В оз. Большое Яровое максимальная плотность рачков артемии выявлена в 2022 г. (9,62±2,01 тыс. экз./м^3). В оз. Малое Яровое среднегодовая плотность рачков в 2022 г. почти в 7 раз выше (76,74±22,65 тыс. экз./м^3).

Таблица 2

Численные показатели популяций рачков артемии в гипергалинных озерах Алтайского края)
Numerical indices of Artemia crustacea populations in hypergaline lakes (Altai Krai)

Озеро	Среднегодовая численность рачков, тыс. экз./м^3		
	2000–2019 гг.	2020 г.	2022 г.
Кулундинское	26,64±8,39	43,89±6,85	22,42±4,13
Кучукское	13,6±4,19	173,89±52,61	100,03±23,40
Большое Яровое	30,37±11,15	4,80±0,99	9,62±2,01
Малое Яровое	22,43±13,84	16,52±9,06	76,74±22,65

Самая высокая многолетняя плотность цист артемии отмечена в оз. Кулундинское – 305,13±65,10 тыс. экз./м^3 (табл. 3). В 2020 г. плотность цист повысилась до 366,56±35,82 тыс. экз./м^3, а к 2022 г. снизилась до 128,35±18,33 тыс. экз./м^3. Самые низкие значения многолетней плотности цист артемии зарегистрированы в оз. Кучукское (141,88±57,41 тыс. экз./м^3). Однако эти значения увеличились в 1000 раз в 2020 г., достигая 1 683,56±1 079,72 тыс. экз./м^3. К 2022 г. этот показатель снизился до 658,16±169,83 тыс. экз./м^3. В оз. Большое Яровое многолетние значения плотности достигали 155,64±43,67 тыс. экз./м^3. В 2020 г. там выявлены их минимальные значения (4,97±1,22 тыс. экз./м^3). В 2022 г. среднегодовая плотность цист в этом водоеме увеличилась до 79,34±24,67 тыс. экз./м^3. В оз. Малое Яровое основной пик численности цист наблюдался в 2022 г. (563,46±205,40 тыс. экз./м^3), что в 2 раза превышает многолетние значения (260,71±113,35 тыс. экз./м^3).

Таблица 3

Численные показатели популяций цист артемии в гипергалинных озерах Алтайского края
Numerical indicators of Artemia cyst populations in hypergaline lakes (Altai Krai)

Озеро	Среднегодовая численность цист, тыс. экз./м³		
	2000–2019 гг.	2020 г.	2022 г.
Кулундинское	305,13±65,10	366,56±35,82	128,35±18,33
Кучукское	141,88±57,41	1 683,56±1 079,72	658,16±169,83
Большое Яровое	155,64±43,67	4,97±1,22	79,34±24,67
Малое Яровое	260,71±113,35	216,72±55,08	563,46±205,40

Таким образом, среднегодовые значения общей численности жаброногих рачков, половозрелых самок и их цист лежат в основе определения запасов артемии на стадии цист [16–18]. Общий запас цист в гипергалинных озерах Алтайского края оценивается на уровне 6–7 тыс. т. Рекомендованный объем вылова за период 2000–2018 гг. находился в пределах от 1 024 т (2011 г.) до 1 842 т (2006 г.). Динамика освоения рекомендованного объема вылова в 2000–2018 гг. представлена на рис. 3.

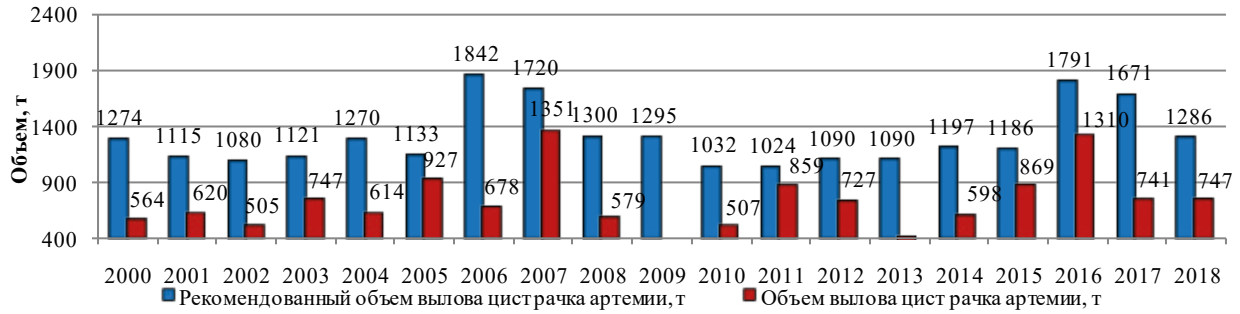


Рис. 3. Динамика освоения рекомендованного объема вылова артемии на стадии цист в гипергалинных озерах Алтайского края в 2000–2018 гг.

Dynamics of the development of the recommended volume of catch of artemia at the cyst stage in hypersaline lakes, 2000–2018 (Altai Krai)

Освоение ресурса пользователями рыболовных участков колебался в пределах от 44 % (2000 г.) до 84 % (2011 г.). Анализ многолетних данных об объемах заготовки и освоения артемии на стадии цист позволил выявить тренд фактической добычи биоресурса, согласно которому к 2030 г. объем заготовки может достичь 1 300 т (рис. 4).

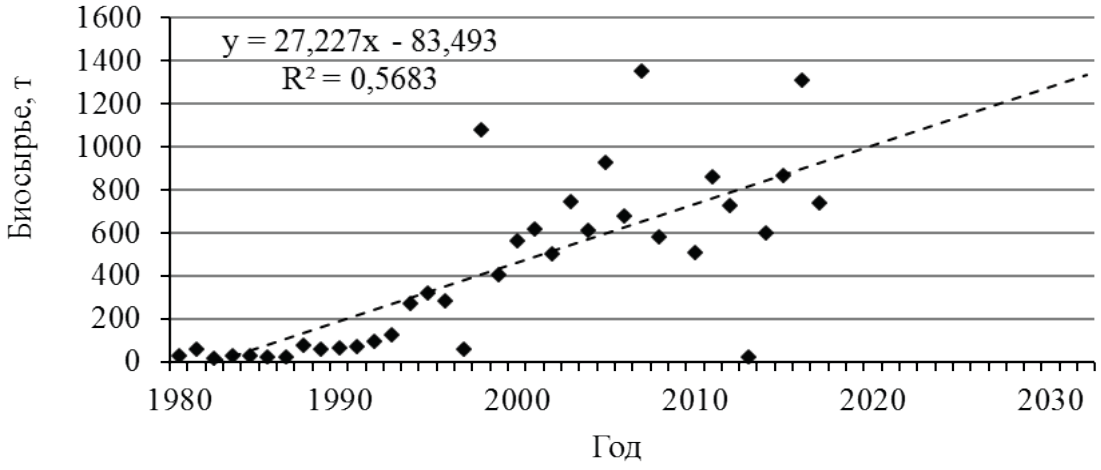


Рис. 4. Тренд фактической добычи (вылова) артемии на стадии цист в гипергалинных озерах Алтайского края

Trend of actual production (catch) of artemia at the cyst stage in hypersaline lakes (Altai Krai)

Собранное биосырье цист из разных озер может иметь различные загрязняющие примеси, влияющие на эффективность коммерческого производства [19, 20]. Основными загрязнителями могут быть хитиновые экзувии галофильной мухи-береговушки (Ephydra), остатки водорослей, фрагменты рачка артемии и различных насекомых, прочие загрязнители. Процент собранного чистого биосырья в исследуемых озерах колеблется от 69 % (Большое Яровое) до 8 % (Кулундинское) (рис. 5). В дальнейшем биосырье проходит очистку для получения более высокого процента вылупления цист [21]. Эффективность вылупления (количество науплиев, полученных на грамм сухих цист) является важным параметром при оценке качества цист при их сбыте [22]. Однако состав биосырья характеризуется наличием декапсулированных цист, летних тонкоскорлуповых яиц. Последние могут понижать качество сырья, так как при технической очистке их тонкоскорлуповая оболочка разрушается. Таким образом, при исследовании запасов артемии важно определять не только численные показатели разновозрастных стадий развития и цист, но и продукционные характеристики (см. рис. 5).

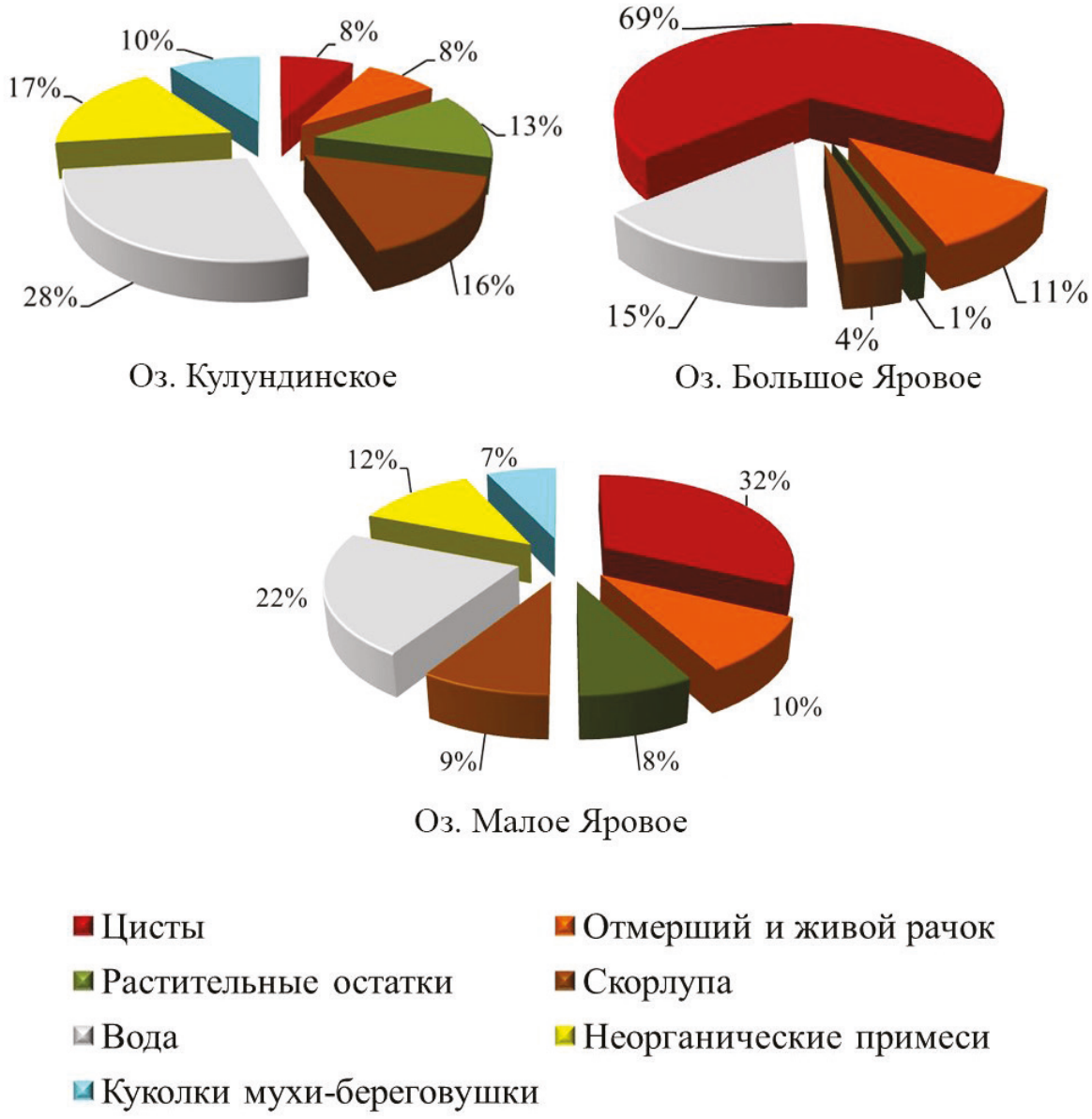


Рис. 5. Результаты оценки качества добываемого сырья артемии на стадии цист гипергалинных озер Алтайского края

Results of quality assessment of extracted Artemia raw material at the stage of cysts of hypergaline lakes (Altai region)

ВЫВОДЫ

1. Выявлена статистически значимая положительная сильная корреляция плодовитости артемии с температурой воды.

2. Жаброногий рачок в исследуемых озерах образует в течение вегетационного периода три-четыре генерации. Число кладок за жизненный цикл составляет в среднем 3,7±1,4. Рачки становятся половозрелыми в оз. Кулундинское при длине тела 9,81±0,07 мм со средней плодовитостью самок 16,0–94,0 экз., в оз. Кучукское – 9,13±0,12 мм и 34,0–45,0 экз., в оз. Большое Яровое – 8,71±0,16 мм и 26,6–134,4 экз., в оз. Малое Яровое – 7,43±0,09 мм и 25,0–30,0 экз. соответственно.

3. Многолетние показатели объемов заготовки и освоения артемии (на стадии цист) имеют устойчивый положительный тренд фактической добычи биоресурса, к 2030 г. она может вырасти до 1300 т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Vesnina L., Bezmaternykh D.* Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia) // Acta Biologica Sibirica. – 2023. – Vol. 9. – P. 387–396. – DOI: 10.5281/zenodo.7927562.
2. *Киселев И.А.* Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. – Т. IV, ч. 1. – М.; Л., 1956. – С. 183–265.
3. *Методические* рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зоопланктон и его продукция / под ред. А.А. Салазкина, М.Б. Ивановой, В.А. Огородниковой. – Л.: ГосНИОРХ, 1984. – 33 с.
4. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
5. *Плохинский А.Н.* Биометрия. – Новосибирск: СО АН СССР, 1961. – 364 с.
6. *Многолетний* мониторинг гипергалинных водоемов юга Западной Сибири / Л.В. Веснина, Т.О. Ронжина, Г.В. Лукерина, Д.А. Сурков // XII съезд гидробиологического общества при РАН: тезисы докладов, г. Петрозаводск, 16–20 сентября 2019 г. / отв. ред. Н.В. Ильмаст. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. – С. 82–84.
7. *Опресняющий* фактор и запасы цист артемии в многоводный период в озере Кулундинское Алтайского края / Л.В. Веснина, Г.В. Лукерина, Д.А. Сурков, О.Я. Горбачевская, Г.Д. Толкушкина // Современное состояние водных биоресурсов: мат-лы 5-й междунар. конф., г. Новосибирск, 27–29 ноября 2019 г. – Новосибирск, 2019. – С. 185–190.
8. *Веснина Л.В.* Состояние популяции артемии в депрессивный период в озере Большое Яровое Алтайского края // Инновации и продовольственная безопасность. – 2019. – № 2 (24). – С. 102–111.
9. *Веснина Л.В., Веснин Ю.А.* Современное состояние зоопланктона озера Кулундинское Алтайского края в период фазы трансгрессии // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 3 (37). – С. 20–35.
10. *Роль* солоноватоводной фауны и состояние биоресурса экосистемы гипергалинного озера Кулундинское в фазе трансгрессии (Алтайский край) / Л.В. Веснина, Ю.А.Веснин, Н.С. Романова, И.В. Морузи // Рыбное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 65–72.
11. *Seasonal* and interannual dynamics of Artemia crustacean population from hypersaline Lake Kuchukskoye (Western Siberia) / L. Vesnina, D. Bezmaternykh, Y. Vesnin [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2022. – Vol. 363. – P. 03049. – DOI: 10.1051/e3sconf/202236303049.
12. *Веснина Л.В.* Биоресурсный потенциал цист артемии озер Алтайского края и факторы его формирования // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2019. – № 3 (158). – С. 18–30.
13. *Dey P., Bradley T.M., Boymelgreen A.* The impact of selected abiotic factors on Artemia hatching process through real-time observation of oxygen changes in a microfluidic platform // Scientific reports. – 2023. – Vol. 12. – P. 63–70. – DOI: 10.1038/s41598-023-32873-1.
14. *Review* on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds / G. Van Stappen, L. Sui, V.N. Hoa [et al.] // Reviews in Aquaculture. – 2020. – Vol. 12 (2). – P. 1054–1071. – DOI:10.1111/raq.12371.
15. *Pandey B.D.* Effects of natural, artificial and ground saline waters on haching of Artemia franciscana cysts // Journal of Aquatic Biology & Fisheries. – 2020. – Vol. 7. – P. 142–145.

16. *Mura G.* Artemia salina (Linneaus, 1758) from Lymington, England: frontal knob morphology by scanning electron microscopy // J. Crust. Biol. – 1990. – Vol. 10. – P. 364–368.
17. *Mayer R.J.* Morphology and biometry of three populations of Artemia (Branchiopoda: Anostraca) from the Dominican Republic and Puerto Rico // Hydrobiologia. – 2002. – Vol. 486. – P. 29–38.
18. *Sellami I., Ben Naceur H., Kacem A.* Study of Cysts Biometry and Hatching Percentage of the Brine Shrimp Artemia salina (Linnaeus, 1758) from the Sebkha of Sidi El Hani (Tunisia) Accordin to Successive Generations // Aquaculture Studies. – 2020. – Vol. 21, N 1. – P. 41–46. – DOI: 10.4194/2618-6381-v21_1_05.
19. *Продуктивность* цист рачка Artemia Leach,1819 в гипергалинных озерах Алтайского края / Л.В. Веснина, Р.А. Клепиков, Е.В. Пищенко, И.В. Морузи // Новосибирск: Золотой колос, 2021. – 147 с.
20. *Rahman M.M., Van Hoa N., Sorgeloos P.* Handbook for Artemia Pond Culture in Bangladesh. Bayan Lepas. – Malaysia: WorldFish (WF), 2022. – 72 p.
21. *Biometrical* study of Artemia cysts harvested from the Aral Sea in Uzbekistan / F.J. Utemuratova, S.I. Kim, B.G. Kamilov [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2022 – P. 1–7. – DOI: 10.1088/1755-1315/1068/1/01/2030.
22. *Cyst* size variability in invasive American Artemia franciscana Kellogg, 1906 (Branchiopoda, Anostraca) in Asia: a commercial approach / X.-F. Wu, C.-Y. Shen, C.-Z. Fu [et al.] // Crustaceana. – 2022. – Vol. 95 (5–6). – P. 573–584. – DOI: 10.1163/15685403-bja10206.

REFERENCES

1. Vesnina L., Bezmaternykh D., Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia), *Acta Biologica Sibirica,* 2023, Vol. 9, P. 387–396, DOI:10.5281/zenodo.7927562.
2. Kiselev I.A., *Zhizn' presnykh vod SSSR* (Freshwater life), T. IV, p. 1, Moscow, 1956, pp. 183–265. (In Russ.)
3. 3. Salazkin A.A., Ivanova M.B., Ogorodnikova V.A., *Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh: Zooplankton i ego produktsiya* (Guidelines for collecting and processing materials during hydrobiological studies in freshwater bodies: Zooplankton and its products), Leningrad, GosNIORKh, 1984, 33 p.
4. Lakin G.F., *Biometriy* (Biometrics), Moscow, Vysshaya shkola, 1990, 352 p.
5. Plokhinskii A.N., *Bshometriya* (Biometrics), Novosibirsk, SO AN SSSR, 1961, p. 364.
6. Vesnina L.V., Ronzhina T.O., Lukerina G.V., Surkov D.A., *XII S"ezd gidrobiologicheskogo obshchestva pri RAN* (XII Congress of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences), Abstracts of Papers, September 16–20, Petrozavodsk, 2019, pp. 82–84. (In Russ.)
7. Vesnina L.V., Lukerina G.V. Surkov D.A., Gorbachevskaya O.Ya., Tolkushkina G.D., *Sovremennoe sostoyanie vodnykh bioresursov* (Current state of aquatic biological resources), Proceedings of the 5th international Conference, Novosibirsk, NGAU, 2019, pp. 185–190. (In Russ.)
8. Vesnina L.V., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost',* 2019, No. 2 (24), pp. 102–111. (In Russ.)
9. Vesnina L.V., Vesnin Yu.A., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost',* 2022, No. 3 (37), pp. 20–35. (In Russ.)
10. Vesnina L.V., Vesnin Yu.A., Romanova N.S., Moruzi I.V., *Rybnoe khozyaistvo*, 2023, No. 2, pp. 65–72. (In Russ.)
11. Vesnina L., Bezmaternykh D., Vesnin Y., Moruzi I., Pishchenko E., Seasonal and interannual dynamics of Artemia crustacean population from hypersaline Lake Kuchukskoye (Western Siberia), *E3S Web of Conferences*, 2022, Vol. 363, pp. 03049, DOI:10.1051/e3sconf/202236303049.
12. Vesnina L.V., *Rybovodstvo i rybnoe khozyaistvo*, Moscow: izdatel'skii dom Prosveshchenie, 2019, No. 3 (158), pp. 18–30. (In Russ.)
13. Dey P., Bradley T.M., Boymelgreen A., The impact of selected abiotic factors on Artemia hatching process through real-time observation of oxygen changes in a microfluidic platform, *Scientific reports*, 2023, Vol. 12, pp. 6370, DOI: 10.1038/s41598-023-32873-1.
14. Van Stappen, G., Sui L., Hoa V.N., Tamtin M., Nyonje B., Rocha R.M., Sorgeloos P., Gajardo G., Review on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds, *Reviews in Aquaculture*, 2020, No. 12 (2), pp. 1054–1071, DOI:10.1111/raq.12371.

15. Pandey B.D., Effects of natural, artificial and ground saline waters on haching of Artemia franciscana cysts, *Journal of Aquatic Biology & Fis*heries, 2020, Vol. 7, pp. 142–145.
16. Mura G., Artemia salina (Linneaus, 1758) from Lymington, England: frontal knob morphology by scanning electron microscopy, *J. Crust. Biol*., 1990, Vol. 10, pp. 364–368.
17. Mayer R.J., Morphology and biometry of three populations of Artemia (Branchiopoda: Anostraca) from the Dominican Republic and Puerto Rico, *Hydrobiologia*, 2002, Vol. 486, pp. 29–38.
18. Sellami I., Ben Naceur H., Kacem A., Study of Cysts Biometry and Hatching Percentage of the Brine Shrimp Artemia salina (Linnaeus, 1758) from the Sebkha of Sidi El Hani (Tunisia) Accordin to Successive Generations, *Aquaculture Studies*, 2020, Vol. 21, No. 1, pp. 41–46, DOI: 10.4194/2618-6381-v21_1_05.
19. Vesnina L.V., Klepikov R.A., Pishchenko E.V., Moruzi I.V., *Produktivnost' tsist rachka Artemia Leach,1819 v gipergalinnyz ozerakh Altaiskogo kraya* (Productivity of cysts of the crustacean Artemia Leach, 1819 in hypersaline lakes of the Altai Territory), Novosibirsk: Zolotoi Kolos, 2021, 147 p.
20. Rahman M.M., Van Hoa N., Sorgeloos P., *Handbook for Artemia Pond Culture in Bangladesh, Bayan Lepas*, Malaysia: WorldFish (WF), 2022, 72 p.
21. Utemuratova F.J., Kim S.I., Kamilov B.G., Yaldashov M.A., Mustafaeva Z.A., Biometrical study of Artemia cysts harvested from the Aral Sea in Uzbekistan, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, pp. 1–7, DOI:10.1088/1755-1315/1068/1/01/2030.
22. Wu X.-F., Shen C.-Y., Fu C.-Z., Yang N., Wang P.-Z., Eimanifar A., Asem A., Cyst size variability in invasive American Artemia franciscana Kellogg, 1906 (Branchiopoda, Anostraca) in Asia: a commercial approach, *Crustaceana*, 2022, Vol. 95 (5–6), pp. 573–584, DOI:10.1163/15685403-bja10206.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-199-208
УДК 575.174.015.3

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПОПУЛЯЦИИ АБОРИГЕННОГО ЯКУТСКОГО СКОТА ПО МИКРОСАТЕЛЛИТНЫМ ЛОКУСАМ

[1,2] **Л.Н. Владимиров**, доктор биологических наук, профессор
[1]**В.А. Мачахтырова**, кандидат биологических наук, доцент
[1]**Г.Н. Мачахтыров**, кадидат биологических наук
[1]**Я.Л. Шадрина**, кандидат ветеринарных наук
[1]**С.И. Заровняев**, научный сотрудник
[1]**В.Н. Лукин,** научный сотрудник
[1]**М.Г. Слепцова,** соискатель
1Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, Якутск, Россия
[2]Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия
E-mail: varvara-an@mail.ru

Ключевые слова: якутский аборигенный скот, микросателлиты, аллели, локусы, гетерозиготность.

Реферат. *Приведены результаты анализа генетической характеристики по 15 микросателлитным локусам современной популяции якутского скота генофондного предприятия ГКП РС(Я) «Якутский скот». Якутский аборигенный скот, считающийся одной из уникальных местных пород в России, представлен малочисленной популяцией. Она отличается исключительно высокой морозоустойчивостью (вплоть до –60 С°), неприхотливостью к условиям содержания и выносливостью к недостаточному уровню питания. Сравнительную оценку аллелофонда якутского скота провели по субпопуляциям семи хозяйств: «Саккырыр» Эвено-Бытантайского улуса, «Кылыс» Горного улуса, «Таастаах» Намского улуса, «Куллэги» Амгинского улуса, «Онхой» Верхневилюйского улуса, «Акана» Нюрбинского улуса и «Сымах» Мегино-Кангаласского улуса. Всего были проанализированы данные по 898 головам чистопородного якутского скота. По результатам анализа установлено, что во всех 15 микросателлитных локусах якутского скота распространен полиморфизм аллелей – от 3 до 10. Наиболее полиморфным является локус TGLA53, в котором имеется 10 аллелей, несмотря на это число эффективных аллелей в данном локусе всего 2,76. С наибольшей частотой в данном локусе встречается аллель 160 (0,534), с наименьшей – 188 (0,009). В локусах BM1818, INRA023 установлено наименьшее количество аллелей – 3. Из всех проанализированных локусов с наибольшей частотой отмечается аллель 256 локуса SPS115 с частотой встречаемости 0,733. Самые редкие аллели встречались с частотой 0,002 и 0,004. В среднем число аллелей на локус аборигенного якутского скота составило 5,91±0,46, что свидетельствует о достаточно высокой консолидированности популяции местного чистопородного якутского скота и о наименьшем генетическом разнообразии имеющегося поголовья местного скота по сравнению с культурными породами. Всего у популяции якутского скота выявлено 90 аллелей.*

GENETIC DIVERSITY OF THE POPULATION OF ABORIGINAL YAKUT CATTLE BY MICROSATELLITE LOCUSES

[1,2] **L.N. Vladimirov**, Doctor of Biological Sciences, Professor
[1] **V.A. Machakhtyrova**, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor
[1] **G.N. Machakhtyrov**, Candidate of Biological Sciences
[1] **Y.L. Shadrina**, Candidate of Veterinary Sciences
[1] **S.I. Zarovnyev**, Researcher
[1] **V.N. Lukin,** Researcher
[1] **M.N. Sleptsova,** Applicant
[1]Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after. M.G. Safronova, Yakutsk, Russia
[2]Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia
E-mail: varvara-an@mail.ru

Keywords: Yakut aboriginal cattle, microsatellites, alleles, loci, heterozygosity

Abstract. *The results of the analysis of genetic characteristics for 15 microsatellite loci of the modern population of Yakut cattle of the gene pool enterprise of the State Enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) "Yakut Cattle" are presented. Yakut aboriginal cattle, considered one of the unique local breeds in Russia, are represented by a small population. It is distinguished by exceptionally high frost resistance (down to –60 C°), unpretentiousness to living conditions and tolerance to insufficient nutrition. A comparative assessment of the allele pool of Yakut cattle was carried out on subpopulations of 7 farms: "Sakkyryr" of the Eveno-Bytantaisky ulus, "Kylys" of the Gorny ulus, "Taastaakh" of the Namsky ulus, "Kullegi" of the Amginsky ulus, "Onkhoi" of the Verkhnevilyuysky ulus, "Akana" of the Nyurbinsky ulus and " Symakh" Megino-Kangalassky ulus. In total, data on 898 heads of purebred Yakut cattle were analyzed. Based on the results of the analysis, it was established that in all 15 microsatellite loci of Yakut cattle, polymorphism of alleles is widespread - from 3 to 10. The most polymorphic is the TGLA53 locus, which has 10 alleles, despite this the number of effective alleles in this locus is only 2.76. Allele 160 (0.534) occurs with the highest frequency at this locus, and 188 (0.009) with the lowest frequency. In loci BM1818, INRA023, the smallest number of alleles was found – 3. Of all the analyzed loci, allele 256 of the SPS115 locus is observed with the highest frequency with an occurrence frequency of 0.733. The rarest alleles occurred with a frequency of 0.002 and 0.004. On average, the number of alleles per locus of indigenous Yakut cattle was 5.91 ± 0.46, which indicates a fairly high consolidation of the population of local purebred Yakut cattle and the lowest genetic diversity of the existing population of local cattle compared to cultivated breeds. A total of 90 alleles were identified in the Yakut cattle population.*

Аборигенные местные породы крупного рогатого скота, разводимые на севере Евразии, отличаются высокой степенью адаптации к суровым климатическим условиям. Коренные породы крупного рогатого скота являются важными генетическими ресурсами с культурным и историческим наследием, и поэтому характеристика генетического разнообразия является одной из важных составляющих их сохранения.

Якутская порода крупного рогатого скота, выведенная методом многовековой народной селекции, обладает уникальной способностью выживать к экстремальных природно-климатических условиях субарктической и арктической зон, привлекая тем самым в течение длительного времени внимание исследователей [1–4]. Аборигенный якутский скот относят к турано-монгольской группе, которая объединяет породы, несущие в себе генетические компоненты как европейского, так и азиатского происхождения. Для изучения аллелофонда якутского скота были использованы различные молекулярно-генетические инструменты, включая микросателлиты [5, 6], полиморфизмы мтДНК, Y-хромосомальные полиморфизмы [7], SNP-маркеры [8–10], полногеномное секвенирование [11]. Несмотря на многочисленные исследования аллелофонда породы, ее происхождение остается до конца невыясненным [12]. Так, при проведении исследований с использованием микросателлитов и полногеномного набора SNP-маркеров все авторы установили низкий уровень внутрипопуляционного разнообразия по сравнению с другими породами [5, 9, 10]. Однако имеются результаты, где, напротив, полногеномное секвенирование выявило более высокий уровень внутрипопуляционной изменчивости у якутского скота по сравнению с другими тауриновыми породами [11].

В результате многолетней направленной работы по коренному улучшению продуктивных качеств якутского скота путем скрещивания с культурными породами численность чистопородного скота в Якутии снизилась к началу 2000-х гг. до менее чем 1 тыс. голов [4]. Предпринимаемые в настоящее время меры государственной поддержки по сохранению популяции якутского скота позволяют несколько увеличить численность его поголовья. Следует отметить, что все проведенные до настоящего времени генетические исследования якутского скота проводились на относительно малых выборках, что не позволяло в полной мере оценить его генофонд. В популяции якутского скота могут содержаться присущие только ему уникальные предковые генетические сочетания.

В этой связи целью исследования является проведение анализа генетического разнообразия популяции якутского скота по микросателлитным локусам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является якутский скот. Анализ генетической характеристики современной популяции якутского скота

проведен по 15 микросателлитным локусам (BM1818, BM1824, BM2113, Csrm60, Cssm66, ETN10, ETN225, ETN3, ilsts6, INRA023, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53) по данным, предоставленным ГКП РС(Я) «Якутский скот». Сравнительную оценку аллелофонда провели по семи хозяйствам генофондного предприятия «Якутский скот»: «Саккырыр» Эвено-Бытантайского улуса (246 голов), «Кылыс» Горного улуса (105 голов), «Таастаах» Намского улуса (240 голов), «Куллэги» Амгинского улуса (123 головы), «Онхой» Верхневилюйского улуса (43 головы), «Акана» Нюрбинского улуса (88 голов), «Сымах» Мегино-Кангаласского улуса (53 головы). Всего были проанализированы данные по 898 животным. При оценке определяли число аллелей на локус, частоту встречаемости аллелей, степень наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности, Fis-коэффициент по общепринятым методикам. Статистическая обработка проведена по стандартным методам с использованием программного обеспечения GenAIEx 6.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что во всех 15 микросателлитных локусах якутского скота распространен полиморфизм аллелей – от 3 до 10 (табл. 1). Наиболее полиморфным является локус TGLA53, в котором имеется по 10 аллелей.

Таблица 1

Характеристика 15 микросателлитных локусов якутского скота
Characteristics of 15 microsatellite loci of Yakut cattle

Микросателлитный локус	Аллели	N_a	N_e	Число информативных аллелей*
BM1818	262–266	3	1,77	2
BM1824	178–188	4	1,74	4
BM2113	125–139	6	3,66	5
Csrm60	92–114	8	3,14	3
Cssm66	179–199	7	3,14	3
ETN10	215–225	5	2,27	3
ETN225	140–158	7	2,82	4
ETN3	117–127	5	2,91	4
ilsts6	288–298	6	4,01	6
INRA023	206–214	3	1,98	3
SPS115	248–260	4	1,56	4
TGLA122	141–177	6	3,93	5
TGLA126	113–124	7	4,38	5
TGLA227	77–97	9	4,82	5
TGLA53	154–188	10	2,76	5
Среднее на локус	–	6,00±0,53	2,99±0,27	4,07±0,29

Примечание. N_a – число аллелей на локус; N_e – эффективное число аллелей на локус; *число информативных аллелей, встречающихся с частотой от 5% и выше.

С наибольшей частотой в данном локусе встречается аллель 160 (0,534), с наименьшей – 188 (0,009). В локусах BM1818, INRA023 установлено наименьшее количество аллелей – 3, в них с наибольшей частотой встречались микросателлиты 266 (0,665) и 182 (0,644), с наименьшей – аллели 264 (0,016) и 208 (0,068) соответственно. Из всех проанализированных локусов с наибольшей частотой встречался аллель 256 локуса SPS115 с частотой встречаемости 0,733. Самые редкие аллели встречались с частотой 0,006.

Следует отметить, что при сравнении с показателями высокопродуктивной голштинизи-

рованной черно-пестрой породы, выяснили, что 182 пн локуса BM1824 (0,732) и 256 пн локуса SPS115 (0,628), имеющие у якутского скота высокую степень встречаемости, у данной культурной породы имеют редкую встречаемость, тогда как остальные указанные аллели с высокой частотой также имеют высокую встречаемость у голштинизированного черно-пестрого скота [13, 14].

Наименьшая встречаемость (0,002) отмечена у аллелей 154 пн локуса TGLA53 и (0,004) у аллелей 106 пн локуса csrm60; 199 пн локуса cssm66; 91 пн локуса TGLA227; 113 пн TGLA126. Выяснено, что в каждом локусе есть аллели и наиболее часто встречающееся, и редкие, которые имеются только у единичных особей, частота встречаемости которых составляет от 0,002 до 0,008. Кроме того, аллель 113 пн локуса TGLA126 совсем не встречается у высокопродуктивного голштинизированного скота [13, 14].

В среднем число аллелей на локус аборигенного якутского скота составило 5,91±0,46, что свидетельствует о достаточно высокой консолидированности популяции местного чистопородного якутского скота и о наименьшем генетическом разнообразии имеющегося поголовья местного скота по сравнению с культурными породами. У популяции якутского скота выявлено 90 аллелей, типичных для данной породы, что подтверждается другими ранее проведенными исследованиями [3, 6, 15].

Сравнительный анализ якутского скота по хозяйствам показывает, что они различаются по числу аллелей (67–86) и уровню полиморфности (4,47–5,73). При сравнении хозяйств можно отметить, что у массива якутского скота Эвено-Бытантайского улуса аллелофонд включает 86 аллелей, среднее число аллелей на локус составило 6,13 (рис. 1).

Самое меньшее количество аллелей встречается у поголовья хозяйства «Онхой» – 67 и хозяйства «Сымах» – 77, среднее число аллелей на локус составило 4,47 и 5,13 соответственно.

Вариация числа аллелей в отдельных локусах микросателлитов популяции якутского скота составило от трёх (BM1818, INRA023) до десяти (TGLA53). При этом более высокая степень полиформности установлена в хозяйствах «Саккырыр» Эвено-Бытантайского улуса (5,73), «Кылыс» Горного и «Таастаах» Намского улусов (по 5,60).

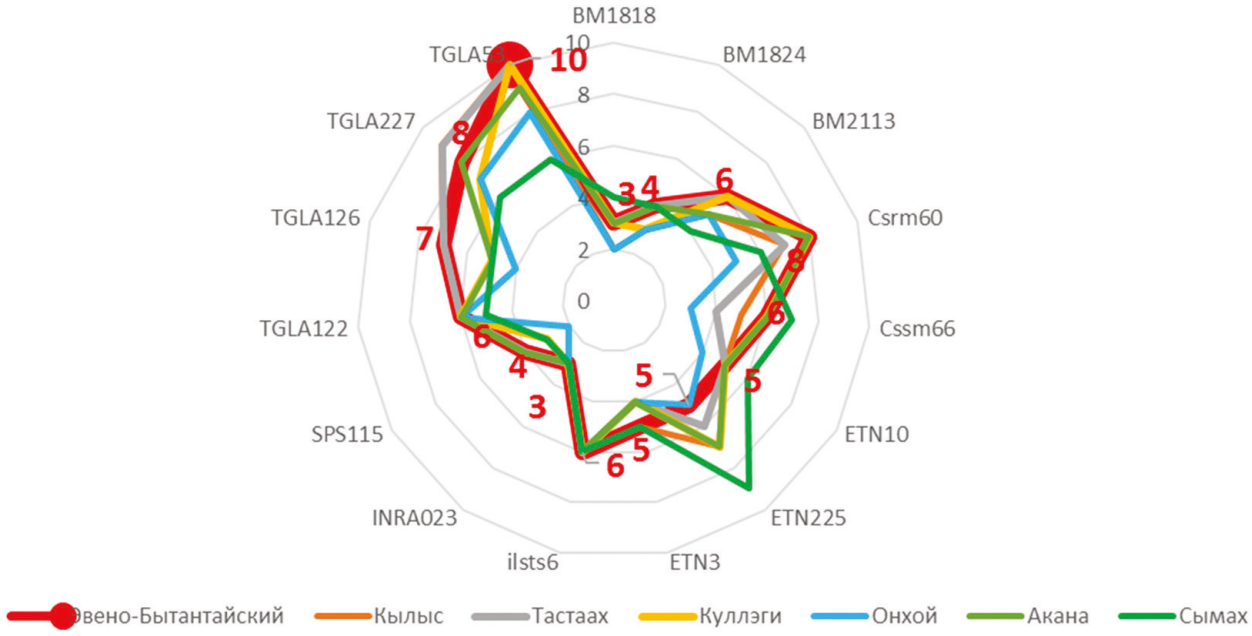


Рис. 1. Сравнительная характеристика полиморфизма микросателлитов по хозяйствам ГКП РС(Я) «Якутский скот»

Comparative characteristics of microsatellite polymorphism on the farms of the State Enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) “Yakut Cattle”

В ходе анализа установлено, что количество гетерозиготных особей выше, чем гомозиготных по 12 локусам (рис. 2). По трем локусам выявлено превосходство гомозиготных животных: BM1818 – 56 %, BM1824 – 54,9 %, и самая большая доля гомозиготного скота по локусу SPS115 – 62,0 %. По локусу INRA023 также отмечается достаточно высокий уровень гомозиготных животных – 47,2 %.

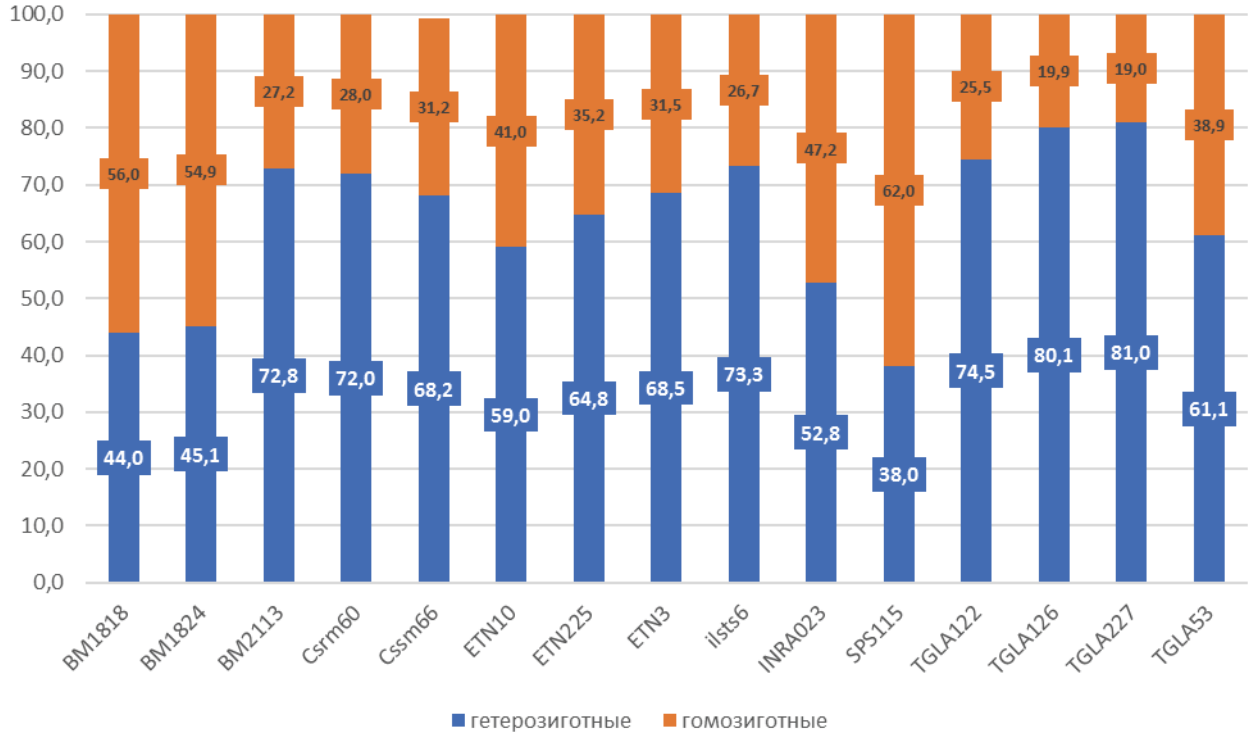


Рис. 2. Структура популяции якутского скота по гомозиготности микросателлитных локусов (n = 898)
Population structure of Yakut cattle by homozygosity of microsatellite loci (n = 898)

Наибольшая степень гетерозиготности наблюдается по локусу TGLA227 и TGLA53 – выше 80,1 и 80,0 % соответственно, что обусловлено высокой полиморфностью данных локусов. В среднем по популяции якутского скота гетерозиготность составила 63,7 %, гомозиготность – 36,3 %, что указывает на меньшее генетическое разнообразие аборигенного скота.

При сравнении количества гетерозиготных и гомозиготных животных по хозяйствам выяснили, что по локусу BM1818 и BM1824 во всех стадах наблюдается превосходство гомозиготных особей (табл. 2). По локусу SPS115 высокая гомозиготность отмечается по хозяйствам «Кылыс», «Таастаах», «Онхой», «Акана» и «Сымах». По локусу ETN10 также отмечается достаточно высокий уровень количества гомозиготных животных: в хозяйстве Акана – 50 %, в других – выше 40 %.

Таблица 2

Структура якутского скота по гомозиготности микросателлитных локусов по хозяйствам (n = 898)
Structure of Yakut cattle according to homozygosity of microsatellite loci by farm (n = 898)

Локус	«Саккырыр»		«Кылыс»		«Таастаах»		«Куллэги»		«Онхой»		«Акана»		«Сымах»	
	гетерозиготные	гомозиготные	гетерозиготные	гомозиготные	гетерозиготные	гомозиготные	гетерозиготные	гомозиготные	гетерозиготные	гомозиготные	гетерозиготные	гомозиготные	гетерозиготные	гомозиготные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
BM1818	0,488	0,512	0,457	0,543	0,325	0,675	0,390	0,610	0,419	0,581	0,409	0,591	0,547	0,453

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
BM1824	0,451	0,549	0,381	0,619	0,379	0,621	0,480	0,520	0,488	0,512	0,432	0,568	0,358	0,642
BM2113	0,703	0,297	0,762	0,238	0,700	0,300	0,707	0,293	0,837	0,163	0,625	0,375	0,755	0,245
Csrm60	0,695	0,305	0,762	0,238	0,700	0,300	0,659	0,341	0,628	0,372	0,648	0,352	0,679	0,321
Cssm66	0,671	0,329	0,857	0,143	0,667	0,333	0,699	0,301	0,605	0,395	0,648	0,352	0,623	0,377
ETN10	0,598	0,402	0,552	0,448	0,575	0,425	0,585	0,415	0,558	0,442	0,500	0,500	0,547	0,453
ETN225	0,614	0,386	0,705	0,295	0,521	0,479	0,764	0,236	0,581	0,419	0,636	0,364	0,698	0,302
ETN3	0,744	0,256	0,667	0,333	0,663	0,338	0,610	0,390	0,628	0,372	0,602	0,398	0,679	0,321
ilsts6	0,707	0,293	0,762	0,238	0,713	0,288	0,846	0,154	0,860	0,140	0,705	0,295	0,660	0,340
INRA023	0,626	0,374	0,581	0,419	0,538	0,463	0,309	0,691	0,512	0,488	0,534	0,466	0,358	0,642
SPS115	0,508	0,492	0,305	0,695	0,333	0,667	0,512	0,488	0,116	0,884	0,318	0,682	0,434	0,566
TGLA122	0,780	0,220	0,810	0,190	0,792	0,208	0,659	0,341	0,744	0,256	0,716	0,284	0,717	0,283
TGLA126	0,756	0,244	0,752	0,248	0,917	0,083	0,919	0,081	0,767	0,233	0,705	0,295	0,585	0,415
TGLA227	0,789	0,211	0,781	0,219	0,846	0,154	0,789	0,211	0,791	0,209	0,818	0,182	0,736	0,264
TGLA53	0,309	0,691	0,448	0,552	0,908	0,092	0,846	0,154	0,698	0,302	0,648	0,352	0,604	0,396

Высокая гомозиготность отмечается в основном по тем локусам, которые отличаются низким полиморфизмом – от 3 до 5. Вполне вероятно, что это указывает на снижение генетического разнообразия и повышение степени инбридинга, и в дальнейшей работе по составлению плана селекционной работы необходимо учесть данный факт.

Анализ гетерозиготности указывает на животных, несущих разные аллели, и степень наблюдаемой гетерозиготности служит показателем генетической изменчивости в популяциях. Гетерозиготность имеет положительное значение для адаптации животных к изменяющимся условиям среды, что подтверждается многочисленными исследованиями. Отмечено, что у гетерозигот повышена жизнеспособность.

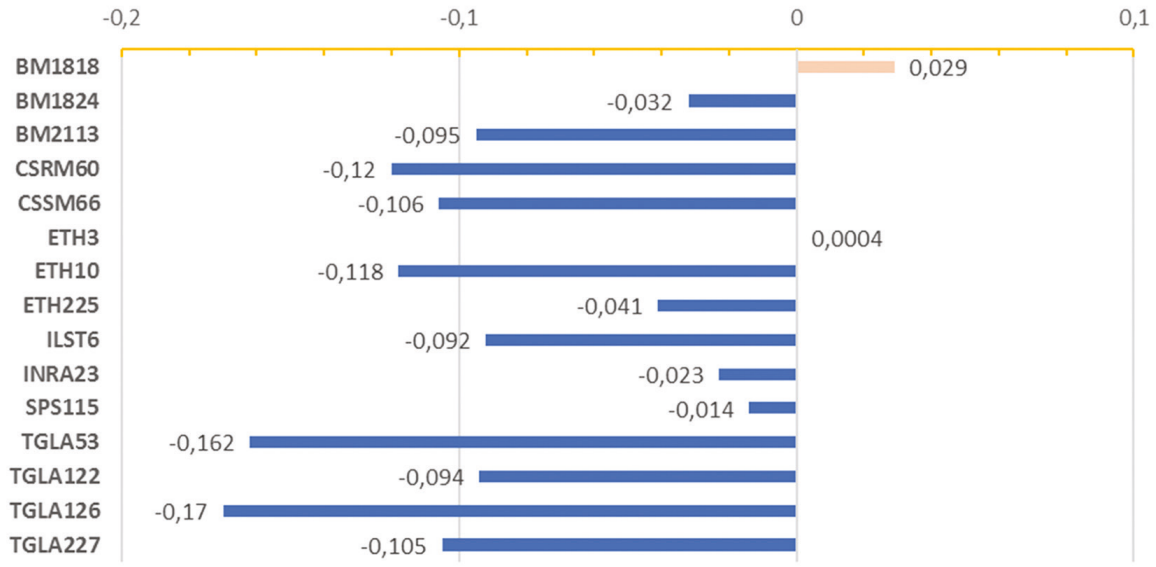


Рис. 3. Показатель индекса фиксации по 15 микросателлитным локусам популяции якутского скота (n = 898)
Fixation index indicator for 15 microsatellite loci of the Yakut cattle population (n = 898)

Таблица 3

Характеристика гетерозиготности микросателлитных локусов якутского скота по хозяйствам ГКП РС(Я) «Якутский скот»
Characteristics of heterozygosity of microsatellite loci of Yakut cattle on the farms of the State Enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) "Yakut Cattle"

Локус	«Саккырыр»			«Кылыс»			«Таастаах»			«Куллэги»			«Онхой»			«Акана»			«Сымах»		
	Гетеро-зиготность		Fis	Гетеро-зиготность		Fis	Гетеро-зиготность		Fis	Гетеро-зиготность		Fis	Гетеро-зиготность		Fis	Гетеро-зиготность		Fis	Гетеро-зиготность		Fis
	Но	Не		Но	Не		Но	Не		Но	Не		Но	Не		Но	Не		Но	Не	
BM1818	0,488	0,468	-0,043	0,457	0,500	0,086	0,325	0,353	0,079	0,390	0,393	0,007	0,419	0,500	0,162	0,409	0,416	0,017	0,547	0,497	-0,101
BM1824	0,451	0,397	-0,138	0,381	0,376	-0,014	0,379	0,378	-0,002	0,479	0,551	0,131	0,488	0,400	-0,220	0,432	0,398	-0,086	0,358	0,376	0,046
BM2113	0,703	0,651	-0,080	0,762	0,699	-0,089	0,700	0,645	-0,085	0,707	0,613	-0,153	0,837	0,756	-0,107	0,625	0,616	-0,015	0,755	0,668	-0,130
CSRM60	0,695	0,671	-0,036	0,762	0,628	-0,213	0,700	0,598	-0,171	0,659	0,603	-0,092	0,628	0,562	-0,116	0,648	0,582	-0,112	0,679	0,613	-0,108
CSSM66	0,671	0,579	-0,159	0,857	0,722	-0,187	0,667	0,616	-0,083	0,699	0,616	-0,135	0,605	0,649	0,068	0,648	0,626	-0,035	0,623	0,502	-0,240
ETH3	0,774	0,738	-0,008	0,667	0,642	-0,038	0,663	0,650	-0,020	0,610	0,630	0,032	0,628	0,678	0,074	0,602	0,664	0,093	0,679	0,623	-0,091
ETH10	0,598	0,561	-0,065	0,552	0,509	-0,084	0,575	0,541	-0,063	0,528	0,497	-0,063	0,558	0,615	0,092	0,500	0,284	-0,762	0,547	0,446	-0,227
ETH225	0,614	0,599	-0,024	0,705	0,725	0,027	0,521	0,505	-0,032	0,764	0,744	-0,028	0,581	0,598	0,028	0,636	0,617	-0,031	0,698	0,556	-0,256
ILST6	0,707	0,655	-0,080	0,762	0,685	-0,112	0,713	0,698	-0,0205	0,846	0,732	-0,155	0,860	0,712	-0,208	0,705	0,667	-0,056	0,660	0,658	-0,004
INRA23	0,626	0,587	-0,066	0,581	0,480	-0,209	0,538	0,537	-0,0003	0,309	0,345	0,105	0,512	0,500	-0,024	0,534	0,478	-0,117	0,358	0,452	0,207
SPS115	0,508	0,488	-0,042	0,305	0,303	-0,005	0,333	0,323	-0,033	0,512	0,484	-0,059	0,116	0,110	-0,062	0,318	0,365	0,127	0,434	0,420	-0,033
TGLA53	0,309	0,458	0,326	0,447	0,560	0,201	0,908	0,673	-0,350	0,846	0,550	-0,536	0,698	0,557	-0,254	0,648	0,535	-0,211	0,604	0,505	-0,196
TGLA122	0,780	0,752	-0,038	0,810	0,688	-0,176	0,792	0,709	-0,117	0,659	0,676	0,027	0,744	0,619	-0,202	0,716	0,658	-0,089	0,717	0,666	-0,077
TGLA126	0,756	0,692	-0,093	0,752	0,631	-0,193	0,917	0,648	-0,415	0,919	0,647	-0,420	0,767	0,705	-0,089	0,705	0,669	-0,054	0,585	0,623	0,061
TGLA227	0,788	0,712	-0,107	0,781	0,728	-0,073	0,846	0,826	-0,024	0,789	0,720	-0,095	0,791	0,701	-0,129	0,818	0,668	-0,225	0,736	0,668	-0,101
$\dot{X}$	0,631	0,601	-0,044	0,639	0,592	-0,072	0,638	0,580	-0,089	0,648	0,587	-0,096	0,616	0,577	-0,066	0,596	0,549	-0,104	0,596	0,549	-0,104
$S_{\dot{x}}$	0,036	0,028	-	0,045	0,034	-	0,050	0,037	-	0,046	0,031	-	0,049	0,042	-	0,035	0,033	-	0,035	0,033	-

Примечание. Но – наблюдаемая гетерозиготность; Не – ожидаемая гетерозиготность; Fis – индекс фиксации.

Вместе с наблюдаемой гетерозиготностью был определен показатель ожидаемой гетерозиготности, который более точно характеризует разнообразие исследуемой популяции по микросателлитам. Анализ показал, что все субпопуляции якутского скота по семи хозяйствам имели схожие показатели по количеству гетерозигот (табл. 3). Наибольшие уровни наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности были определены у животных всех хозяйств по локусам TGLA126 (0,919 и 0,647 соответственно), наименьшие показатели – по локусу SPS115 (0,116 и 0,110 соответственно). Средний уровень наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности составил примерно 0,600.

Для оценки отклонения гетерозиготных генотипов от теоретически ожидаемых показателей использовали значение индекса фиксации Райта (Fis), который отражает состояние исследуемой группы по отношению к гетерозиготным генотипам. Данный индекс может иметь положительные или отрицательные значения. В положительном случае можно судить о нехватке или дефиците гетерозигот, а отрицательный указывает на их избыток. Из показателей табл. 3 видно, что в хозяйствах «Саккырыр» и «Таастаах» недостаток гетерозигот зафиксирован по одному локусу: TGLA53 (0,326) и BM1818 (0,079) соответственно.

Значения уровней наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности находились в пределах 0,116–0,919 (в среднем 0,623±0,042) и 0,110–0,756 (в среднем 0,576±0,034) соответственно. Несмотря на большее разнообразие границ уровней гетерозиготности, средние показатели схожи с данными других авторов [6]. Дефицит гетерозигот выявлен в локусе BM1818 в пяти и ETH3 в трех хозяйствах из семи. Соответственно, индекс фиксации оказался положительным в данных двух локусах и отрицательным по остальным 13 локусам.

Полиморфизм 15 микросателлитных маркеров у якутского скота представлен на рис. 3, где показано, что по двум локусам из пятнадцати наблюдается недостаток гетерозигот, максимальное его значение составляло 0,029 в локусе BM1818. В среднем по породе индекс фиксации достигал -0,081, что указывает на избыток гетерозиготных особей.

ВЫВОДЫ

1. Генетическое разнообразие популяции якутского скота составило 90 аллелей. В среднем на локус приходилось 5,91±0,46 аллеля. Наибольшее число аллелей наблюдалось в локусе TGLA53 (Na = 10), а минимальное количество (Na = 3) – в локусах BM1818 и INRA023. Число информативных аллелей варьировало от двух (BM1818) до шести (ilsts6).

2. Для якутского аборигенного скота уровень наблюдаемой гетерозиготности (Ho) составил 0,623±0,042, ожидаемой (He) – 0,576± 0,034. В данной популяции система случайного скрещивания преобладает над инбридингом благодаря плановому проведению селекционно-племенной работы.

3. Индекс фиксации принимал положительное значение в двух локусах: BM1818 (0,029) и ETH3 (0,004). В среднем индекс фиксации составил -0,081, что указывает на достаточное количество гетерозиготных особей в целом по популяции.

4. Избыток гетерозигот при отрицательном показателе индекса фиксации указывает на то, что в малочисленной популяции количество гетерозигот превышает количество гомозигот, что является хорошим/достаточным показателем.

Исследования выполнены в рамках темы НИР FWRS-2021-0005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Романов П.А.* Охрана и использование генофонда якутского скота. – Якутск: Бичик, 2020. – 144 с.
2. *Паронян И.А.* Современное состояние генофонда молочных и молочно-мясных пород крупного рогатого скота в Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 6. – С. 79–83.
3. *Попов Р.Г., Попова Н.В.* Проблемы сохранения и использования генофонда якутского скота // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6. – С. 150–159.

4. *Горохов Н.И.* Изучение и использование генофонда якутского скота // Научные исследования по скотоводству в Якутии. – Новосибирск: Наука, 2000. – С. 6–12.
5. *The genetic* structure of cattle populations (Bos taurus) in northern Eurasia and the neighbouring Near Eastern regions: implications for breeding strategies and conservation / M.H. Li, I. Tapio, J. Vilkki [et al.] // Mol Ecol. – 2007, Sep. – Vol. 16 (18). – P. 3839–3853.
6. *Микросателлитный* анализ якутского скота / Н.П. Филиппова, Н.И. Павлова, Л.П. Корякина [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101, № 4. – С. 58–63.
7. *Maternal* and paternal genealogy of Eurasian taurine cattle (Bos taurus) / J. Kantanen, C.J. Edwards, D.G. Bradley [et al.] // Heredity (Edinb). – 2009, Nov. – Vol. 103 (5). – P. 404–415.
8. *Study* of genetic diversity and population structure of five Russian cattle breeds using whole-genome SNP analysis / N.A. Zinovieva, A.V. Dotsev, A.A. Sermyagin [et al.] // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. – 2016. – Vol. 51 (2). – P. 788–800. – DOI: 10.15389/agrobiology.2016.6.788eng.
9. *Genetic* diversity and genomic signatures of selection among cattle breeds from Siberia, eastern and northern Europe / T. Iso–Touru, M. Tapio, J. Vilkki [et al.] // Anim Genet. – 2016. – Vol. 47 (6). – P. 647–657. – DOI: 10.1111/age.12473.
10. *Whole-genome* SNP analysis elucidates the genetic structure of Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds / A.A. Sermyagin, A.V. Dotsev, E.A. Gladyr [et al.] // Genetics, selection, evolution : GSE. – 2018. – Vol. 50 (1). – P. 37. – https://doi.org/10.1186/s12711–018–0408–8.
11. *Whole-Genome* Sequencing of Three native cattle breeds originating from the northernmost cattle farming regions / M. Weldenegodguad, R. Popov, K. Pokharel [et al.] // Frontiers in genetics. – 2019. – Vol. 9. – P. 728. – https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00728.
12. *Yudin N.S., Larkin D.M.* Whole genome studies of origin, selection and adaptation of the Russian cattle breeds // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2019. – Vol. 23 (5). – P. 559–568. – DOI: 10.18699/VJ19.525.
13. *Шаталина О.С., Ткаченко И.В., Ярышкин А.А.* Генетическая структура популяции голштинизированного черно-пестрого скота по микросателлитным локусам // Генетика. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 205–213.
14. *Шукюрова Е.Б., Лукашина А.А., Бузько А.Н.* Генетическая характеристика голштинского крупного рогатого скота по ДНК-микросателлитам // Вестник ДВО РАН. – 2020. – № 4. – С. 47–52.
15. *Характеристика* аллелофонда якутского скота по микросателлитам / Е.А. Гладырь, Я.Л. Шадрина, П.В. Горелов [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 6. – С. 65–69.

REFERENCES

1. Romanov P.A., *Okhrana i ispol'zovanie genofonda yakutskogo skota (*Protection and use of the gene pool of Yakut cattle*)*, Yakutsk: Bichik, 2020, 144 p.
2. Paronyan I.A.*, Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, No. 6, pp. 79–83. (In Russ.)
3. Popov R.G., Popova N.V.*, Vestnik KrasGAU*, 2020, No.6, pp. 150-159. (In Russ.)
4. Gorokhov N.I. Izuchenie i ispol'zovanie genofonda yakutskogo skota *// Nauchnye issledovaniya po skotovodstvu v Yakutii* (Study and use of the gene pool of Yakut cattle), Novosibirsk: Nauka, 2000, 126 p.
5. Li M.H., Tapio I., Vilkki J. [et al.], The genetic structure of cattle populations (Bos taurus) in northern Eurasia and the neighbouring Near Eastern regions: implications for breeding strategies and conservation, *Mol Ecol.*, 2007 Sep, Vol. 16 (18), pp. 3839–3853.
6. Filippova N.P., Pavlova N.I., Koryakina L.P., Stepanov N.P., Mordovskoi N.N., Grigoryeva N.N., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo,* 2018, No. 4, pp. 58–63. (In Russ.)
7. Kantanen J., Edwards C.J., Bradley D.G. [et al.], Maternal and paternal genealogy of Eurasian taurine cattle (Bos taurus), *Heredity (Edinb)*, 2009 Nov, Vol. 103 (5), pp. 404–415.
8. Zinovieva N.A., Dotsev A.V., Sermyagin A.A. [et al.], Study of genetic diversity and population structure of five Russian cattle breeds using whole-genome SNP analysis, *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 2016, Vol. 51 (2), pp. 788–800, DOI: 10.15389/agrobiology.2016.6.788eng.
9. Iso-Touru T., Tapio M., Vilkki J. [et al.], Genetic diversity and genomic signatures of selection among cattle breeds from Siberia, eastern and northern Europe, *Anim Genet*, 2016, Vol. 47 (6), pp. 647–657, DOI: 10.1111/age.12473.

10. Sermyagin A.A., Dotsev A.V., Gladyr E.A. [et al.], Whole-genome SNP analysis elucidates the genetic structure of Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds, *Genetics, selection, evolution: GSE*, 2018, Vol. 50 (1), pp. 37, DOI: 10.1186/s12711-018-0408-8.
11. Weldenegodguad M., Popov R., Pokharel K. [et al.], Whole-Genome Sequencing of Three native cattle breeds originating from the northernmost cattle farming regions, *Frontiers in genetics*, 2019, Vol. 9, pp. 728, DOI: 10.3389/fgene.2018.00728.
12. Yudin N.S., Larkin D.M., Whole genome studies of origin, selection and adaptation of the Russian cattle breeds, *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, Vol. 23 (5), pp. 559–568, DOI: 10.18699/VJ19.525.
13. Shatalina O.S., Tkachenko I.V., Yaryshkin A.A., *Genetika*, 2021, No. 2, pp. 205–213. (In Russ.)
14. Shukyurova E.B., Lukashina A.A., Buz'ko A.N., *Vestnik DVO RAN*, 2020, No. 4, pp. 47–52. (In Russ.)
15. Gladyr' E.A., Shadrina Y.L., Gorelov P.V., Davaahuu L., Popov R.G., Matyukov V.S., Agyshova A.K., Zinovyeva N.A., *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 2011, No. 6, pp. 65–69. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-209-219
УДК 636.3.035

ПОЛИМОРФИЗМЫ ГЕНА МИОСТАТИНА У ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР)

Е.А. Климанова, научный сотрудник
Д.А. Александрова, аспирант
Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук, профессор
Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: kateri2403@mail.ru

Ключевые слова: миостатин, мышечная гипертрофия, полиморфизмы, мутации.

Реферат. *Представлен обзор, посвященный разнообразию полиморфизмов гена миостатина у сельскохозяйственных животных. Миостатин (MSTN), или фактор дифференциации роста 8 (growth/differentiation factor 8, GDF-8), – белок, член суперсемейства трансформирующих факторов роста (TGF-β). Последовательность белка MSTN включает сигнальную последовательность секреции, сайт протеолитического процессинга и карбокси-концевую область с консервативным паттерном из девяти остатков цистеина. Основная функция миостатина – ингибирование роста мышечных волокон. Миостатин регулирует развитие мышц в ключевые моменты процесса внутриутробного развития: пролиферацию предшественников мышц, пролиферацию и дифференцировку миобластов. Экспрессия миостатина наиболее интенсивная в скелетной мышечной ткани. У многих сельскохозяйственных животных имеются мутации, связанные с понижением активности миостатина, из которых наиболее ярко выраженный пример – двойная мускулатура у некоторых мясных пород крупного рогатого скота. Мутации в гене миостатина приводят к качественному и количественному повышению мышечной массы у мясных пород сельскохозяйственных животных, а также изменению иных характеристик, зависящих от мышечной массы. К негативным последствиям мутаций в гене миостатина относятся рак, преждевременное старение, дистрофия.*

POLYMORPHISMS OF THE MYOSTATIN GENE IN ANIMALS (OVERREVIEW)

E.A. Klimanova, research assistant
D.A. Alexandrova, PhD student
N.N. Kochnev, Doctor of Biological Sc., Professor
Novosibirsk state agrarian university, Novosibirsk, Russia
E-mail: kateri2403@mail.ru

***Keywords*:** myostatin, muscle hypertrophy, polymorphisms, mutations.

Abstract. *A review of publications is presented on the diversity of myostatin gene polymorphisms in farm animals. The quality indicators of animal carcasses largely depend on many factors, of which the genotype of the individual plays an important role. Myostatin (MSTN), or growth/differentiation factor 8 (GDF-8), is a protein member of the transforming growth factor (TGF-β) superfamily. The MSTN protein sequence includes a secretion signal sequence, a proteolytic processing site, and a carboxy-terminal region with a conserved pattern of nine cysteine residues. The main function of myostatin is to inhibit the growth of muscle fibers. Myostatin regulates muscle development at key moments in the intrauterine development process: proliferation of muscle precursors, proliferation and differentiation of myoblasts. Myostatin expression is most intense in skeletal muscle tissue. Many farm animals have mutations associated with decreased myostatin activity, of which the most pronounced example is double muscle in some beef cattle breeds. In general, mutations in the myostatin gene lead to a qualitative and quantitative increase in muscle mass in meat breeds of farm animals, as well as changes in other characteristics that depend on muscle mass, such as running speed in dogs and horses. The negative consequences of mutations in the myostatin gene include cancer, premature aging, dystrophy, etc., to prevent which heterozygotes are usually given preference in selection.*

Характеристики туши животных являются важными показателями, дающими ценную информацию о качестве мяса и общем благополучии животного на протяжении всей его жизни [1]. Качество мяса и состав туши зависят от факторов, связанных с наследственностью, технологией выращивания, транспортировкой, методами оглушения, окружающей средой. Основные параметры, используемые для оценки качества мяса, включают pH, цвет, нежность, органолептические качества и текстуру, которые в совокупности определяют приемлемость и желательность мяса для потребителей [2, 3]. Такие характеристики, как мраморность и нежность, наследуются от умеренной до высокой степени, что указывает на возможность их улучшения в процессе селекционного отбора [4]. В целом характеристики туши животных играют важную роль в определении качества мяса [5]. Ген миостатина (MSTN) – ключевой фактор в развитии скелетных мышц животных, что определяет многие характеристики туши. Целью данной статьи является обзор функций миостатина и влияния полиморфизмов гена у различных видов сельскохозяйственных животных.

Миостатин (MSTN), также известный как фактор дифференциации роста 8 (GDF-8), является членом суперсемейства трансформирующих факторов роста (TGF-β) [6, 7]. Последовательность белка MSTN включает сигнальную последовательность секреции, сайт протеолитического процессинга и карбокси-концевую область с консервативным паттерном из девяти остатков цистеина, которые являются общими для всех членов суперсемейства TGF. В результате протеолитического расщепления белка-предшественника с помощью фермента семейства фуринов и BMP1/Tolloid матриксной металлопротеиназы происходит активация MSTN [6].

Миостатин экспрессируется во многих тканях, включая молочную железу, но наиболее заметна его экспрессия в скелетных мышцах. У всех видов, описанных в этом обзоре, экзоны MSTN кодируют латентный белок, состоящий из 375 аминокислот, который подвергается значительной посттрансляционной модификации, чтобы стать биологически активным. Миостатин регулирует развитие мышц в ключевые моменты процесса внутриутробного развития: пролиферацию предшественников мышц, пролиферацию и дифференцировку миобластов [7, 8].

Документально подтверждено, что другие члены суперсемейства TGF-β, помимо MSTN, являются эффективными негативными мышечными регуляторами. Например, «активин А» является вторым негативным мышечным регулятором. Исследователи обнаружили, что MSTN и «активин А» отрицательно влияют на развитие и функции мышц и мышечной массы тела, а блокирование обоих этих лигандов антителами приводит к значительному увеличению мышечной массы тела у мышей и обезьян, что дает лучший терапевтический эффект, чем ингибирование всех TGF-лигандов [6, 9].

Отмечается участие MSTN в мышечной атрофии, что вызвало интерес к MSTN как терапевтической мишени для противодействия потере мышечной массы у пациентов в случаях, связанных с атрофией мышц. Было обнаружено, что у мышей с дефицитом MSTN масса скелетной мускулатуры в 2–3 раза превышает массу мышей дикого типа, что указывает на то, что MSTN действует как негативный регулятор мышечных клеток in vivo. Во время эмбриогенеза MSTN продуцируется клетками миотома, развивает скелетную мускулатуру и регулирует общее количество образующихся мышечных волокон. У взрослых MSTN секретируется в скелетной мускулатуре, циркулирует в крови и ингибирует рост мышечных волокон [6, 7, 10].

Благодаря своей уникальной тканеспецифической функции MSTN является основной мишенью для разработки методов лечения хронической мышечной дегенерации (например, саркопении или дегенеративных заболеваний мышц), острой потери мышечной массы (например, кахексии) и даже метаболических заболеваний (таких как ожирение и диабет I типа). В настоящее время изучается несколько фармакологических стратегий подавления пути MSTN [11].

У чистокровных лошадей было обнаружено, что вставка SINE в промоторе гена MSTN, вызывающая снижение экспрессии миостатина, связана с увеличением мышечной массы. Кроме того, вставки SINE в ген MSTN лошадей также положительно влияли на аэробные спо-

собности, скорость и выносливость животных. Аналогичный феномен повышения спортивных результатов наблюдался у гоночных собак уиппет с мутацией MSTN, приводящей к преждевременному образованию стоп-кодона [12].

Из-за влияния MSTN на мышечную массу, рост и другие характеристики, вариации уровней экспрессии MSTN в скелетных мышцах представляют большой интерес в области селекции животных. Знание нулевых аллелей и полиморфизмов в MSTN используется в селекции мясного скота и овец [13]. Далее в статье будут подробно рассмотрены мутации в гене миостатина у некоторых видов животных.

Мутации в гене миостатина у собак

Собаки породы уиппет – маленькие стройные собаки, относящиеся к группе борзых. Недавно заводчики сообщили о появлении особей с сильно развитой мускулатурой (рис. 1), фенотип которых напоминает двойную мускулатуру [11].

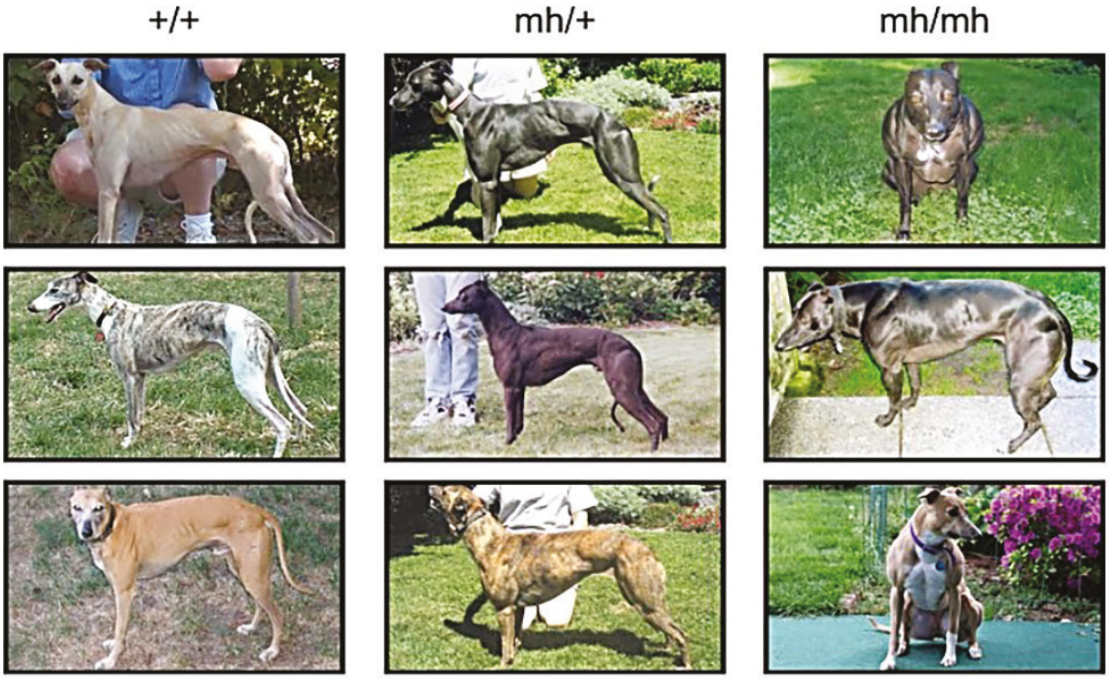


Рис. 1. Собаки породы уиппет с различными генотипами по гену миостатина [14]: генотип +/+ – гомозиготы по дикому типу; mh/+ – гетерозиготы, несущие одну копию мутантного аллеля; mh/mh – гомозиготы по дикому типу с фенотипом двойной мускулатуры

Whippet dogs with different genotypes for the myostatin gene: genotype +/+ – wild type homozygotes; mh/+ – heterozygotes carrying one copy of the mutant allele; mh/mh – wild-type homozygotes with double muscle phenotype

У собак породы уиппет было обнаружено, что делеция 2 п.н. в третьем экзоне MSTN связана с фенотипом двойной мускулатуры. В результате делеции удаляются нуклеотиды 939 и 940 в третьем экзоне (c.939-940delTG), что приводит к образованию преждевременного стоп-кодона на месте цистеина в положении 313 и выпадению 63 аминокислот из белка (в норме миостатин состоит из 375 аминокислот) [7]. Генотипы по этому аллелю тесно связаны с показателями мышечной массы, такими как соотношение массы к росту или обхват шеи и груди. Отмечена более высокая частота мутаций в гене MSTN у спортивных пород собак по сравнению с выставочными породами. Это позволяет предположить, что MSTN может влиять на показатели бега у собак [11].

Мутации в гене миостатина у крупного рогатого скота

Породой крупного рогатого скота (КРС), у которой мышечная гипертрофия и ее последствия были проанализированы наиболее подробно, является бельгийская голубая порода. Было показано, что двойная мускулатура наследуется как основной аутосомный локус, на который влияют несколько локусов-модификаторов, что проявляется неполной пенетрантностью. О мутации потери функции MSTN у

бельгийской голубой породы впервые сообщили Grobet et al., а вскоре после этого последовали работы McPherron и Lee, которые не только обосновали выводы Grobet, но также сообщили о миссенс-мутации в экзоне 3 у пьемонтской породы КРС [7, 15].

В бычьем MSTN было идентифицировано около 20 различных типов генетических вариантов (делеций, инсерций и нуклеотидных замен (SNP)). Некоторые из этих генетических вариантов приводят к мышечной гипертрофии из-за инактивации гена. Улучшение качественных показателей туши и мяса у этих животных происходит за счет уменьшения содержания жира (на 50 %), увеличения мышечной массы (на 20 %), меньшей доли костей, а также меньшего количества соединительной ткани, что способствует нежности мяса [15]. Однако у КРС с двойной мускулатурой часто наблюдаются проблемы, связанные с дистоцией, поскольку гиперплазия возникает еще до рождения, в результате чего телята становятся более крупными [16].

Удаление и ингибирование MSTN у животных приводит главным образом к увеличению мышечной массы и снижению жировой массы. В производстве мясного скота скрещивание с бельгийским голубым скотом показывает, что, хотя этот ген является рецессивным и монофакторным, его эффект очевиден даже у гетерозиготных животных из-за его частичного доминирования. Такая же мутация была обнаружена у астуриана де лос вальес, испанской породы мясного скота [7].

У крупного рогатого скота породы пьемонт фенотип двойной мускулатуры проявляется в результате замены гуанина на аденин в положении 938 (3 экзон), которая приводит к аминокислотной замене p.Cys313Tyr в высококонсервативной области структурного мотива белка с цистеиновым узлом. В результате мутации происходит разрушение дисульфидного мостика, необходимого для правильной конформации белка [17].

Маркиджиана – одна из итальянских пород мясного скота, известная своими крупными размерами тела, высокими привесами и превосходными процентами разделки туши. Особи маркиджанской породы имеют мутацию g.874G>T в 3 экзоне, транслирующуюся в аминокислотную замену p.Glu291X в гене MSTN. Эта точечная мутация оказывает заметное влияние на ген MSTN, поскольку заменяет кодон глутаминовой кислоты на стоп-кодон [18]. У маркиджанской породы, как и у других пород с двойной мускулатурой, генотипы по SNP (g.874G>T) MSTN дают три различных фенотипа. Гомозиготные особи G/G демонстрируют нормальный фенотип, тогда как у животных с генотипом T/T проявляется фенотип с двойной мускулатурой. У животных с генотипом T/T сохраняется небольшой размер тела и часто наблюдаются дефекты скелета и серьезные проблемы с жизнеспособностью из-за макроглоссии и гипоплазии сердца, легких и других жизненно важных органов. Особи с гетерозиготным генотипом G/T демонстрируют хорошо мускулистую, крупную структуру тела и отличное телосложение без вышеупомянутых дефектов. Поэтому в качестве производителей часто выбирают гетерозиготных животных [6, 7, 19].

В дополнение к генетическим вариантам, обнаруженным у Bos taurus, в кодирующей части MSTN генома Зебу (Bos indicus) зарегистрировано 14 полиморфизмов (три в экзоне 1, семь в экзоне 2 и четыре в экзоне 3). Однако являются ли эти полиморфизмы функциональными мутациями, еще предстоит выяснить [7].

Полиморфизм миостатина у коз

Аллельная изменчивость MSTN у различных пород коз продолжает быть темой для многих научных исследований. Однако ген MSTN у коз все еще недостаточно изучен. На сегодняшний день последовательности MSTN зарегистрированы у некоторых пород коз китайского происхождения и некоторых других пород, включая ангорскую, санненскую, нубийскую и бурскую и только одну породу коз американского происхождения. У китайских пород коз были выявлены две мутации в гене MSTN – делеция длиной 5 п.о. (1256 TTTTA/-) в области 5’-UTR и замена (1388T/A) в экзоне 1. Гетерозиготы по каждой из мутаций ассоциированы с более высокой массой тела при рождении [20]. Еще два SNP были идентифицированы у бурской и аньхойской белой пород коз – замена, расположенная в области 5’-UTR (g.197G>A) и g.345A>T в 1 экзоне [11]. Также Singh S.P. и др. (2014) сообщили о клониро-

вании и характеристике кодирующей области гена MSTN у индийских пород коз и открытии девяти несинонимичных мутаций в гене MSTN [21].

Полиморфизм миостатина у лошадей

В 2002 г. Хосояма и др. выделили и секвенировали кДНК MSTN чистокровной лошади. Ген MSTN у лошадей картирован на 18 хромосоме. Были идентифицированы мутации в MSTN лошади, которые связаны с фенотипами, влияющими на гоночные результаты и пропорции мышечных волокон. Например, полиморфизм (g.2115A>G) связан со спринтерскими способностями и гоночной выносливостью у чистокровных лошадей. Полиморфизм g.66493737C>T, который связан с оптимальной дистанцией у чистокровных лошадей, был идентифицирован у четырех египетских пород [22].

E. Pira и др. (2021) провели анализ гена MSTN у англо-арабской породы лошадей. Установлено, что локус MSTN в анализируемой популяции имел относительно высокую изменчивость, а некоторые SNP были зарегистрированы впервые. Что касается анализа ассоциации генетического полиморфизма со спортивными показателями, было подтверждено, что rs397152648 (T>C) влиял на скорость у этой породы [23].

Полиморфизм миостатина у свиней

Цзян и др. в 2002 г. сообщили о трех SNP в гене MSTN у свиней: T>A, G>A и C>T (AF393396, AF393397 и AF393398), в промоторе, 1 интроне и 3 экзоне соответственно. Только одна мутация из трех (g.383T>A) была связана со среднесуточным приростом в период выращивания (от 60 до 100 кг живой массы) у йоркширских свиней. Более того, масса тела у свиней с гетерозиготной мутацией была выше [7, 24].

Были попытки получить свиней с нокаутом по миостатину с помощью редактирования генома, однако такие животные не доживали до половой зрелости. Только в 2017 г. J.-D. Kang и др. проведено исследование по инактивации миостатина у свиней (рис. 2). В этой работе для получения поросят с инактивированным геном применяли технологию редактирования генома в сочетании с переносом ядер соматических клеток [25].

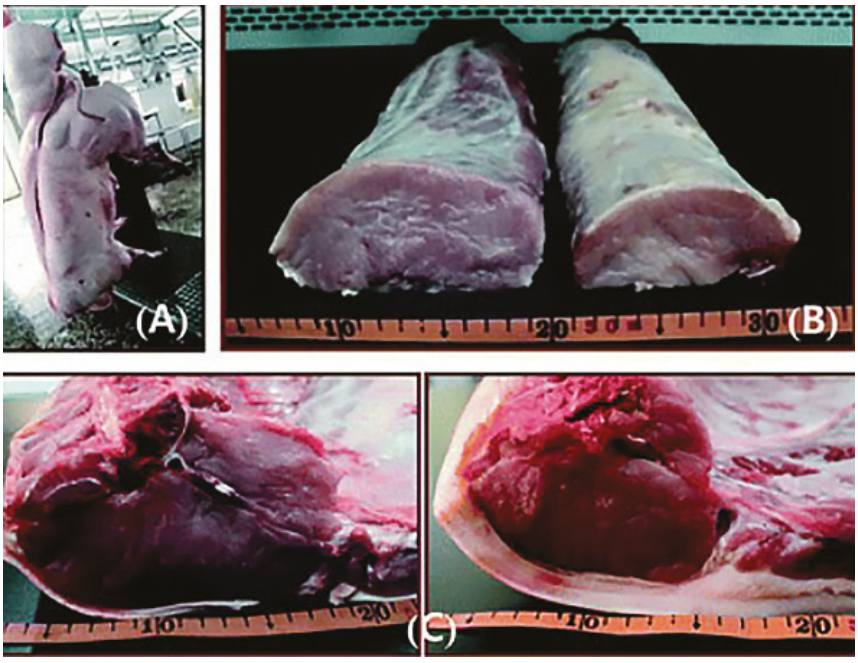


Рис. 2. Фотографии: *A* – 6-месячной свиньи с инактивированным геном MSTN; B – длиннейших мышц спины свиней с инактивированным геном MSTN (слева) и диким типом (справа); *C* – поперечных срезов длиннейшей мышцы спины, или филейной части, на последнем ребре свиней с инактивированным геном MSTN (слева) и диким типом (справа) [25]

Photograph of a 6-month-old pig with the MSTN gene inactivated; (B) Longissimus dorsi muscles of pigs with the MSTN gene inactivated (left) and wild type (right); (C) Photographs of cross-sections of the longissimus dorsi muscle, or loin eye, of the last rib of MSTN gene-inactivated (left) and wild-type (right) pigs

В результате им удалось получить гомозиготных хряков с инактивацией MSTN. Эти хряки нормально развивались и росли до половой зрелости, демонстрируя фенотипические характеристики двойной мускулатуры, наблюдаемые у КРС и овец.

Полиморфизмы миостатина у овец

У овец миостатин также является негативным регулятором мышечного роста. Установлено, что делеция и вставка одной пары оснований в кодирующей области гена MSTN положительно влияют на характеристики туши овец (увеличение мышечной массы и веса). Кроме того, SNP c.101A>G (rs417816017) в первом экзоне была обнаружена у некоторых пород овец в Китае и Новой Зеландии. Инактивация миостатина в результате замены G>A в области 3’UTR приводит к мышечной гипертрофии у овец породы тексель [26].

Имеются также доказательства наличия еще не охарактеризованных мутаций, локализованных в промоторной области, 1-м и 2-м интроне и в области 3’-UTR у различных популяций овец [27].

Полиморфизмы миостатина у кроликов

В 2011 г. Фонтанези и др. исследовали вариабельность полиморфизмов MSTN на производственные характеристики кроликов. Четыре SNP были идентифицированы путем сравнительного секвенирования 14 кроликов, представляющих разные породы и имеющих различную конформацию и мышечную массу. Один редкий синонимичный SNP в экзоне 1 (c.108C>T), один синонимичный SNP в экзоне 2 (c.713T>A), один SNP в области 3’-UTR (c.*194A>G) и SNP в 2 интроне (c.747+34C>T) установлены у бельгийского кролика, клетчатого гигантского кролика и серого великана (рис. 3) [9, 17].



Рис. 3. Кролики с мутацией в гене MSTN (2-месячный возраст): +/– – гетерозигота; WT – дикий тип [9]
Rabbits with a mutation in the gene MSTN (2-month old): +/– – heterozygote; WT – wild type

Что касается коммерческих гибридов, то SNP установлен в 5’-регуляторной области – g.476T>C. Однако не было обнаружено сайтов мутаций в области экзонов. Корреляционный анализ показал, что данный SNP связан с увеличением массы печени и тушки. Эти результаты

позволяют предположить, что SNP в гене MSTN могут использоваться в качестве молекулярных маркеров для отбора качества мяса у кроликов [6, 9].

Полиморфизм миостатина у домашней птицы

У кур ген MSTN картирован на участке 7 хромосомы p11 и, как и у млекопитающих, состоит из трех экзонов (373, 374 и 1567 п.н. соответственно) и двух интронов. Было показано, что ген MSTN у домашних птиц не только регулирует развитие скелетных мышц, но также участвует в метаболизме и распределении жиров. Дальнейшие исследования особенностей роста показали, что SNP в гене MSTN у куриц могут влиять на вес и процентное содержание брюшного жира, вес и процентное содержание грудных мышц, а также вес при рождении [28–30].

Мутация в миостатине у перепелок (C42del) приводит к увеличению массы тела, мышечной массы и массы сердца (рис. 4), а также к уменьшению массы жировых подушечек, что соответствует фенотипическим характеристикам других животных с нокаутом MSTN [31].

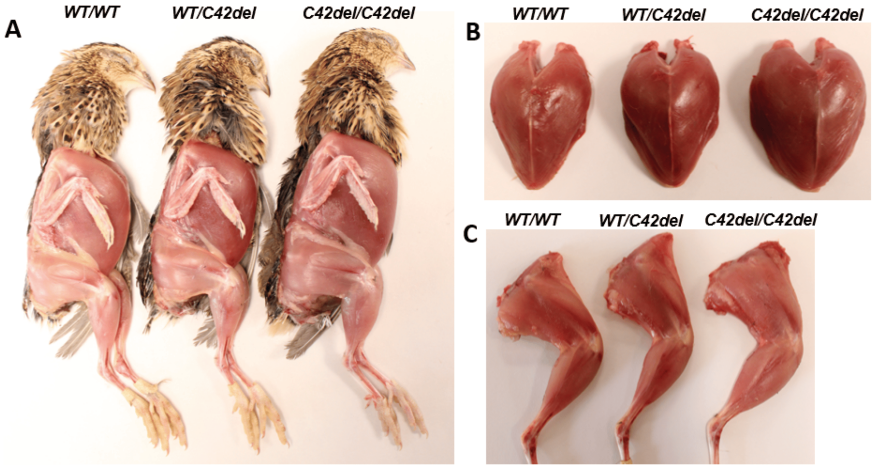


Рис. 4. Фенотипическое сравнение между группами 6-недельных перепелок: *A* – всего тела птиц, *B* – мышц груди, *C* – мышц ног [31]

Phenotypic comparison between groups of 6-week-old quails: *A* – the whole body of birds, *B* – chest muscles, *C* – leg muscles

Исследования были также проведены на утках с целью изучения связи полиморфизмов в MSTN с убойными характеристиками, массой грудных мышц, процентом грудных мышц, массой мышц ног и процентом мышц ног. Анализ 5’-регуляторной области MSTN показал, что три полиморфизма (g.753G>A, g.658G>T и g.235G>C) были связаны с процентом грудных мышц и уровнем брюшного жира [7, 28].

В целом ген миостатина является ключевым фактором в контроле роста и развития мышц у многих видов животных. Миостатин является мощным ингибитором роста мышц во время развития, а также регулирует размер мышечных волокон после созревания. Таким образом, миостатин играет решающую роль в регулировании роста мышц, действуя как негативный регулятор мышечной массы, а его ингибирование или дефицит могут привести к увеличению мышечной массы и гипертрофии у животных, что подчеркивает его важность в развитии и поддержании мышц. Мутации в гене влияют на мышечную массу, формирование скелетных мышц и гомеостаз тканей после рождения.

ВЫВОДЫ

1. Миостатин играет значительную роль в контроле роста отдельных тканей или органов, особенно скелетных мышц, путем ингибирования чрезмерного роста. Кроме того, снижение уровня активного миостатина может привести к значительному росту мышц и увеличению мышечной массы при таких состояниях, как рак, старение и мышечная дистрофия.

2. У КРС, коз, овец, свиней, кроликов и домашней птицы, полиморфизмы в гене мио-

статина связаны с продуктивными признаками, в частности, с увеличением мышечной массы и снижением процента жира. Это позволяет использовать ген миостатина у мясных пород животных для повышения качества и количества мяса. Однако на крупном рогатом скоте была показана предпочтительность отбора гетерозигот, так как у них не наблюдаются дефекты скелета и снижение жизнеспособности. Для лошадей и собак ген миостатина может служить маркером выносливости и скорости животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Генетические* маркеры в селекции овец / Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хамируев, С.М. Дашинимаев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 4 (69). – С. 147–161. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-147-161.
2. *Carcass* characteristics, meat quality and composition of lambs finished in cultivated pastures / C.G.F. de Araújo, M.G. Costa, G.S. Difante [et al.] // Food Science and technology. – 2022. – N 42. – P. 71420. – DOI: 10.1590/fst.71420.
3. *Carcass* characteristics and meat quality of karacabey merino lambs reared under triticale and oat pastures compared with stall-fed lambs / O.H. Hanoglu, P.D. Kecici, F. Alaturk [et al.] // *Animals.* – 2023. – N 13 (21). – P. 3322. – DOI: 10.3390/ani13213322.
4. *A role* of multi-omics technologies in sheep and goat meats: progress and way ahead / J. Wang, Y. Fu, T. Su [et al.] // *Foods.* – 2023. – N 12 (22). – P. 4069. –DOI: 10.3390/foods12224069.
5. *Влияние* мутаций в гене FGF-5 на показатели шерсти у овец (ОБЗОР) / Е.А. Климанова, Д.А. Александрова, О.И. Себежко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3 (68). – С. 225–235. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-225-235.
6. *Myostatin* and its regulation: a comprehensive review of myostatin inhibiting strategies / M.H. Baig, K. Ahmad, J.S. Moon [et al.] // Front physiol. – 2022. – N 13. – DOI: 10.3389/fphys.2022.876078.
7. *Aiello D., Patel K., Lasagna E.* The myostatin gene: an overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals // Anim. Genet. – 2018. – N 49. – P. 505–519. – DOI: 10.1111/age.12696.
8. *Alnajm H.R., Imari Z.K., Alrubaye T.A.* Study of genetic variation of myostatin (MSTN) and calpastatin (CAST) genes in two native Iraqi sheep by PCR-RFLP technique // Iraqi journal of veterinary sciences. – 2024. – Vol. 38, N 1. – P. 97–103.
9. *Efficient* generation of myostatin gene mutated rabbit by CRISPR/Cas9 / Q. Lv., L. Yuan, J. Deng [et al.] // Sci. Rep. – 2016. – N 6. – DOI: 10.1038/srep25029.
10. *Яцык О.А., Телегина Е.Ю.* Полиморфизм гена миостатина (MSTN) у овец породы манычский меринос // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2017. – № 3 (20). – P. 47–53.
11. *Georges M.* When less means more: impact of myostatin in animal breeding // Immunology, endocrine & metabolic agents in medicinal chemistry. – 2010. – N 10 (4). – P. 240–248. – DOI: 10.2174/187152210793663793.
12. *Refining* the Camelus dromedarius myostatin gene polymorphism through worldwide whole-genome sequencing / S. Bruno, V. Landi, G. Senczuk [et al.] // *Animals*. – 2022. – N 12 (16). – DOI: 10.3390/ani12162068.
13. *Генетические* маркеры мясной продуктивности овец (Ovis aries L.). Сообщение I. Миостатин, кальпаин, кальпастатин (обзор) / В.И. Трухачев, М.И. Селионова, А.Ю. Криворучко [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53. – С. 1107–1119. – DOI: 10.15389/agrobiology.2018.6.1107rus.
14. *A mutation* in the myostatin gene increases muscle mass and enhances racing performance in heterozygote dogs / D.S. Mosher, P. Quignon, C.D. Bustamante [et al.] // PLoS Genet. – 2007. – N 3 (5). – P. 79. – DOI: 10.1371/journal.pgen.0030079.
15. *A preliminary* investigation of myostatin gene (MSTN) variation in Red Deer (Cervus elaphus) and its implications for venison production in New Zealand / L. Cunningham, H. Zhou, Q. Fang [et al.] // *Animals*. – 2022. – N 12 (13). –DOI: 10.3390/ani12131615.
16. *Genetic* variations and haplotypic diversity in the myostatin gene of different cattle breeds in Russia / E. Konovalova, O. Romanenkova, A. Zimina [et al.] // *Animals.* –2021. – N 11 (10). – DOI: 10.3390/ani11102810.

17. *Myostatin* and its implications on animal breeding: A review / R.H.S. Bellinge, D.A. Liberles, S.P.A. Iaschi [et al.] // Animal genetics. – 2005. – N 36. – P. 1–6. – DOI: 10.1111/j.1365-2052.2004.01229.x.
18. *Effect* of myostatin gene mutation on slaughtering performance and meat quality in marchigiana bulls / S. Ceccobelli, F. Perini, M.F. Trombetta [et al.] // *Animals.* – 2022. – N 12 (4). – DOI: 10.3390/ani12040518.
19. *Исследование* полиморфизма гена MSTN у монгольского скота / И.Ф. Горлов, Г.В. Федотова, М.И. Сложенкина [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 2 (58). – С. 195–206.
20. *Polymorphisms* of myostatin gene (MSTN) in four goat breeds and their effects on Boer goat growth performance / C. Zhang, Y. Liu, D. Xu [et al.] // Molecular biology reports. – 2011. – N 39 (3). – P. 3081–3087. – DOI: 10.1007/s11033-011-1071-0.
21. *Molecular* characterization and phylogeny based analysis of complete coding sequence of myostatin (MSTN) gene in Indian goat breeds / S.P. Singh, P. Kumari, R. Kumar [et al.] // Small ruminant research. – 2014. – N 116 (2). – P. 100–110. – DOI: 10.1016/j.smallrumres.2013.10.
22. *Grade C.V.C., Mantovani C.S., Alvares L.E.* Myostatin gene promoter: structure, conservation and importance as a target for muscle modulation // J. Animal. Sci. Biotechnol. – 2019. – N 10. – DOI: 10.1186/s40104-019-0338-5.
23. *Polymorphisms* at myostatin gene (*MSTN*) and the associations with sport performances in anglo-arabian racehorses / E. Pira, G.M. Vacca, M.L. Dettori [et al.] // Animals (Basel). – 2021. – N 11 (4). – P. 964. – DOI: 10.3390/ani11040964.
24. *Идентификация* мутаций генов MSTN и RyR 1, связанных с мясной продуктивностью животных / С.В. Тюлькин, Ф.М. Нургалиев, Т.М. Ахметов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 4. – С. 390–395.
25. *Generation* of cloned adult muscular pigs with myostatin gene mutation by genetic engineering / J.-D. Kang, S. Kim, H.-Y. Zhu [et al.] // RSC Advances. – 2017. – N 7 (21). – P. 2541–12549. – DOI: 10.1039/c6ra28579a.
26. *Grochowska E., Borys B., Mroczkowski S.* Effects of intronic SNPs in the myostatin gene on growth and carcass traits in colored polish merino sheep // Genes (Basel). – 2019. – N 11 (1). – P. 1–18. – DOI: 10.3390/genes11010002.
27. *Genes* contributing to genetic variation of muscling in sheep / R.L. Tellam; N.E. Cockett, T. Vuocolo [et al.] // Frontiers in genetics. – 2012. – N 3. – P. 1–18. – DOI: 10.3389/fgene.2012.00164.
28. *Myostatin* mutation in Japanese quail increased egg size but reduced eggshell thickness and strength / J. Lee, C. McCurdy, C. Chae [et al.] // *Animals*. – 2022. – N 12 (1). – P. 1–7. – DOI: 10.3390/ani12010047.
29. *Скорость* роста и продуктивность бройлерного кросса кур с разными полиморфными типами гена миостатина / Н.В. Дементьева, О.В. Митрофанова, В.И. Тыщенко [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – Т. 20. – № 1. – С. 39–43. – DOI:10.18699/VJ16.154.
30. *Effects* of myostatin mutation on onset of laying, egg production, fertility, and hatchability / J. Lee, D-H. Kim, A.M. Brower [et al.] // *Animals.* – 2021. – N 11 (7). – DOI: 10.3390/ani11071935.
31. *Lee J., Kim D-H., Lee K.* Muscle hyperplasia in japanese quail by single amino acid deletion in MSTN propeptide // *International Journal of Molecular Sciences.* – 2020. – N 21 (4). – P. 1504. – DOI: 10.3390/ijms21041504.

REFERENCES

1. Goncharenko G.M., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Khoroshilova T.S., Khalina O.L., Soloshenko V.A., Ermolaev V.I., Kochnev N.N., *Vestnik NGAU*, 2023, No. 4 (69), pp. 147–161, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-147-161. (In Russ).
2. de Araújo C.G.F., Costa M.G., Difante G.S., Neto J.V.E, Gurgel A.L.C., COSTA C.M., de Araújo I.M.M., Silva M.G.T., Medeiros M.C., Carcass characteristics, meat quality and composition of lambs finished in cultivated pastures, *Food Science and Technology*, 2022, No. 42, pp. 71420, DOI: 10.1590/fst.71420.
3. Hanoglu O.H., Kecici P.D., Alaturk F., Tolu C., Ekiz B., Gokkus A., Carcass characteristics and meat quality of karacabey merino lambs reared under triticale and oat pastures compared with stall-fed lambs, *Animals,* 2023, No. 13 (21), pp. 3322, DOI: 10.3390/ani13213322.

4. Wang J., Fu Y., Su T., Wang Y., Soladoye O.P., Huang Y., Zhao Z., Zhao Y., Wu W., A role of multi-omics technologies in sheep and goat meats: progress and way ahead, *Foods,* 2023, No. 12 (22), pp. 4069, DOI: 10.3390/foods12224069.
5. Klimanova E.A., Aleksandrova D.A., Sebezhko O.I., Kulikova S.G., Gart V.V., *Vestnik NGAU,* 2023, No. 3 (68), pp. 225–235, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-225-235. (In Russ).
6. Baig M.H., Ahmad K., Moon J.S., Park S.Y., Ho Lim J., Chun H.J., Qadri A.F., Hwang Y.C., Jan A.T., Ahmad S.S., Ali S., Shaikh S., Lee E.J., Choi I., Myostatin and its regulation: a comprehensive review of myostatin inhibiting strategies, *Front. Physiol.*, 2022, No. 13, DOI: 10.3389/fphys.2022.876078.
7. Aiello D., Patel K., Lasagna E., The myostatin gene: an overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals, *Anim. Genet,* 2018, No. 49, pp. 505–519, DOI: 10.1111/age.12696.
8. Alnajm H.R., Imari Z.K., Alrubaye T.A., Study of genetic variation of myostatin (MSTN) and calpastatin (CAST) genes in two native Iraqi sheep by PCR-RFLP technique, *Iraqi journal of veterinary sciences*, 2024, Vol. 38, No. 1, pp. 97–103.
9. Lv Q., Yuan L., Deng J., Chen M., Wang Y., Zeng J., Li Z., Lai L., Efficient generation of myostatin gene mutated rabbit by CRISPR/Cas9, *Sci. Rep.*, 2016, No. 6, DOI: 10.1038/srep25029.
10. Yatsyk O.A., Telegina E.Yu, *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2017, No. 3 (20), pp. 47–53. (In Russ).
11. Georges M., When less means more: impact of myostatin in animal breeding, *Immunology, endocrine & metabolic agents in medicinal chemistry*, 2010, No. 10 (4), pp. 240–248, DOI: 10.2174/187152210793663793.
12. Bruno S., Landi V., Senczuk G., Brooks S.A., Almathen F., Faye B., Gaouar S.S.B., Piro M., Kim K.S., David X., Refining the Camelus dromedarius myostatin gene polymorphism through worldwide whole-genome sequencing, *Animals*, 2022, No. 12 (16), DOI: 10.3390/ani12162068.
13. Trukhachev V.I., Selionova M.I., Krivoruchko A.Yu., Aibazov A.M.M., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2018, Vol. 53, pp. 1107–1119, DOI: 10.15389/agrobiology.2018.6.1107rus. (In Russ).
14. Mosher D.S., Quignon P., Bustamante C.D., Sutter N.B., Mellersh C.S., Parker H.G., Ostrander E.A., A mutation in the myostatin gene increases muscle mass and enhances racing performance in heterozygote dogs, *PLoS Genet.*, 2007, No. 3 (5), pp. 79, DOI: 10.1371/journal.pgen.0030079.
15. Cunningham L., Zhou H., Fang Q., Tapley M., Hickford J.G.H., A preliminary investigation of myostatin gene (*MSTN*) variation in Red Deer (Cervus elaphus) and its implications for venison production in New Zealand, *Animals*, 2022, No. 12 (13), DOI: 10.3390/ani12131615.
16. Konovalova E., Romanenkova O., Zimina A., Volkova V., Sermyagin A., Genetic variations and haplotypic diversity in the myostatin gene of different cattle breeds in Russia, *Animals,* 2021, No. 11 (10), DOI: 10.3390/ani11102810.
17. Bellinge R.H.S., Liberles D.A., Iaschi S.P.A., O'brien P.A., Tay G.K., Myostatin and its implications on animal breeding: A review, *Animal genetics*, 2005, No. 36, pp. 1–6, DOI: 10.1111/j.1365-2052.2004.01229.x.
18. Ceccobelli S., Perini F., Trombetta M.F., Tavoletti S., Lasagna E., Pasquini M., Effect of myostatin gene mutation on slaughtering performance and meat quality in marchigiana bulls, *Animals,* 2022, No. 12 (4), DOI: 10.3390/ani12040518.
19. Gorlov I.F., Fedotova G.V., Slozhenkina M.I., Anisimova E.Yu., Mosolova D.A., Tsitsige, *Izvestiya NV AUK*, 2020, No. 2 (58). (In Russ)
20. Zhang C., Liu Y., Xu D., Wen Q., Li X., Zhang W., Yang, L., Polymorphisms of myostatin gene (MSTN) in four goat breeds and their effects on Boer goat growth performance, *Molecular biology reports*, 2011, No. 39 (3), pp. 3081–3087, DOI: 10.1007/s11033-011-1071-0.
21. Singh S.P., Kumari P., Kumar R., Negi M., Sharma S.K., Gangwar M., Kumar S., Mitra A., Molecular characterization and phylogeny based analysis of complete coding sequence of myostatin (MSTN) gene in Indian goat breeds, *Small ruminant research*, 2014, No. 116 (2–3), pp. 100–110, DOI: 10.1016/j.smallrumres.2013.10.
22. Grade C.V.C., Mantovani C.S., Alvares L.E., Myostatin gene promoter: structure, conservation and importance as a target for muscle modulation, *J. Animal. Sci. Biotechnol.,* 2019, No. 10, DOI: 10.1186/s40104-019-0338-5.
23. Pira E., Vacca G.M., Dettori M.L., Piras G., Moro M., Paschino P., Pazzola M., Polymorphisms at myostatin gene (*MSTN*) and the associations with sport performances in anglo-arabian racehorses, *Animals (Basel)*, 2021, No. 11 (4), p. 964, DOI: 10.3390/ani11040964.

24. Tyul'kin S.V., Nurgaliev F.M., Akhmetov T.M., Vafin R.R., *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Baumana*, 2012, No. 4, pp. 390–395. (In Russ)
25. Kang J.-D., Kim S., Zhu H.-Y., Jin L., Guo Q., Li X.-C., Zhang Y.-C., Xing X.-X., Xuan M.-F., Zhang G.- L., Luo Q.-R., Kim Y.S., Cui C.D., Li W.-X., Cui Z.-Y., Kim J.-S., Yin X.-J., Generation of cloned adult muscular pigs with myostatin gene mutation by genetic engineering, *RSC Advances*, 2017, No. 7 (21), pp. 12541–12549, DOI:10.1039/c6ra28579a.
26. Grochowska E., Borys B., Mroczkowski S., Effects of intronic SNPs in the myostatin gene on growth and carcass traits in colored polish merino sheep, *Genes (Basel)*, 2019, No. 11 (1), pp. 1–18, DOI: 10.3390/genes11010002.
27. Tellam R.L., Cockett N.E., Vuocolo T., Bidwell C.A., Genes contributing to genetic variation of muscling in sheep, *Frontiers in genetics*, 2012, No. 3, pp.1–18, DOI: 10.3389/fgene.2012.00164.
28. Lee J., McCurdy C., Chae C., Hwang J., Karolak M.C., Kim D-H., Baird C.L., Bohrer B.M., Lee K., Myostatin mutation in Japanese quail increased egg size but reduced eggshell thickness and strength, *Animals*, 2022, No. 12 (1), pp. 1–7, DOI: 10.3390/ani12010047.
29. Dement'eva N.V., Mitrofanova O.V., Tyshchenko V.I., Terletskii V.P., Yakovlev A.F., *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2016, Vol. 20, No. 1, pp. 39–43, DOI: 10.18699/VJ16.154. (In Russ)
30. Lee J., Kim D-H., Brower A.M., Schlachter I., Lee K., Effects of myostatin mutation on onset of laying, egg production, fertility, and hatchability, *Animals,* 2021, No. 11 (7), DOI: 10.3390/ani11071935.
31. Lee J., Kim D-H., Lee K., Muscle hyperplasia in japanese quail by single amino acid deletion in MSTN propeptide, *International Journal of Molecular Sciences,* 2020, No. 21 (4), pp. 1504, DOI:10.3390/ijms21041504.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-220-228
УДК 619:612.825:591.531.2

ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТОНИКИ ПЛАЩА КОНЕЧНОГО МОЗГА У ПЛОТОЯДНЫХ

Д.Е. Кудрявцева, аспирант
О.В. Распутина, доктор ветеринарных наук, профессор
Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: kudryavceva.darya.99@mail.ru

***Ключевые слова*:** сравнительная нейроанатомия, конечный мозг, полушария большого мозга, плащ, борозды, извилины, плотоядные млекопитающие.

Реферат. *В статье представлены результаты исследований по изучению архитектоники поверхности плаща конечного мозга у американских норок генотипа Standard dark brown (+/+) клеточного содержания, домашних кошек и серебристо-черных лисиц клеточного содержания. Исследования проведены на кафедре акушерства, анатомии и гистологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и на базе экспериментальной звероферме Института цитологии и генетики СО РАН в период с 2018 по 2023 гг. В период исследований проводили макроскопическое изучение и морфометрию структур головного мозга. Было установлено, что отделы головного мозга и плащ конечного мозга имеют общее строение с другими плотоядными млекопитающими, однако имеются видовые отличия в архитектонике плаща. Общими бороздами у исследуемых животных являлись s. presylvius, s. cruciatus, s. ansatus, s. coronalis, s. marginalis (sagittalis), s. suprasylvius, s. rhinalis lateralis, s. corporis callosi, s. splenialis, s. genualis и fissura pseudosylvia, а извилинами – g. marginalis, g. precruciatus, g. postcruciatus, g. ectosylvius, g. olfactorius lateralis, g. olfactorius medialis, g. cinguli и g. genualis. У американских норок к видоспецифичным бороздам и извилинам относятся g. proreus, g. suprasylvius и g. coronalis, у домашней кошки – s. diagonalis, s. suprasplenialis и g. splenialis, а у серебристо-черной лисицы – s. postcruciatus, s. proreus (orbitalis), s. ectomarginalis, s. ectogenualis и g. ectogenualis. Помимо этого, у животных имеется видоспецифичное подразделение борозд и извилин, а также отсутствие некоторых из них. Абсолютная масса мозга у американской норки составила 9,19±0,22 г, у домашней кошки – 28,65±0,78 г, а у серебристо-черной лисицы – 53,57±0,7 г. Различий между размерами правого и левого полушария не выявлено.*

SPECIES FEATURES OF THE ARCHITECTONICS PALLIUM OF THE TELENCEPHALON IN CARNIVORES

D.E. Kudryavtseva, postgraduate student
O.V. Rasputina, Doctor of Veterinary Sciences, Professor
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
E-mail: kudryavceva.darya.99@mail.ru

***Keywords*:** comparative neuroanatomy, telencephalon, cerebral hemispheres, pallium, sulcus, gyrus, carnivorous mammals.

Abstract. *The article presents the results of studies on the architectonics surface pallium of the telencephalon in American minks of Standard dark brown genotype (+/+) of cage-keeping, domestic cats and silver-black foxes of cage-keeping. The studies were carried out at the Department of Obstetrics, Anatomy and Histology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Novosibirsk State Agrarian University and based on the experimental fur farm of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences during 2018-2023. Macroscopic examinations and morphometry of brain structures were performed during the study period. Brain sections and telencephalon pallium were found to share a common structure with other carnivorous mammals, but there are species differences in the architectonics of the pallium. The common sulcus in the animals studied were the s. presylvius, s. cruciatus, s. ansatus, s. coronalis, s. marginalis (sagittalis), s. suprasylvius, s. rhinalis lateralis, s. corporis callosi, s. splenialis, s. genualis and fissura pseudosylvia, and the gyrus – g. marginalis, g. precruciatus, g. postcruciatus, g. ectosylvius, g. olfactorius lateralis, g. olfactorius medialis, g. cinguli and g. genualis. In the American mink species-specific sulcus and gyrus include g. proreus, g. suprasylvius and g. coronalis, in the domestic cat – s. diagonalis, s. suprasplenialis and g. splenialis, and in the silver-black fox – s. postcruciatus, s. proreus (orbitalis), s. ectomarginalis, s. ectogenualis*

and g. ectogenualis. In addition, animals have species-specific subdivision of sulcus and gyrus, as well as the absence of some of them. The absolute brain mass in the American mink was 9.19±0.22 g, 28.65±0.78 g in the domestic cat, and 53.57±0.7 g in the silver-black fox. No differences were found between right and left hemisphere sizes.

Изучение структурной организации мозга на основе исследования его макро- и микроскопического строения всегда привлекало внимание как морфологов, так и клиницистов [1].

Головной мозг – орган центральной нервной системы, который поперечной щелью делится на два отдела: большой мозг и ромбовидный мозг. Большой мозг состоит из конечного, промежуточного и среднего мозга, а ромбовидный – из заднего и продолговатого мозга [2].

Эволюционное развитие головного мозга шло по пути увеличения площади коры полушарий большого мозга (теленцефализации) за счет развития складчатости плаща путем образования борозд [3–5], в связи с этим конечный мозг является важнейшим отделом головного мозга млекопитающих [6]. Он состоит из полушарий большого мозга, в которых различают плащ, обонятельный мозг, базальные ядра, мозолистое тело и боковые желудочки [2, 7].

Плащ несет борозды и извилины, которые у разных видов млекопитающих располагаются неодинаково [7, 8]. В зависимости от вида и размера животного плащ конечного мозга может быть гладким (лиссэнцефальным, lissencephali) и с наличием борозд и извилин (гирэнцефальным, gyrencephali) [8]. У лошадей извилин больше, чем у рогатого скота. У собак можно различить борозды, свойственные для лошади домашней, а также представителей семейства свиней и подотряда жвачных. У свиньи извилины на поверхности плаща выражены менее четко, чем у хищных. У мелких животных извилины вообще отсутствуют [5, 7]. Так, количество извилин у всеядных и жвачных значительно превышает количество извилин у плотоядных [9]. У плотоядных и копытных млекопитающих извилины в основном идут дугами вокруг поперечной сильвиевой борозды (у хищных – псевдосильвиевой борозды), у приматов извилины образуют две системы – лобную и теменную, которые разделены сильвиевой бороздой. В силу сказанного абсолютная гомологизация борозд и извилин между животными разных отрядов крайне затруднительна, а в отдельных случаях может быть и невозможна [8].

Борозды конечного мозга у плотоядных млекопитающих имеют схожий рисунок, характерный для отряда Carnivora, однако борозды видоспецифичны, при этом имеется незначительная индивидуальная вариабельность [9–17]. По данным А.В. Прусакова и Н.В. Зеленевского [5, 12], у домашней собаки и кошки, а также евразийской рыси есть крестовидная, петлевидная и венечная борозды, не свойственные кроликам, лошадям, свиньям, рогатому скоту. Их относят к облигатным бороздам для плотоядных.

Материал, в котором описывается архитектоника плаща конченого мозга у разных видов животных, по большей части относится к учебной литературе, которая содержит усредненные, а порой противоречивые данные. Кроме того, черно-белые схемы, обычно приведенные в изданиях, не дают полного представления об исследуемых структурах. В имеющихся публикациях содержатся данные о видовых особенностях, которые не представлены визуально (в виде фотографий, атласов). По некоторым животным, в частности лисицам и американским норкам, данные практически полностью отсутствуют, в связи с этим для идентификации борозд и извилин приходится опираться на данные таковых у близкородственных видов: для лисиц – это домашняя собака, а для американских норок – хорек [18–20]. Кроме того, до сих пор нет единого мнения об особенностях и количестве борозд и извилин у разных представителей млекопитающих, а названия борозд и извилин вовсе базируются на гуманитарной анатомии. Таким образом, вышесказанное актуализирует необходимость более глубокого макроморфологического изучения конечного мозга.

Цель исследований – изучение видовых особенностей борозд и извилин плаща у американской норки, домашней кошки и серебристо-черной лисицы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены на кафедре акушерства, анатомии и гистологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и на базе экспериментальной звероферме Института цитологии и генетики СО РАН в период с 2018 по 2023 гг.

Объектом исследований являлись американские норки генотипа Standard dark brown (+/+) клеточного содержания (n = 12), беспородные домашние кошки (n = 10) и серебристо-черные лисицы клеточного содержания (n = 6).

Предметом исследований является головной мозг животных.

Макроскопическое исследование головного мозга проводили на выделенных препаратах, фиксированных в 10%-м забуференном растворе нейтрального формалина. Абсолютную массу головного мозга определяли с помощью электронных весов Ohaus Scout Pro SPS602F с точностью 0,01 г. Линейные размеры полушарий большого мозга (длина и ширина в трех точках измерения) определялись с помощью цифрового штангенциркуля ЗУБР 14463-150 с точностью 0,01 мм. Изучение архитектоники борозд и извилин плаща конечного мозга осуществляли по фиксированным препаратам с дорсальной, латеральной, вентральной и медиальной поверхности. Фотосъемку проводили цифровым фотоаппаратом Sony A6000 (разрешение 24.3 МПикс). Статистическую обработку полученных результатов выполняли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Форма конечного мозга и масса головного мозга у разных животных имеет видовые особенности. По результатам исследований, масса головного иозга у американской норки в среднем составила 9,19±0,22 г, у домашней кошки – 28,65±0,78 г, а у серебристо-черной лисицы – 53,57±0,7 г. У кошек с дорсальной поверхности конечный мозг имеет округлую форму, у лисиц и норок – грушевидную, а с латеральной поверхности у всех исследуемых животных форма конечного мозга треугольная. У лисиц и норок по сравнению с кошкой полушария длиннее, также прослеживается ростральное сужение в области обонятельных луковиц и латеральной борозды.

При линейных измерениях правого и левого полушария (длина и ширина в трех точках измерения) было установлено, что их размеры зависят от видовой принадлежности, межполушарной асимметрии не выявлено (табл. 1).

Таблица 1

Длина и ширина полушарий большого мозга исследуемых видов животных
Length and width of the cerebral hemispheres of the studied animal species

Вид	Полушарие	Длина, мм	Ширина, мм		
			Sulcus cruciatus	Fissura pseudosylvia	Gyrus ectosylvius
Американская норка	Левое	28,83±0,47	6,17±0,21	8,17±0,21	10,83±0,27
	Правое	28,92±0,73	6,0±0,25	8,33±0,28	10,83±0,29
			Sulcus coronalis	Sulcus ectosylvius	Gyrus ectosylvius
Домашняя кошка	Левое	37,69±0,91	12,63±0,21	16,69±0,13	20,69±0,61
	Правое	37,81±1,08	12,56±0,39	16,63±0,26	20,5±0,37
			Sulcus presylvius	Fissura pseudosylvia	Gyrus ectosylvius
Серебристо-черная лисица	Левое	58,2±0,5	9,4±0,4	19,6±0,5	23,6±0,5
	Правое	58,6±0,68	9,0±0,55	19,8±0,37	24,1±0,33

При исследовании архитектоники плаща было установлено, что у животных имеются как постоянные (характерны для отряда Carnivora), так и видоспецифичные борозды и извилины.

С дорсальной поверхности борозды и извилины идут в продольном, диагональном и поперечном направлении. Общими для исследуемых животных бороздами (sulcus, s.) являются s. presylvius, s. cruciatus, s. ansatus, s. coronalis, s. marginalis (sagittalis) и s. suprasylvius с одноименными извилинами (gyrus, g.) – g. ectosylvius, g. precruciatus, g. postcruciatus, g. marginalis и g. suprasylvius.

У серебристо-черных лисиц поверхность конечного мозга схожа с таковой у собак [11, 13], борозд и соответственно извилин на поверхности плаща больше, чем у норок и кошек. У лисиц, как и у собак, имеются s. proreus (orbitalis), s. postcruciatus и s. ectomarginalis. У американских норок отсутствует g. ectomarginalis, как и у лисиц присутствует g. proreus (рис. 1).

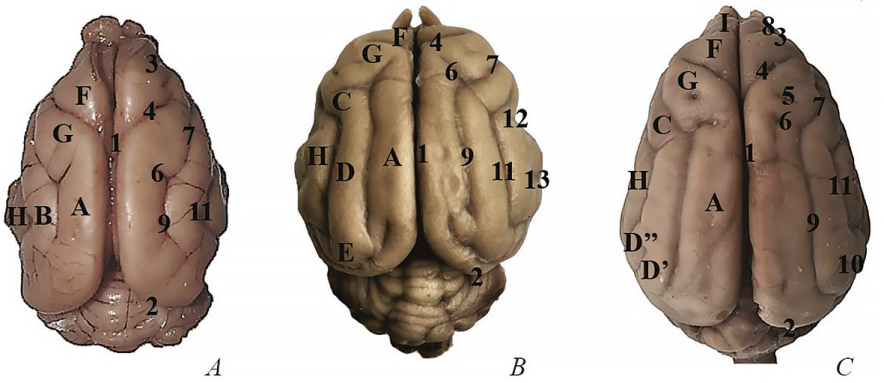


Рис. 1. Борозды и извилины американской норки (*а*), домашней кошки (*в*) и серебристо-черной лисицы (*с*) с дорсальной поверхности:

Sulci and gyri of the American mink (*а*), domestic cat (*в*) and silver-black fox (*с*) from the dorsal surface:

1 – fissura longitudinalis cerebri; 2 – fissura transversa cerebri; 3 – sulcus presylvius; 4 – sulcus cruciatus; 5 – sulcus postcruciatus; 6 – sulcus ansatus; 7 – sulcus coronalis; 8 – sulcus proreus (orbitalis); 9 – sulcus marginalis (sagittalis); 10 – sulcus ectomarginalis; 11 – sulcus suprasylvius; 12 – sulcus ectosylvius rostralis; 13 – sulcus ectosylvius caudalis; A – gyrus marginalis; B – gyrus suprasylvius; C – gyrus ectomarginalis rostralis; D – gyrus ectomarginalis medius; D' – gyrus ectomarginalis medius, pars medialis; D'' – gyrus ectomarginalis medius, pars lateralis; E – gyrus ectomarginalis caudalis; F – gyrus precruciatus; G – gyrus postcruciatus; H – gyrus ectosylvius; I – gyrus proreus

Борозды и извилины с латеральной поверхности идут дугообразно и в дорсоветральном направлении. В отличие от копытных животных и человека fissura sylvia (lateralis cerebri) у плотоядных называется fissura pseudosylvia.

У лисиц, как и у собак, имеются все три дуговые борозды (s. ectosylvius, s. suprasylvius и s. marginalis (sagittalis)) [13]. Однако при этом у А.Ф. Климова и А.И. Акаевского [21], А.В. Прусакова [22] и Д.А. Андреевой [9] третьей дуговой бороздой у собак является s. ectomarginalis, которая в работах Б. Фольмерхауса и др. [23] и K. Czeibert et al. [24] не является дуговой и располагается латеральнее s. marginalis (sagittalis), а в работах Ю.Ф. Юдичева и др. [8] выделены s. marginalis (sagittalis) и лежащие выше и ниже s. ecto- et endomargianilis. По данным А.В. Прусакова и Н.В. Зеленевского [5], s. presylvius у собак отсутствует, хотя в других источниках авторы ее выделяют [8, 21, 23, 24], У лисиц в нашем исследовании конечный мозг схож с таковым у собак [11, 13], и s. presylvius присутствует. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что борозды и извилины не только видоспецифичны, но и имеют при этом индивидуальную внутривидовую вариабельность.

У лисиц, в отличие от кошек, g. ectomarginalis medius за счет s. ectomarginalis делится на pars medialis и pars lateralis, а g. ectomarginalis caudalis видна только с латеральной поверхности, которая у американских норок отсутствует (вся извилина), а у кошек просматривается как с дорсальной, так и с латеральной поверхности.

У лисиц и кошек выделяют g. compositus rostralis и caudalis.

У кошек s. ectomarginalis отсутствует, s. presylvius видна только с латеральной поверхности, тогда как у норок и лисиц как с латеральной, так и с дорсальной поверхности. S. coronalis не связана с s. marginalis (sagittalis), т.е. не является ее продолжением в отличие от норок и лисиц.

По сравнению с лисицей s. ectosylvius у кошек не дуговая, а прерывистая и делится тем самым на ростральную и каудальную части. Также у кошек g. sylvius по сравнению с лисицей (у норок она отсутствует) делится на g. sylvius rostralis, g. intersylvius и g. sylvius caudalis. Из исследуемых животных только у кошек имеется s. diagonalis [13, 15–17].

У норок выделяют g. coronalis и g. suprasylvius, при этом отсутствует s. ectosylvius и g. sylvius. В отличие от лисиц и кошек g. ectosylvius у норок подразделяется на ростральную и каудальную часть (рис. 2).

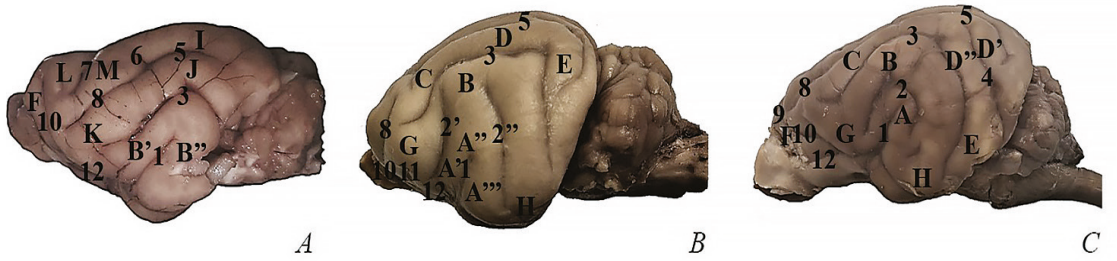


Рис. 2. Борозды и извилины американской норки (*а*), домашней кошки (*в*) и серебристо-черной лисицы (*с*) с латеральной поверхности:

Sulci and gyri of the American mink (*а*), domestic cat (*в*) and silver-black fox (*с*) from the lateral surface:

1 – fissura pseudosylvia; 2 – sulcus ectosylvius; 2’ – sulcus ectosylvius rostralis; 2’’ – sulcus ectosylvius caudalis; 3 – sulcus suprasylvius; 4 – sulcus ectomarginalis; 5 – sulcus marginalis (sagittalis); 6 – sulcus ansatus; 7 – sulcus cruciatus; 8 – sulcus coronalis; 9 – sulcus proreus (orbitalis); 10 – sulcus presylvius; 11 – sulcus diagonalis; 12 – sulcus rhinalis lateralis; A – gyrus sylvius; A’ – gyrus sylvius rostralis; A’’ – gyrus intersylvius; A’’ – gyrus sylvius caudalis; B – gyrus ectosylvius; B’ – gyrus ectosylvius rostralis; B’’ – gyrus ectosylvius caudalis; C – gyrus ectomarginalis rostralis; D – gyrus ectomarginalis medius; D’ – gyrus ectomarginalis medius, pars medialis; D’’ – gyrus ectomarginalis medius, pars lateralis; E – gyrus ectomarginalis caudalis; F – gyrus proreus; G – gyrus compositus rostralis; H – gyrus compositus caudalis; I – gyrus marginalis; J – gyrus suprasylvius; K – gyrus coronalis; L – gyrus precruciatus; M – gyrus postcruciatus

С вентральной поверхности конечного мозга борозд и извилин мало, они идут в краниокаудальном направлении. У всех животных просматриваются s. presylvius, s. rhinalis lateralis, g. olfactorius lateralis и g. olfactorius medialis. У кошек и лисиц видны g. compositus rostralis и caudalis, заходящие с латеральной поверхности. У кошек на вентральную поверхность заходит s. coronalis, а также отсутствующая у других животных s. diagonalis (рис. 3).

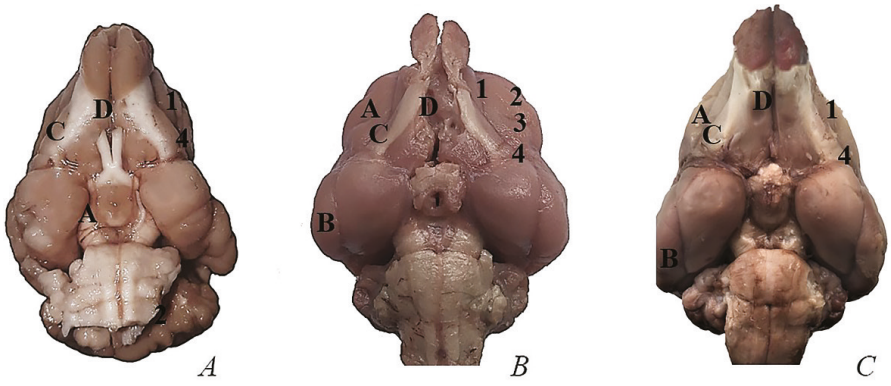


Рис. 3. Борозды и извилины американской норки (*а*), домашней кошки (*в*) и серебристо-черной лисицы (*с*) с вентральной поверхности:

Sulci and gyri of the American mink (*а*), domestic cat (*в*) and silver-black fox (*с*) from the ventral surface:

1 - sulcus presylvius; 2 - sulcus coronalis; 3 - sulcus diagonalis; 4 - sulcus rhinalis lateralis; A - gyrus compositus rostralis; B - gyrus compositus caudalis; C - gyrus olfactorius lateralis; D - gyrus olfactorius medialis

С медиальной поверхности у всех животных имеются дугообразные s. corporis callosi, s. splenialis и s. genualis, а также заходящая с дорсальной поверхности s. cruciatus, которая у кошек не связана с s. splenialis. Общими извилинами медиальной поверхности являются g. marginalis, g. cinguli и g. genualis. При этом у кошек и собак с данной поверхности полушарий располагаются s. supraspenialis и g. splenialis, которых нет у норок и лисиц [13]. У лисиц, как и у собак, есть s. и g. ectogenualis (рис. 4).

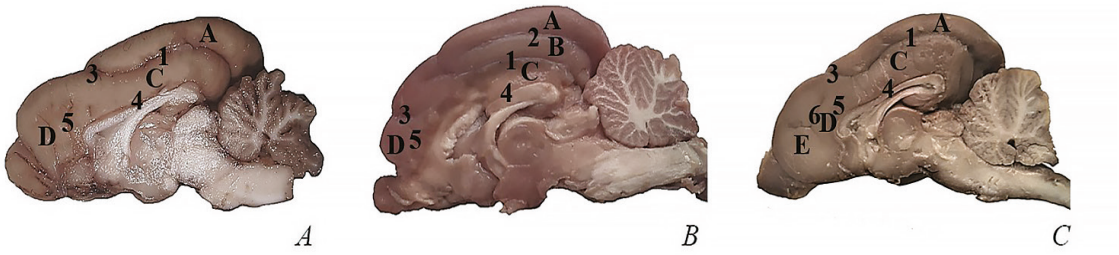


Рис. 4. Борозды и извилины американской норки (*а*), домашней кошки (*в*) и серебристо-черной лисицы (*с*) с медиальной поверхности:

Sulci and gyri of the American mink (*а*), domestic cat (*в*) and silver-black fox (*с*) from the medial surface:

1 – sulcus splenialis; 2 – sulcus suprasplenialis; 3 – sulcus cruciatus; 4 – sulcus corporis callosi; 5 – sulcus genualis; 6 – sulcus ectogenualis; A – gyrus marginalis; B – gyrus splenialis; C – gyrus cinguli; D – gyrus genualis; E – gyrus ectogenualis

Выявленные в процессе проведенного исследования борозды и извилины конечного мозга животных в большинстве совпадают с бороздами и извилинами, выявленными ранее другими учеными.

Результаты, полученные нами, согласуются с исследованиями А.В. Прусакова [12] в том, что усложнение архитектоники конечного мозга филогенетически детерминировано увеличением поверхности коры большого мозга и коррелирует с возрастанием массы тела животного. Это подтверждают наши данные, отражающие вид животного и количество у него борозд и извилин (табл. 2).

Таблица 2

Количество борозд и извилин плаща конечного мозга в зависимости от вида животного
Number of sulcus and gyrus of the telencephalon pallium depending on the animal species

Вид	Кол-во борозд и извилин плаща конечного мозга, шт.	
	sulcus	gyrus
Американская норка	14	13
Домашняя кошка	17	17
Серебристо-черная лисица	18	17

Таким образом, была установлена абсолютная масса головного мозга, линейные показатели полушарий и видовые особенности распределения борозд и извилин плаща конечного мозга животных, которые требуют дальнейшего изучения.

ВЫВОДЫ

1. Абсолютная масса мозга у американской норки составила 9,19±0,22 г, у домашней кошки – 28,65±0,78 г, а у серебристо-черной лисицы – 53,57±0,7 г.

2. Различий между линейными измерениями правого и левого полушария у исследуемых животных не выявлено.

3. У американских норок количество борозд составляет 14 шт., извилин – 13 шт., у кошек по 17 шт., у лисиц 18 и 17 шт. соответственно.

4. Общими бороздами плаща являлись s. presylvius, s. cruciatus, s. ansatus, s. coronalis, s. marginalis (sagittalis), s. suprasylvius, s. rhinalis

lateralis, s. corporis callosi, s. splenialis, s. genualis и fissura pseudosylvian.

5. Общими извилинами плаща являлись g. marginalis, g. precruciatus, g. postcruciatus, g. ectosylvius, g. olfactorius lateralis, g. olfactorius medialis, g. cinguli и g. genualis.

6. У американской норки к видоспецифичным извилинам относятся g. proreus, g. suprasylvius и g. coronalis, при этом отсутствуют s. ectosylvius, g. ectomarginalis, g. sylvius, g. compositus rostralis и g. compositus caudalis. В отличие от кошек и лисиц g. ectosylvius американской норки подразделятся на g. ectosylvius rostralis и g. ectosylvius caudalis.

7. У домашней кошки видоспецифичными бороздами и извилинами являются s. diagonalis, s. suprasplenialis и g. splenialis. В отличие от лисиц s. ectosylvius подразделятся на s. ectosylvius rostralis и s. ectosylvius caudalis, а g. sylvius на g. sylvius rostralis, g. intersylvius и g. sylvius caudalis.

8. У серебристо-черной лисицы к видоспецифичным относятся следующие борозды и извилины: s. postcruciatus, s. proreus (orbitalis), s. ectomarginalis, s. ectogenualis и g. ectogenualis. В отличие от кошек g. ectomarginalis medius за счет s. ectomarginalis делится на pars medialis и pars lateralis.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Архитектоника* коры мозга человека: МРТ-атлас / И.Н. Боголепова, М.В. Кротенкова, Л.И. Малофеева [и др.]. – М.: Издательский холдинг «Атмосфера», 2010. – 216 с.
2. *Астапенко А.С., Шереметова Д.С.* Приготовления препарата головного мозга // Студенты – науке и практике АПК: мат-лы 105-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, 20–21 мая 2020 г. – Витебск: ВГАВМ, 2020. – С. 140–141.
3. *Прусаков А.В., Зеленевский Н.В.* Архитектоника борозд и масса головного мозга жвачных // Современные проблемы и перспективы исследований в анатомии и гистологии животных: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти профессора Д.Х. Нарзиева, 31 октября – 1 ноября 2019 г. – Витебск: ВГАВМ, 2019. – С. 30–33.
4. *Прусаков А.В., Зеленевский Н.В.* Основные морфометрические показатели головного мозга хищных // Современные проблемы и перспективы исследований в анатомии и гистологии животных: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти профессора Д.Х. Нарзиева, 31 октября – 1 ноября 2019 г. – Витебск: ВГАВМ, 2019. – С. 28–30.
5. *Прусаков А.В., Зеленевский Н.В.* Архитектоника борозд большого мозга млекопитающих // Иппология и ветеринария. – 2020. – № 1 (35). – С. 81–83.
6. *Обухов Д.К., Пущина Е.В., Цехмистренко Т.А.* Эволюция конечного мозга млекопитающих // Современная нейробиология: фундаментальные исследования и практические аспекты: материалы конференции. – 2022. – С. 191–202. – DOI: 10.33184/snfipa-2022-10-19.21.
7. *Данилков Д.В., Шубина Т.П.* Развитие головного мозга у позвоночных // ОБЩЕСТВО – НАУКА – ИННОВАЦИИ: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2020. – С. 168–170.
8. *Юдичев Ю.Ф., Дегтярев В.В., Гончаров А.Г.* Анатомия животных: учеб. пособие. – Т. 2. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2013. – 406 с.
9. *Андреева Д.А.* Топография борозд головного мозга собаки домашней // Иностранные студенты – белорусской науке: мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. иностранных студентов и магистрантов, 20 апреля 2021 г. – Витебск: ВГАВМ, 2021. – С. 11–13.
10. *Кудрявцева Д.Е., Распутина О.В.* Анатомия головного мозга домашней кошки (Felis silvestris catus) // Теория и практика современной аграрной науки: сб. II Национальной (всероссийской) конференции, 26 февраля 2019 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. – С. 409–415.
11. *Кудрявцева Д.Е.* Анатомо-гистологическая характеристика головного мозга самок серебристо-черных лисиц // МНСК–2020: мат-лы 58-й Междунар. науч. студ. конф., 10–13 апреля 2020 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2020. – С. 38.
12. *Видовые* закономерности распределения борозд большого мозга у млекопитающих / А.В. Прусаков, Н.В. Зеленевский, М.В. Щипакин [и др.] // Морфология, 2020. – Т. 157, № 2–3. – С. 174–174.

13. *Распутина О.В., Кудрявцева Д.Е.* Сравнительная анатомия головного мозга домашней кошки (Felis silvestris catus) и серебристо-черной лисицы (Vulpes vulpes) // Иппология и ветеринария. – 2021. – № 2 (40). – С. 210–218.
14. *Щербович С.М.* Сравнительная анатомия некоторых извилин конечного мозга у лошадей и собак // Ветеринарная медицина в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых. – Витебск: ВГАВМ, 2021. – С. 160–162.
15. *Кудрявцева Д.Е., Распутина О.В., Трапезов О.В.* Анатомические особенности головного мозга американской норки (Neovison vison) ручного типа // Вопросы ветеринарной науки и практики: сборник трудов науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов факультета ветеринарной медицины Новосибирского государственного аграрного университета, 24 марта 2022 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. – С. 38–44.
16. *Кудрявцева Д.Е.* Анатомия головного мозга американской норки (Neovison vison) МНСК–2022: мат-лы 60-й Междунар. науч. студ. конф., Новосибирск, 10–20 апреля 2022 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2022. – С. 65.
17. *Кудрявцева Д.Е., Распутина О.В., Трапезов О.В.* Морфология головного мозга взрослых самок американской норки клеточного содержания // Кролиководство и звероводство. – 2023. – № 3. – С. 27–35. – DOI: 10.52178/00234885_2023_3_26.
18. *Neuroanatomy* of the Ferret Brain with Focus on the Cerebral Cortex / C. Kroenke, B.D. Mills, J. Olavarria [et al.] // Biology and Diseases of the Ferret: Third Edition. – 2014. – P. 69–80. – DOI: 10.1002/9781118782699.ch3.
19. *Morphology* investigation of the mink's brain (Mustela vison) / V. Milanović, V. Mrvić, V. Teodorović [et al.] // Acta Veterinaria (Beograd). – 2013. – Vol. 63, N 2–3. – P. 337–345. – DOI: 10.2298/AVB1303337M.
20. *Sawada K., Watanabe M.* Development of cerebral sulci and gyri in ferrets (Mustela putorius) // Congenital Anomalies. – 2012. – N 52. – P. 168–175. – DOI: 10.1111/j.1741-4520.2012.00372.x.
21. *Климов А.Ф., Акаевский А.И.* Анатомия домашних животных: учеб. – 8-е изд. – СПб.: Лань, 2022. – 1040 с.
22. *Прусаков А.В.* Морфология головного мозга хищных млекопитающих // Инновационные тенденции развития российской науки: мат-лы XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 10–11 апреля 2018 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2018. – С. 83–86.
23. *Анатомия* собаки и кошки / Б. Фольмерхаус, Й. Фревейн, В. Амзельгрубер [и др.]; пер. с нем. Е. Болдырева, И. Кравец. – М.: «Аквариум Бук», 2003. – 580 с.
24. *Sulci* of the canine brain: a review of terminology / K. Czeibert, P. Piotti, O. Petnehazy [et al.] // bioRxiv preprint. – 2018. – 34 p. – DOI: 10.1101/374744.

REFERENCES

1. Bogolepova I.N., Krotenkova M.V., Malofeeva L.I. i dr., *Arkhitektonika kory mozga cheloveka: MRT-atlas* (Architectonics of the human cerebral cortex: MRI atlas), Moscow: Izdatel'skii kholding «Atmosfera», 2010, 216 p.
2. Astapenko A.S., Sheremetova D.S., *Studenty - nauke i praktike APK* (Students - science and practice of agro-industrial complex), Proceedings of the 105th International Scientific and Practical Conference of Undergraduate and Graduate Students, May 20–21, 2020, Vitebsk: VGAVM, 2020, pp. 140–141. (In Russ.)
3. Prusakov A.V., Zelenevskii N.V., *Sovremennye problemy i perspektivy issledovanii v anatomii i gistologii zhivotnykh* (Modern problems and prospects of research in anatomy and histology of animals), Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Prof. D.H. Narziev, October 31 – November 1, 2019, Vitebsk: VGAVM, 2019, pp. 30–33. (In Russ.)
4. Prusakov A.V., Zelenevskii N.V., *Sovremennye problemy i perspektivy issledovanii v anatomii i gistologii zhivotnykh* (Modern problems and prospects of research in anatomy and histology of animals), Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Prof. D.H. Narziev, October 31 – November 1, 2019, Vitebsk: VGAVM, 2019, pp. 28–30. (In Russ.)
5. Prusakov A.V., Zelenevskii N.V., *Ippologiya i veterinariya*, 2020, No. 1 (35), pp. 81–83. (In Russ.)

6. Obukhov D.K., Pushchina E.V., Tsekhmistrenko T.A., *Sovremennaya neirobiologiya: fundamental'nye issledovaniya i prakticheskie aspekty* (Modern Neurobiology: fundamental research and practical aspects), Proceedings of the Conference, 2022, pp. 191–202, DOI: 10.33184/snfipa-2022-10-19.21. (In Russ.)
7. Danilkov D.V., Shubina T.P., *OBSHCHESTVO - NAUKA – INNOVATSII* (PUBLICITY – SCIENCE – INNOVATIONS), Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Ufa: OOO "OMEGA SAINS", 2020, pp. 168–170. (In Russ.)
8. Yudichev Yu.F., Degtyarev V.V., Goncharov A.G., *Anatomiya zhivotnykh* (Anatomy of animals), Orenburg: Izdatel'skii tsentr OGAU, 2013, 406 p.
9. Andreeva D.A., *Inostrannye studenty - belorusskoi nauke* (Foreign students - Belarusian science), Proceedings of the VI International scientific-practical conference of foreign students and graduate students, April 20, 2021, Vitebsk: VGAVM, 2021, pp. 11–13. (In Russ.)
10. Kudryavtseva D.E., Rasputina O.V., *Teoriya i praktika sovremennoi agrarnoi nauki* (Theory and practice of modern agrarian science), Collection of II National (All-Russian) Conference, February 26, 2019, Novosibirsk: ITs NGAU «Zolotoi kolos», 2019, pp. 409–415. (In Russ.)
11. Kudryavtseva D.E., *MNSK-2020* (ISSC-2020), Proceedings of the 58th International Scientific Student Conference, April 10-13, 2020, Novosibirsk: Novosibirskii natsional'nyi issledovatel'skii gosudarstvennyi universitet, 2020, pp. 38. (In Russ.)
12. Prusakov A.V., Zelenevskii N.V., Shchipakin M.V. i dr., *Morfologiya*, 2020, No. 2–3 (157), pp. 174–74. (In Russ.)
13. Rasputina O.V., Kudryavtseva D.E., *Ippologiya i veterinariya*, 2021, No. 2 (40), pp. 210–218. (In Russ.)
14. Shcherbovich S.M., *Veterinarnaya meditsina v XXI veke: rol' biotekhnologii i tsifrovykh tekhnologii* (Veterinary Medicine in the XXI century: the role of biotechnology and digital technologies), Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of students, undergraduates and young scientists, February 2, 2021, Vitebsk: VGAVM, 2021, pp. 160–162. (In Russ.)
15. Kudryavtseva D.E., Rasputina O.V., Trapezov O.V., *Voprosy veterinarnoi nauki i praktiki* (Issues of veterinary science and practice), Proceedings of the scientific and practical conference of teachers, graduate students, undergraduates and students of the Faculty of Veterinary Medicine, Novosibirsk State Agrarian University, March 24, 2022, Novosibirsk: ITs NGAU «Zolotoi kolos», 2022, pp. 38–44. (In Russ.)
16. Kudryavtseva D.E., *MNSK-2022* (ISSC-2022), Proceedings of the 60th International Scientific Student Conference, April 10-20, 2022, Novosibirsk: Novosibirskii natsional'nyi issledovatel'skii gosudarstvennyi universitet, 2022, pp. 65. (In Russ.)
17. Kudryavtseva D.E., Rasputina O.V., Trapezov O.V., *Krolikovodstvo i zverovodstvo*, 2023, No. 3, pp. 27–35, DOI: 10.52178/00234885_2023_3_26. (In Russ.)
18. Kroenke C., Mills B.D., Olavarria J. et al., Neuroanatomy of the Ferret Brain with Focus on the Cerebral Cortex, *Biology and Diseases of the Ferret: Third Edition*, 2014, pp. 69–80, DOI: 10.1002/9781118782699.ch3.
19. Milanović V., Mrvić V., Teodorović V. et al., Morphology investigation of the mink's brain (Mustela vison), *Acta Veterinaria (Beograd)*, 2013, Vol. 63, No. 2–3, pp. 337–345, DOI: 10.2298/AVB1303337M.
20. Sawada K., Watanabe M., Development of cerebral sulci and gyri in ferrets (Mustela putorius), *Congenital Anomalies*, 2012, No. 52, pp. 168–175, DOI: 10.1111/j.1741-4520.2012.00372.x.
21. Klimov A.F., Akaevskii A.I., *Anatomiya domashnikh zhivotnykh* (Anatomy of domestic animals), St. Petersburg: Lan', 2022, 1040 p.
22. Prusakov A.V., *Innovatsionnye tendentsii razvitiya rossiiskoi nauki* (Innovative trends in the development of Russian science), Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, April 10-11, 2018, Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2018, pp. 83–86. (In Russ.)
23. Fol'merkhaus B., Frevein I., Amzel'gruber V. i dr., *Anatomiya sobaki i koshki* (Anatomy of the dog and cat), Moscow: AKVARIUM BUK, 2003, 580 p.
24. Czeibert K., Piotti P., Petnehazy O. et al., Sulci of the canine brain: a review of terminology, *bioRxiv preprint*, 2018, 34 p, DOI: https://doi.org/10.1101/374744.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-229-234
УДК 636/639+598.261.7+579.676

О ВЛИЯНИИ МИКРОБИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА НА ЯЙЦЕНОСКОТЬ ПЕРЕПЕЛОК

И.О. Меньш, аспирант
Г.А. Ноздрин, доктор ветеринарных наук, профессор
Я.В. Новик, кандидат ветеринарных наук
Н.С. Яковлева, кандидат ветеринарных наук
А.В. Ухлова, старший преподаватель
Л.П. Ермакова, кандидат ветеринарных наук
Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: pharmgenpath@mail.ru

Ключевые слова*:* пробиотический препарат, Ветом, массонакопление, пробиотик, яйценоскость, японский перепел, Фараон, *Bacillus subtilis,* транзиторная бактерия, дозозависимый характер.

Реферат. *В экспериментальных условиях вивария на кафедре фармакологии и общей патологии Института ветеринарной медицины и биотехнологии Новосибирского ГАУ изучалось действие пробиотического препарата Ветом 1 на основе микроорганизма Bacillus subtilis штамма DSM 32424 с концентрацией активного компонента 10^6 КОЕ/г на яйценоскость японского перепела. Препарат применялся в дозах 50, 75 и 100 мг/кг живой массы тела. Птица содержалась в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях и прошла предварительный адаптационный карантин, в результате которого во всех подопытных группах регистрировалась доля яйцекладущих 0,30±0,14 (σ^2 =4,58). Под действием пробиотика Ветом 1 происходит увеличение доли яйцекладущих самок японского перепела, изменения имеют прямой дозозависимый характер на всем спектре доз. При применении изучаемого препарата происходит снижение уровня вариабельности показателя массы яиц у перепелов опытных групп в сравнении с высоковариабельными фоновыми показателями контрольной группы. Изменения имеют дозозависимый характер. Использование пробиотического препарата Ветом 1 снижает негативные факторы воздействия внешней среды (технологический стресс) на яйценоскость птиц, синхронизируя частоту яйцекладки у подопытной птицы при различных дозировках применения пробиотического препарата.*

ABOUT THE INFLUENCE OF A MICROBIAL PREPARATION ON THE EGG PRODUCTION OF QUAIL

I.O. Mensh, graduate student
G.A. Nozdrin, doctor of veterinary sciences, professor
JA.V. Novik, candidate of veterinary sciences
N.S. Yakovleva, candidate of veterinary sciences
A.V. Ukhlova, senior lecturer
L.P. Ermakova, candidate of veterinary sciences
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
E-mail: pharmgenpath@mail.ru

Keywords: probiotic preparation, vetom, mass accumulation, probiotic, egg production, Japanese quail, Pharaoh, Bacillus subtilis, transient bacterium, dose-dependent nature

Abstract. *In experimental conditions of the vivarium at the Department of Pharmacology and General Pathology of the Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology of Novosibirsk GAU the effect of the probiotic preparation Vetom 1 based on the microorganism Bacillus subtilis strain DSM 32424 with a concentration of the active component 106 CFU/g on egg production of Japanese quail was studied. The drug was applied in doses of 50, 75 and 100 mg/kg live body weight. The birds were kept in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments or Other Scientific Purposes [1] and underwent a preliminary adaptation quarantine, which resulted in an egg-laying rate of 0.30±014 (σ^2 =4.58) in all experimental*

(experimental and intact groups). Under the action of probiotic Vetom 1 there is an increase in the proportion of egg-laying females of Japanese quail, the changes have a direct dose-dependent character on the whole change of the dose spectrum. At application of the studied preparation there is a decrease in the level of variability of egg weight indicator in quails of experimental groups in comparison with statistically highly variable background indicators of the control group. The changes have a dose-dependent character. The use of probiotic preparation Vetom 1 reduces negative environmental factors (technological stress) impact on egg production of birds, synchronizing the frequency of egg-laying in experimental birds at different dosages of probiotic preparation application.

Развитие отечественной сельскохозяйственной отрасли в современном мире возможно при решении ряда проблем промышленного птицеводства: реализация генетического потенциала сельскохозяйственной птицы; профилактика заболеваний различной этиологии; обеспечение высокой сохранности; экологическая безопасность производства; получение высококачественной и безопасной для человека продукции; снижение уровня технологического стресса при выращивании птицы на предприятии. Для решения данных проблем в последнее время стали широко использовать препараты на основе спорообразующих бактерий [1].

В настоящее время бактерии из рода *Bacillus subtilis* являются наиболее перспективными для разработки пробиотических препаратов. Микрофлора составляет основу микроэкологического пейзажа кишечника сельскохозяйственных животных и птицы. В микробном сообществе зарегистрированы представители сотен бактериальных видов, без учета простейших, низших грибов, вирусов и бактериофагов, и общее число бактериальных клеток в кишечной микробиоте превышает в 10–100 раз количество клеток всех органов и тканей живого организма. К настоящему времени накоплено множество данных, свидетельствующих о важной роли микробиоты кишечника в жизненно важных процессах в организме животных и человека [2, 3].

Многими авторами выделяются несколько методов воздействия на микробное сообщество кишечника животных и человека – применение про-, пре- и симбиотиков [4]. Антибиотики из-за своего неспецифического действия не могут рассматриваться в качестве регуляторов микрофлоры кишечника, за исключением инфекционных заболеваний, вызванных патогенными бактериями. Применение пробиотических препаратов носит физиологический характер и стимулирует положительное влияние на продуктивные качества сельскохозяйственных животных и птицы [5–8].

Цель исследований – изучить влияние пробиотического препарата на яйценоскость самок японского перепела кросса Фараон.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в экспериментальных условиях вивария на кафедре фармакологии и общей патологии Института ветеринарной медицины и биотехнологии Новосибирского ГАУ. Обьект исследования – самки японского перепела кросса Фараон в возрасте 40 дней. Для реализации поставленной цели было сформировано 3 опытных и 1 контрольная группы из перепёлок породы кросса Фараон в возрасте 45 дней по 10 голов в каждой. Птица содержалась в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях, принятая 18 марта 1986 г. в г. Страсбурге, и прошла предварительный адаптационный карантин. Птице опытных групп задавали пробиотический препарат Ветом 1, содержащий не менее 10^6 КОЕ/г микроорганизма B. subtilis штамма DSM 32424, 1 раз в сутки в течение 7 сут.: 1-й опытной группе в дозе 50 мг/кг, 2-й опытной –75 мг/кг и 3-й опытной – 100 мг/кг. Интактная группа данный препарат не получала. Препарат задавали перорально вместе с водой в первой половине суток.

В течение всего эксперимента учитывали количество и массу снесённых в каждой группе яиц на весах Massa-K ВК-150.1 с точностью измерения 0,005 г.

Для обработки полученных данных использовалась программа Microsoft Excel. Описание данных по частоте овуляции в каждой группе производилось вычислением доли яйцекладущих перепёлок относительно поголовья клетки (p*), статистической ошибки доли (σ_p*) и

среднего квадратического отклонения доли (σ^2). Достоверность отличий доли между яйцекладущей птицей в разных группах проверялась χ^2-критерием Пирсона с поправкой Йейтса. Достоверность отличий доли овулирующей птицы внутри каждой группы по различным дням проверялась χ^2-критерием Пирсона с поправкой Йейтса [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

На начало эксперимента доля яйцекладущей птицы во всех опытных группах не имела отличий от аналогов из контрольной группы.

В 1-е сутки эксперимента в 1–3-й опытных группах доля яйцекладущей птицы была выше в 2; 2 и 3 ($P < 0,05$) раза, чем у аналогов из контрольной группы. На 2-е сутки эксперимента во 2-й и 3-й опытных группах она была выше в 1,5 и 2,5 раза, чем у аналогов из контрольной группы, а у птицы 1-й опытной группы не имела отличий от контроля. На 3-и сутки эксперимента во 2-й и 3-й опытных группах доля яйцекладущей птицы была выше на 33,33 и 33,33 %, чем у аналогов из контрольной группы, а у птицы 1-й опытной группы не отличалась от контроля. На 4-е сутки эксперимента в 1–3-й опытных группах доля яйцекладущей птицы была выше в 2,5; 1,5 и 2 раза, чем у аналогов из контрольной группы, на 5-е сутки эксперимента – на 33,33; 66,67 и 66,67 %, на 6-е сутки – на 16,67; 16,67 и 33,33 % соответственно. За весь период эксперимента доля яйцекладущей птицы в контрольной и 1–3-й опытных группах повысилась на 100,00; 133,33; 133,33 и 166,67 ($P<0,05$) % по сравнению с исходными данными. Действие изучаемого пробиотического препарата Ветом 1 на долю яйцекладущей птицы отражено в табл. 1.

Таблица 1

Динамика яйцекладки по группам, доли
Dynamics of egg laying by groups, shares

Время эксперемента	Контрольная		1-я опытная		2-я опытная		3-я опытная	
	p± σ_p	σ 2	p± σ_p	σ2	p± σ_p	σ2	p± σ_p	σ2
До опыта	0,30±0,14	4, 58	0,30±0,14	4,58	0,30±0,14	4,58	0,30±0,14	4,58
1-е сутки	0,20±0,13	4,00	0,40±0,15	4,90	0,40±0,15	4,90	0,60±0,15*	4,90
2-е сутки	0,20±0,13	4,00	0,20±0,13	3,00	0,30±0,14	4,58	0,50±0,16	5,00
3-и сутки	0,30±0,14	4,58	0,30±0,14	4,58	0,40±0,15	4,90	0,40±0,15	4,90
4-е сутки	0,20±0,13	4,00	0,50±0,16	5,00	0,30±0,14	4,58	0,40±0,15	4,90
5-е сутки	0,30±0,14	4,58	0,40±0,15	4,90	0,50±0,16	5,00	0,50±0,16	5,00
6-е сутки	0,60±0,15	4,90	0;70±0,14	4,58	0,70±0,14	4,58	0,80±0,13	4,00

Примечание. Здесь и далее: * $P<0,05$.

При применении наименьшей рекомендованной производителем дозы (50 мг/кг живой массы тела) после первоначального повышения кладки наблюдалось резкое понижение с последующим восстановлением и повышением относительно первоначального уровня, при дозе 75 мг/кг живой массы тела такого эффекта не наблюдали, а при увеличении дозы до 100 мг/кг происходит резкое повышение кладки уже с первых суток. При этом более высокие темпы кладки в опытных группах по сравнению с контролем наблюдаются на протяжении всего эксперимента.

Следовательно, применение пробиотического препарата Ветом 1 способствует повышению яйценоскости уже в первые сутки применения, стимулирует яйцекладущий потенциал у японских перепелов кросса Фараон.

Под действием изучаемого пробиотического препарата Ветом 1 изменялась абсолютная масса яйца у японского перепела (табл. 2). На начало эксперимента масса яйца у птицы 1–3-й опытных групп была выше на 32,23; 11,58 и 15,06 % соответственно по сравнению с аналогами из контрольной группы, однако ввиду крайне высокой вариабельности показателя в

контрольной группе отличия недостоверны. В 1-е сутки эксперимента масса яиц в 1–3-й опытных группах была выше на 26,88 ($P < 0,05$); 13,43 и 14,23 % соответственно, чем у аналогов из контрольной группы. В этот период вариабельность фонового показателя в контроле была крайне высокой, высокую вариабельность показателя абсолютной массы яиц регистрировали также во 2-й опытной группе.

На вторые сутки эксперимента масса яиц в 1–3-й опытных группах была выше на 2,89; 1,39 и 1,18 %, а на третьи сутки эксперимента ниже на 3,19; 6,51 и 7,37 % соответственно, чем у аналогов из контрольной группы. Вариабельность в контрольной группе в данный период эксперимента была высокой.

На четвёртые сутки эксперимента масса яиц в 1-й и 3-й опытных группах была ниже на 0,50 и 3,89 % соответственно, а у птицы 2-й опытной группы – выше на 1,35 %, чем у аналогов из контрольной группы. На 5-е сутки эксперимента масса яиц в 1-й опытной группе была выше на 0,82 %, а у птицы 2-й и 3-й опытных групп – ниже на 5,53 и 8,22 % соответственно, чем у аналогов из контрольной группы. В данный период высоковариабельными были показатели во 2-й и 3-й опытных группах.

На шестые сутки эксперимента масса яиц в 1-й и 2-й опытных группах была выше на 4,40 и 3,17 % соответственно, а у птицы 3-й опытной группы – ниже на 3,59 %, чем у аналогов из контрольной группы. При этом высокая вариабельность регистрировалась во всех подопытных (опытных и контрольной) группах.

За период эксперимента у перепелов контрольной и 1–3-й опытных групп абсолютная масса яиц повысилась на 26,94; 0,23; 17,37 и 6,37 % соответственно по сравнению с исходными данными. Таким образом, под действием изучаемого препарата происходит снижение уровня вариабельности массы яиц у перепелов опытных групп в сравнении с постоянно высоковариабельными фоновыми показателями контрольной группы.

Полученные данные обрабатывались с расчетом ранговых коэффициентов корреляции Спирмена для внутригрупповой характеристики корреляции между величиной общей кладки и массой яиц. В результате установлено, что кладка и абсолютная масса яиц у контрольных перепелок недостоверно коррелируют с коэффициентом корреляции 0,26, что соответствует недостоверной прямой слабой связи. У перепелок 1-й опытной группы – схожий результат, недостоверный коэффициент корреляции 0,28. Однако у перепелов 2-й и 3-й опытных групп регистрировали коэффициенты корреляции 0,66 ($P < 0,05$) и 0,63 ($P < 0,05$), что соответствует прямым средней напряженности связям. Это свидетельствует о том, что в условиях применения пробиотического препарата Ветом 1 в дозах 75 и 100 мг/кг происходит устранение негативных факторов воздействия на процесс яйцекладки японского перепела кросса Фараон, синхронизируются показатели массонакопления яиц и частоту их кладки.

Таблица 2

Динамика массы яиц японского перепела кросса Фараон под воздействием препарата Ветом 1
Dynamics of egg mass of Japanese quail cross Pharaoh under the influence of the drug Vetom 1

Сутки	Контрольная			1-я опытная			2-я опытная			3-я опытная		
	Me±me	IQR	*Cv*, %	Me±me	IQR	*Cv*, %	Me±me	IQR	*Cv*, %	Me±me	IQR	*Cv*, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
До опыта	11,93 ± 1,09	1,68	17,01	11,13 ± .0,68	1,00	9,24	11,08 ± 0,26	0,43	3,96	11,43 ± 0,52	0,82	8,05
1-е	10,59 ± 2,98	2,91	38,89	13,44 ± 0,59 *	0,64	8,86	12,02 ± 0,92	1,70	14,14	12,10 ± 0,43	1,22	8,52
2-е	12,04 ± 0,94	0,92	10,78	12,39 ± 0,17	0,17	1,88	12,21 ± 0,34	0,51	4,65	12,18 ± 0,68 1	2,02	12,08
3-и	12,99 ± 0,81	1,30	11,02	12,58 ± 0,39	0,65	5,33	12,15 ± 0,51	1,27	8,15	12,03 ± 0,46	0,67	7,54

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4-е	12,41 ± 0,76	0,75	8,52	12,35 ± 0,29	0,43	5,10	12,58 ± 0,53	0,83	7,44	11,93 ± 0,60	1,36	9,83
5-е	13,39 ± 0,84	1,42	10,70	13,50 ± 0,20	0,56	2,89	12,65 ± 1,91	2,02	34,01	12,29 ± 0,64	1,54	11,30
6-е	12,61 ± 0,61	2,13	11,39	13,16 ± 0,88	1,41	18,33	13,01 ± 0,84	2,64	18,11	12,15 ± 0,70	2,94	15,76

Таким образом, под действием пробиотика Ветом 1 происходит увеличение доли яйцекладущих самок японского перепела, изменения имеют прямой дозозависимый характер на всем изменении спектра доз. При применении изучаемого пробиотического препарата стабилизируется абсолютная масса яйца с понижением числа атипичных выбросов.

Полученными нами результаты согласуются с результатами исследования M.S. Mazanko et al. [10], в котором введение в рацион кур-несушек пробиотической добавки, содержащей штамм *B. subtilis* KATMIRA1933 (10^7 – 10^9 КОЕ/г пробиотического микробиального препарата), приводило к повышению яйценоскости предположительно, в силу того обстоятельства, что исследуемый микроорганизм способен продуцировать большое количество литических ферментов и метаболитов, обладающих антиоксидантными и ДНК-протективными свойствами.

Исследование J.L. Zhang et al. [11], подтвердило, что в группе кур-несушек, которым дополнительно к базовому рациону задавали пробиотик, сочетающий в себе транзиторные микроорганизмы *B. subtilis* и *L. salivarius*, было зафиксировано статистически значимое (4,7 %, $P < 0,05$) увеличение суточной яйценоскости по сравнению с птицей, рацион которой не был обогащен микроорганизмами.

Многими авторами продемонстрирована эффективность бактерий рода *Bacillus* в сочетании с другими лакто- или бифидо-микроорганизмами. Так, в исследовании V. Kurtoglu et al. [12] было установлено, что после применения комбинации *B. subtilis* ($3,2×10^9$/г вещества) и *B. licheniformis* ($3,2×10^9$/г вещества) 27-недельным несушкам в течение 90 дней их яйценоскость была на 2–3 % выше, нежели у аналогов из контрольной группы [16].

ВЫВОДЫ

1. При экспериментальном применении пробиотического препарата Ветом 1 происходило увеличение частоты яйцекладки у самок японского перепела кросса Фараон. Эффект имеет прямой дозозависимый характер в интервале доз от 50 до 100 мг/кг живой массы тела.
2. Пробиотический препарат Ветом 1 нормализует показатель массонакопления яиц японского перепела. Этот эффект также имеет прямой дозозависимый характер в интервале доз от 50 до 100 мг/кг живой массы тела.
3. При применении препарата Ветом 1 в дозах 75 и 100 мг/кг происходит устранение негативных факторов воздействия (технологического стресса) на яйцекладущий потенциал перепела кросса Фараон, синхронизируются показатели массонакопления яиц и частота их кладки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Использование Bacillus subtilis* в качестве носителя оральной вакцины против *Streptococcus suis* / В.Н. Афонюшкин [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 52, № 6. – С. 78–84.
2. *Лысенко Ю.А.* Влияние пробиотиков на мясную и яичную продуктивность перепелов // Труды КубГАУ. – 2012. –№ 5 (38). – С. 145–148.
3. *Ветом 1*. Фармакотоксикологические исследования / Г.А. Ноздрин, А.И. Леляк, А.А. Леляк, А.Г. Ноздрин. – Новосибирск: Новосиб. ГАУ, 2022. – С. 134–156

4. *Жолобова И.С., Лунева А.В., Лысенко Ю.А.* Мясная продуктивность и качество мяса перепелов после применения натрия гипохлорита // Труды КубГАУ. – 2013. – № 1 (41). – С. 146–150.
5. *Кощаев А.Г.* Улучшение потребительской ценности продукции птицеводства // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 2. – С. 34–38.
6. *Selection* and use of quail is depending from their sexual activity / B.M. Makhatov, V.I. Abrikosova, M.K. Baibatshanov [et al.] // Наука и Мир. – 2015. – Т. 1, № 10 (26). – С. 110–112.
7. *Hematological* Blood Indexes of Various Age Sport Horses at Use of Pro-Biotic Medicine Vetom 3.22 / G.A. Nozdrin; E.A. Didenko, A.I. Lelyak, A.A. Lelyak, Z.V. Andreeva // Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2015. – Vol. 14 (13–24). – P. 339–406.
8. *Ноздрин Г.А., Иванова А.Б., Ноздрин А.Г.* Теоретические и практические основы применения пробиотиков на основе бацилл в ветеринарии // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2011. – № 5 (21). – С. 87–95.
9. *Лукьянова Е.А.* Медицинская статистика: учеб. пособие. – 2-е изд. испр. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 246 с.
10. *Bacillus* probiotic supplementations improve laying performance, egg quality, hatching of laying hens, and sperm quality of roosters / M.S. Mazanko [et al.] // Probiotics and Antimicrobial Proteins. – 2018. – T. 10, N 2. – P. 367–373.
11. *Zhang Z.F., Kim I.H.* Effects of multistrain probiotics on growth performance, apparent ileal nutrient digestibility, blood characteristics, cecal microbial shedding, and excreta odor contents in broilers // Poultry science. – 2014. – T. 93, N 2. – P. 364–370.
12. *Effect* of probiotic supplementation on laying hen diets on yield performance and serum and egg yolk cholesterol / V. Kurtoglu [et al.] // Food Additives and Contaminants. – 2004. – T. 21, N 9. – P. 817–823.

REFERENCES

1. Afonyushkin V.N. [i dr.], *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2023, T. 52, No. 6, pp. 78–84. (In Russ.)
2. Lysenko YU.A., *Trudy KubGAU*, 2012, No. 5 (38), pp. 145–148. (In Russ.)
3. Nozdrin G.A., Lelyak A.I., Lelyak A.A., Nozdrin A.G., *Vetom 1. Farmakotoksikologicheskie issledovaniya* (Vetom 1. Pharmaco Toxicological studies), Novosibirsk: Novosibirskij GAU, 2022, pp. 134–156
4. ZHolobova I.S., Luneva A.V., Lysenko YU.A., *Trudy KubGAU,* 2013, No. 1 (41), pp. 146–150. (In Russ.)
5. *Koshchaev* A.G., *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya*, 2007, No. 2, pp. 34–38. (In Russ.)
6. Makhatov B.M., Abrikosova V.I., Baibatshanov M.K., Omarov M.M., Beissenbayeva M.T., *Nauka i Mir*, 2015, T. 1, No. 10 (26), pp. 110–112. (In Russ.)
7. Nozdrin G.A., Didenko E.A., Lelyak A.I. [et al.], Hematological Blood Indexes of Various Age Sport Horses at Use of Pro-Biotic Medicine Vetom 3.22, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2015, Vol. 14 (13–24), pp. 339–406.
8. Nozdrin G.A., Ivanova A.B., Nozdrin A.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2011, No. 5 (21), pp. 87–95. (In Russ.)
9. Luk'yanova E.A., *Medicinskaya statistika* (Medical statistics), Moscow: Izd-vo RUDN, 2003, 246 p.
10. Mazanko M.S. [et al.], Bacillus probiotic supplementations improve laying performance, egg quality, hatching of laying hens, and sperm quality of roosters, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2018, T. 10, No. 2, pp. 367–373.
11. Zhang Z.F., Kim I.H., Effects of multistrain probiotics on growth performance, apparent ileal nutrient digestibility, blood characteristics, cecal microbial shedding, and excreta odor contents in broilers, *Poultry science*, 2014, T. 93, No. 2, pp. 364–370.
12. Kurtoglu V. [et al.], Effect of probiotic supplementation on laying hen diets on yield performance and serum and egg yolk cholesterol, *Food Additives and Contaminants*, 2004, T. 21, No. 9, pp. 817–823.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-235-241
УДК 597.553.2.083.3

ВЛИЯНИЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРА РОНКОЛЕЙКИН НА НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО ИММУНИТЕТА АРКТИЧЕСКОГО ГОЛЬЦА

[1]**Д.В. Микряков,** кандидат биологических наук
[2]**Т.А. Нечаева,** доктор сельскохозяйственных наук
[1]**Т.А. Суворова,** научный сотрудник
[1]**С.В. Кузьмичева,** научный сотрудник
[3]**Г.И. Пронина**, доктор биологических наук
[4]**В.А. Назаров**, главный рыбовод
[4]**М.И. Ковальчук,** рыбовод
[1]Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок Ярославской обл., Россия
[2]Санкт-Петербургский аграрный государственный университет, Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия
[3]РГАУ – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[4]ИП Романов, д. Лопухинка Ленинградской обл., Россия
E-mail: daniil@ibiw.ru

Ключевые слова: арктический голец *Salvelinus alpinus*, препарат Ронколейкин, неспецифический иммунитет, антимикробные свойства сыворотки крови, С-реактивный белок, неспецифические иммунные комплексы, фагоцитарная активность нейтрофилов.

Реферат. *Охрана здоровья культивируемых в аквакультуре гидробионтов сталкивается с проблемой коррекции иммунодефицитных состояний различного генеза. С иммуносупрессией связано развитие оппортунистических инфекций. Помимо этого, иммунофизиологический статус выращиваемых рыб напрямую связан с рыбоводными и, как следствие, экономическими показателями предприятий аквакультуры. Использование в аквакультуре иммунокорректирующих препаратов – один из новых эффективных методов борьбы с заболеваниями рыб. Один из таких препаратов – Ронколейкин (рекомбинантный интерлейкин-2), обеспечивающий клеточную составляющую адаптивного иммунитета. При его применении в рыбоводстве получены положительные результаты на осетровых, карповых и молоди лососевых рыб. В 2023 г. в холодноводном бассейновом хозяйстве ИП Романов (Ленинградская область) на трехгодовиках арктического гольца Salvelinus alpinus (Linnaeus, 1758) была проведена оценка влияния препарата Ронколейкин на показатели неспецифического иммунитета. В результате эксперимента исследованы параметры, характеризующие напряженность антиинфекционного иммунитета рыб – бактерицидная активность сыворотки крови, уровень С-реактивного белка, содержание циркулирующих неспецифических иммунных комплексов и фагоцитарная активность нейтрофилов. Проведенное исследование показало высокий уровень бактерицидной активности сыворотки крови у контрольных и опытных рыб и, как следствие, отсутствие иммунодефицитных особей. Высокий показатель фагоцитарной активности нейтрофилов у арктического гольца, получавшего с кормом Ронколейкин, указывает на стимулирующее влияние данного препарата на механизмы клеточного иммунитета. Это косвенно подтверждает более высокое содержание иммунных комплексов и количество особей с положительным уровнем С-реактивного белка в группе опытных рыб.*

EFFECT OF IMMUNOMODULATOR RONCOLEUKIN ON SOME INDICES OF NONSPECIFIC IMMUNITY OF ARCTIC CHAR

[1]**D.V. Mikryakov,** ph. D. biol. sciences
[2]**T.A. Nechaeva,** doctor of Agricultural Sciences
[1]**T.A. Suvorova,** researcher
[1]**S.V. Kuzmicheva, r**esearcher
[3]**G.Y. Pronina,** doctor of Biol. Sci.
[4]**V.A. Nazarov,** chief fish farmer
[4]**M.I. Kovalchuk,** fish farmer

[1]*Institute for Biology of Inland Waters. I.D. Papanin RAS, Borok, Russia*
[2]*St. Petersburg Agrarian State University, St. Petersburg, Pushkin, Russia*
[3]*RGAU - Moscow Agricultural Academy. K. A. Timiryazeva, Moscow, Russia*
[4]*IP Romanov, village Lopukhinka, Leningrad region, Russia*
E-mail: daniil@ibiw.ru

Keywords: arctic char Salvelinus alpinus, drug Roncoleukin, nonspecific immunity, antimicrobial properties of blood serum, C-reactive protein, nonspecific immune complexes, phagocytic activity of neutrophils.

Abstract. *Health protection of aquacultured hydrobionts faces the problem of correcting immunodeficiency states of various genesis. Immunosuppression is associated with the development of opportunistic infections. In addition, the immuno-physiological status of farmed fish is directly related to fish production and, consequently, to the economic performance of aquaculture enterprises. The use of immune-correcting drugs in aquaculture is one of the new effective methods of controlling fish diseases. One such drug is Roncoleukin (recombinant interleukin-2), which provides the cellular component of adaptive immunity. Its use in fish farming has yielded positive results in sturgeon, carp and young salmon fish. In 2023 in the cold-water basin farm of IE Romanov (Leningrad Region) on three-year old Arctic char Salvelinus alpinus (Linnaeus, 1758) the effect of the preparation "Roncoleukin" on the indices of nonspecific immunity was evaluated. As a result of the experiment, the parameters characterizing the intensity of anti-infective immunity of fish - bactericidal activity of blood serum, the level of C-reactive protein, the content of circulating nonspecific immune complexes and phagocytic activity of neutrophils - were studied. The study showed a high level of bactericidal activity of blood serum in control and experimental fish and, as a consequence, the absence of immunodeficient individuals. The high index of neutrophil phagocytic activity in Arctic char fed Ronkoleikin indicates the stimulating effect of this drug on the mechanisms of cellular immunity. This indirectly confirms the higher content of immune complexes and the number of individuals with a positive level of C-reactive protein in the group of experimental fish.*

В условиях постоянного сокращения уловов и повышения спроса аквакультура – единственный надежный источник увеличения объемов пищевой рыбопродукции, который служит гарантом продовольственной безопасности России [1, 2]. За последние годы значительно выросло воспроизводство и выращивание лососевых рыб. Это связано с увеличением спроса, высокой рентабельностью, сокращением запасов в естественных водоемах.

Арктический голец (*Salvelinus alpinus*, L. 1758) относится к ценным видам лососевых рыб [3]. Особенностями этого вида являются образование жилых и проходных форм, нерест в озерах. Численность многих форм и популяций в природе невелика [4], отсюда возникла необходимость искусственного воспроизводства различных форм гольца для восполнения естественных популяций. Кроме того, успешное разведение данного вида в странах Скандинавии открывает аналогичные возможности для Северо-Западного региона России. Высокая экологическая пластичность помогает при адаптации в новой среде обитания, что улучшает перспективы разведения различных форм арктического гольца в условиях рыбоводных хозяйств и проведения селекции [5].

Из практики развития рыбоводства известно, что серьезной проблемой при интенсивном выращивании и воспроизводстве рыб становятся инфекционные болезни, вызывающие снижение темпов роста, развития и массовую гибель рыб [6–8]. Основной причиной массовых заболеваний считается ухудшение среды обитания вследствие нарушения термического и газового режимов, загрязнения воды токсикантами, дефицита кислорода, переуплотненных посадок [8], кормления рыб недоброкачественными кормами [9, 6, 10, 11]. Нарушение экологических условий, оказывающих стрессирующее влияние на рыб, приводит к ослаблению защитных систем организма и последующей циркуляции в хозяйствах патогенных и условно-патогенных микроорганизмов с повышенной резистентностью к антибиотикам и химиотерапевтическим препаратам. Поэтому важное прикладное значение имеет совершенствование существующих и создание новых способов лечения объектов аквакультуры. Перспективное направление развития неспецифической иммунотерапии (иммунопрофилактики) болезней рыб – использование иммуностимуляторов. Ранее, в ходе проведённых на карпе *Cyprinus carpio* (L. 1758) исследований, было установлено, что

химические соединения, положительно влияющие на процессы иммунитета у человека, могут оказывать сходное, хотя и достаточно слабое, влияние на рыб [12]. Рекомбинантный интерлейкин-2 (далее – Ронколейкин) – структурный и функциональный аналог эндогенного IL-2, основного компонента цитокитоновой сети. Главная функция IL-2 состоит в обеспечении клеточной составляющей адаптивного иммунитета. Ронколейкин обладает аналогичной функциональной активностью и способен восполнять дефицит интерлейкина-2. Использование данного препарата показало положительный эффект в осетровых и карповых рыбоводных хозяйствах [13, 14].

Цель работы – исследование влияния препарата для ветеринарного применения Ронколейкин на некоторые показатели неспецифического иммунитета арктического гольца.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в условиях рыбоводного хозяйства ИП Романов (Ленинградская область, Ломоносовский район). Объект исследования – половозрелые особи арктического гольца средней массой 2,80 кг и длиной 49,4 см. Рыб содержали в бассейнах выростного цеха. Гольцов кормили полноценным продукционным кормом для рыб фирмы AKIMA (Россия, Кабардино-Балкария) с размером гранул 4 мм. Схема опыта представлена в табл. 1. Всего было исследовано 14 особей.

Препарат Ронколейкин вводили перорально в качестве кормовой добавки в дозе 4000 МЕ на 1 кг ихтиомассы курсом 3 дня в первое кормление. Было проведено последовательно три курса профилактического кормления, перерыв между курсами – 10 дней. Продолжительность опыта составила 2 мес. (60 дней). Отбор проб проводили в конце эксперимента.

Торговое наименование лекарственного препарата Ронколейкин® (Roncoleukin®). Возможно использование для инъекций, перорального, интраназального и наружного применения. В составе рекомбинантный интерлейкин-2 (ИЛ-2) человека, выделенный из клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и вспомогательные вещества: додецилсульфат натрия (ДСН), D-маннит, дитиотреитол (ДТТ), аммоний углекислый кислый, вода для инъекций.

Таблица 1

Схема опыта
Experiment cheme

Группа	Количество рыб в бассейне	Доза препарата	Время отбора проб	Исследуемые показатели в сыворотке крови	Количество проб
Контрольная	300	0	В конце эксперимента	Уровень бактерицидной активности и С- реактивного белка, содержание неспецифических иммунных комплексов и степень фагоцитарной активности нейтрофилов	7
Опытная	300	4000 МЕ / 1 кг ихтиомассы	В конце эксперимента		7

Пробы из каждой группы рыб отбирали случайным образом. У выловленных гольцов прижизненно отбирали кровь из хвостовой вены в сухую стерильную пробирку. Пробирку с кровью выдерживали 1 ч при комнатной температуре, а потом 1 сут в холодильнике до свертывания. Полученную сыворотку шприцем переносили в пробирку Эппендорфа. Пробы транспортировали в специальных термоконтейнерах в лабораторию. В сыворотке крови исследовали бактериостатическую активность (БАСК), долю иммунодефицитных (ИМД) особей, содержание неспецифических иммунных комплексов (ИК), уровень С-реактивного белка (СРБ).

БАСК оценивали нефелометрическим методом в модификации Микрякова (1984). По уровню БАСК определяли долю иммунореактивных и иммунодефицитных особей. У последних активность сыворотки крови не подавляла развитие тест-микробов *Aeromonas hydrophila*. Уровень СРБ определяли визуально по реакции

агглютинации латекс-реагента с сывороткой крови, используя набор реагентов СРБ-Ольвекс. Содержание ИК устанавливали спектрофотометрически при длине волны 450 нм методом селективной преципитации с 4%-м полиэтиленгликолем молекулярной массой 6000, как рекомендовано ранее [15]. Спектрофотометрические исследования проводили с помощью фотоэлектрического фотометра КФК-3 Загорского оптико-механического завода.

Во время отбора крови делали мазки для определения фагоцитарной активности (ФА) нейтрофилов. Сначала их фиксировали в 5%-м растворе сульфосалициловой кислоты в течение 60–90 с, потом промывали дистиллированной водой и высушивали. Окрашивание проводили в течение 1–2 мин 0,1%-м раствором бромфенолового синего в боратном буфере. Далее трижды промывали 0,05 М раствором боратного буфера по 1–3 мин. На следующем этапе докрашивали ядра 1%-м раствором сафранина в течение 30–60 с.

ФА определяли по содержанию неферментного катионного белка в лизосомах нейтрофилов периферической крови цитохимическим методом с бромфеноловым синим [16], адаптированным для гидробионтов. Микроскопическое исследование мазков производили под цифровым микроскопом Optika DM-15 (×600), просматривая по 100 клеток в каждом мазке. Степень фагоцитарной активности нейтрофилов крови оценивали по количеству гранул в цитоплазме. Исследованные клетки по степени активности делили на 4 группы (0−3 балла): 0 – гранулы катионного белка отсутствуют; 1 – единичные гранулы; 2 – гранулы занимают примерно 1/4 цитоплазмы; 3 – гранулы занимают более 1/4 цитоплазмы. В каждом мазке рассчитывали средний цитохимический коэффициент лизосомального катионного белка.

Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ Statistica V6.0, с использованием t-теста. Различия считали значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов показал различия между опытными и контрольными группами арктического гольца (табл. 2). По показателям неспецифического гуморального иммунитета значимых отличий не зафиксировано. У опытных рыб отмечен более низкий уровень БАСК, высокое содержание ИК и большое количество особей с положительным уровнем СРБ. В обеих группах отсутствуют ИМД особи. Достоверные отличия между исследуемыми группами гольцов обнаружены по показателю клеточного иммунитета – ФА нейтрофилов.

Таблица 2

Иммунологические показатели сыворотки крови
Immunological parameters of blood serum

Группа	БАСК, %	ИМД особи, %	ИК, усл. ед.	СРБ, мг/л	ФА нейтрофилов, ед.
Контрольная	63,93±2,39	0	2,74±1,11	Отрицательный уровень более чем у 90 % особей	1,27±0,03
Опытная	60,27±2,23	0	12,08±5,03	60 % - отрицательный уровень, 40 % - положительный	1,66±0,02*

* Значимые различия между контрольной и опытной группами рыб при $p \leq 0,05$.

Известно, что к врожденным факторам гуморального иммунитета относят систему комплемента, лизоцим, иммуноглобулины, противомикробные пептиды, лектины, преципитины, ß-лизин, пропердин, дефензин и др. [17–23]. О функциональном состоянии этих факторов судят по показателю БАСК. Проведенное на гольцах исследование показало высокий уровень БАСК (60 % и более) как у контрольных, так и у опытных рыб, что обусловило отсутствие иммунодефицитных особей. Это свидетельствует об удовлетворительных условиях

содержания гольцов и отсутствии факторов, способных значительно влиять на исследуемый показатель.

СРБ – белок острой фазы, один из наиболее чувствительных маркеров тканевого повреждения, воспаления и инфекционного заражения. Исследование его уровня показало отличия между различными группами гольца. Отрицательный уровень СРБ (менее 6 мг/л) зафиксирован у большинства контрольных рыб, тогда как в опытной группе у 40 % особей отмечен положительный уровень СРБ (более 6 мг/л). Этот компонент гуморального врождённого иммунитета способен распознавать возбудителей инфекций и инициировать их поглощение фагоцитами [24, 25], обеспечивая связь между врождённой и адаптивной иммунной системами [26]. В сыворотке здорового организма СРБ практически отсутствует. При повреждении тканей организма, инфекционных и паразитарных заболеваниях его уровень быстро и значительно увеличивается. Низкое содержание СРБ у большинства контрольных и опытных рыб, вероятно, связано с отсутствием воспалительных процессов и с высоким уровнем БАСК.

Исследованиями содержания ИК установлены более высокие показатели у опытной группы гольцов. Известно, что образование этих комплексов происходит с помощью системы комплемента в ответ на попадание в организм антигенов и образование аутоантигенами. С помощью ИК в организме регулируется интенсивность иммунного ответа, выведение ксенобиотиков из организма и поддержание иммунологического и биохимического гомеостаза. Увеличение скорости образования ИК в организме наблюдают при высоком уровне накопления чужеродных тел, что приводит к снижению функциональной активности клеток фагоцитарной системы [27, 21].

Показано, что у высших позвоночных интерлейкин-2 стимулирует клеточное звено иммунитета, активируя неспецифическую цитотоксическую активность [19]. Он воздействует на Т-лимфоциты, усиливая их пролиферацию. Механизм действия IL-2 направленно влияет на рост, дифференцировку и активацию Т- и В-лимфоцитов, моноцитов, макрофагов, олигодендроглиальных клеток, эпидермальных клеток Лангерганса. От его присутствия зависит развитие цитолитической активности натуральных киллеров и цитотоксических Т-лимфоцитов. Расширение спектра лизирующего действия эффекторных клеток обусловливает элиминацию разнообразных патогенных микроорганизмов, инфицированных и малигнизированных клеток, что обеспечивает иммунную защиту, направленную против роста опухолевых клеток, вирусных, бактериальных и грибковых инфекций. Обнаруженное увеличение фагоцитарной активности нейтрофилов у опытной группы гольцов указывает на стимулирующее действие препарата Ронколейкин на клеточное звено иммунной системы рыб. Зафиксированные более высокие показатели ИК и положительный уровень СРБ в опытной группе косвенно подтверждают активацию механизмов клеточного иммунитета.

ВЫВОДЫ

1. Ронколейкин оказал стимулирующее влияние на фагоцитарную активность нейтрофилов арктического гольца. Показатели неспецифического гуморального звена иммунитета косвенно подтверждают положительное влияние данного препарата на активацию механизмов клеточного иммунитета.

2. Целесообразны дальнейшие исследования влияния препарата Ронколейкин на механизмы иммунной системы рыб для совершенствования методов профилактики и лечения инфекционных болезней в аквакультуре.

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ (проект № 22-26-20111).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Александров С.Н.* Садковое рыбоводство. – М.: Сталкер, 2005. – 270 с.
2. *Богерук А.К.* Аквакультура России: история и современность // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 14–18.
3. *Атлас* пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Наука, 2002. – 379 с.

4. *Рыбы* в заповедниках России: в 2 т. / под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Т-во науч. изданий КМК, 2010. – Т. 1. – 627 с.
5. *Арктический* голец (*Salvelinus alpinus* L.) – перспективный объект для аквакультуры Севера России / В.М. Голод, В.Я. Никандров, А.А. Павлисов [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 3 (31). – С. 137–143. – DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-137-143.
6. *Ихтиопатология* / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин [и др.]; под ред. Н.А. Головиной, О.Н. Бауера. – М.: Мир, 2003. – 448 с.
7. *Грищенко Л.И., Акбаев М.Ш., Васильков Г.В.* Болезни рыб с основами рыбоводства: учебник. – М.: Колос, 2013. – 479 с.
8. *Schaperclaus W.* Fischkrankheiten. – Berlin: Academic-Verlag., 1979. – Vol. 1. – 510 p.
9. *Остроумова И.Н.* Биологические основы кормления рыб. – СПб.: ГОНИОРХ, 2001. – 372 с.
10. *Бурлаченко И.В.* Теоретические и прикладные аспекты повышения резистентности осетровых рыб в аквакультуре: автореф. дис. … д-ра биол. наук. – М., 2007. – 319 с.
11. *Щербина М.А., Гамыгин Е.А.* Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. – М.: Сельскохозяйственные технологии, 2015. – 292 с.
12. *Гаврилин К.В., Суворова Т.А., Пономарев А.К.* Оценка возможности применения медицинских препаратов, стимулирующих метаболические процессы, для коррекции стрессовых нагрузок и ускорения регенерации тканей рыб // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 162. – С. 145–149.
13. *Нечаева Т.А., Островский М.В.* Эффективность применения рекомбинантного интерлейкина-2 (Ронколейкин) в форелеводстве // Международный вестник ветеринарии. – 2009. – № 3. – С. 43–49.
14. *Вплив* препарату ронколейкін на організм коропа / Г.О. Сич, І.П. Гаврилова, К.О. Сахарова [і др.] // Рибогосподарска наука України. – 2009. – № 3. – С. 98–101.
15. *Гриневич Ю.А., Алферов А.Н.* Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. – 1981. – № 8. – С. 493–496.
16. *Шубич М.Г.* Выявление катионного белка в цитоплазме лейкоцитов с помощью бромфенолового синего // Цитология. – 1974. – № 10. – С. 1321–1322.
17. *Микряков В.Р.* Закономерности функционирования иммунной системы пресноводных рыб: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1984. – 37 с.
18. *Микряков В.Р.* Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. – Рыбинск: Изд-во ИБВВ РАН, 1991. – 153 с.
19. *Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д.* Иммунология. – М.: Мир, 2000. – 592 с.
20. *Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van der Wal B.* The immune system of fish. // Fish Diseases and Disorders. – 2006. – Vol. 1. – P. 678–701.
21. *Койхо Р., Саншайн Д., Бенджамини Э.* Иммунология. – М.: Академия, 2008. – 368 с.
22. *Van der Marel M.C.* Carp mucus and its role in mucosal defense: PhD Thesis. – Wageningen University. The Netherlands, 2012. – 189 p.
23. *Ontogeny* and modulation after PAMPs stimulation of β-defensin, hepcidin, and piscidin antimicrobial peptides in meagre (Argyrosomusregius) / C. Campoverde, D.J. Milne, A. Estévez [et al.] // *Fish Shellfish Immun.* – 2017. – Vol. 69. – P. 200–210.
24. *Anintegrated* view of humoral innate immunity: pentraxins as a paradigm / B. Bottazzi, A. Doni, C. Garlanda, A. Mantovani // Ann. Rev. Immun. – 2010. – Vol. 28. – P. 157–183.
25. *Phylogeny* and expression analysis of C-reactive protein (CRP) and serum amyloid-P (SAP) like genes reveal two distinct groups in fish / P.T. Lee, S. Bird, J. Zou, S.A.M. Martin // Fish & Shellfish Immunology. – 2017. – Vol. 65. – P. 42–51.
26. *Назаров П.Г.* Пентраксины в реакциях врождённого и приобретённого иммунитета, организации матрикса, фертильности // Медицинский академический журнал. – 2010. – Т. 10, № 4. – С. 107–124.
27. *Логинов С.И., Смирнов П.Н., Трунов А.Н.* Иммунные комплексы у животных и человека: норма и патология. – Новосибирск: РАСХН Сиб. отд-ние. ИЭВСиДВ, 1999. – 144 с.

REFERENCES

1. Aleksandrov S.N., *Sadkovoe rybovodstvo* (Cage fish farming), Moscow: Stalker, 2005, 270 p.
2. Bogeruk A.K., *Rybnoe khozyaistvo*, 2005, No. 4, pp. 14–18. (In Russ.)
3. *Atlas presnovodnyh ryb Rossii* (Atlas of Russian Freshwater Fishes), Moscow: Nauka, 2002, 379 p.

4. *Ryby v zapovednikakh Rossii* (Fish in Russian nature reserves), Ed. Yu.S. Reshetnikova, Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, Vol. 1, 627 p.
5. Golod V.M., Nikandrov V.Ya., Pavlisov A.A., Shindavina N.I., Lukin A.A., Lipatova M.I., *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2018, No. 3 (31), pp. 137–143. (In Russ.)
6. Golovina N.A., Strelkov Yu.A., Voronin V.N., Golovin P.P., Evdokimova E.B., Yukhimenko L.N., *Ikhtiopatologiya* (Ichthyopathology), Moscow: Mir, 2003, 448 p.
7. Grishchenko L.I. Akbaev M.Sh., *Bolezni ryb s osnovami rybovodstva* (Fish diseases with basics of fish farming), Moscow: Kolos, 2013, 479 p.
8. Schaperclaus W., *Fischkrankheiten*, Berlin: Academic-Verlag., 1979, Vol. 1, 510 p.
9. Ostroumova I.N., *Biologicheskie osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), Saint Petersburg: GONIORH, 2001, 372 p.
10. Burlachenko I.V., *Teoreticheskie i prikladnye aspekty povysheniya rezistentnosti osetrovykh ryb v akvakul'ture* (Theoretical and applied aspects of increasing the resistance of sturgeon fish in aquaculture), abstract dis. ... Doctors of Biology sciences, 2007, 319 p. (in Russ).
11. Shcherbina M.A., Gamygin E.A., *Kormlenie ryb v presnovodnoi akvakul'ture* (Feeding fish in freshwater aquaculture), Moscow: Agricultural technologies, 2015, 292 p.
12. Gavrilin K.V. Suvorova T.A., Ponomarev A.K., *Trudy VNIRO*, 2016, Vol. 162, pp. 145–149. (In Russ.)
13. Nechaeva T.A., Ostrovskii M.V., *Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii*, 2009, No. 3, pp. 43–49. (In Russ.)
14. Sich G.O., Gavrilova I.P., Sakharova K.O., Ostrovs'kii M.V., Maistrenko M.I., Buchats'kii L.P., *Ribogospodarska nauka Ukraini*, 2009, No. 3, pp. 98–101.
15. Grinevich Yu.A., Alferov A.N., *Laboratornoe delo*, 1981, No. 8, pp. 493–496. (In Russ.)
16. Shubich M.G., *Tsitologiya*, 1974, No. 10, pp. 1321–1322. (In Russ.)
17. Mikryakov V.R., *Zakonomernosti funktsionirovaniya immunnoi sistemy presnovodnykh ryb* (Patterns of functioning of the immune system of freshwater fish), Abstract. dis. ... doc. biol. Sci., Moscow, 1984, 37 p.
18. Mikryakov V.R., *Zakonomernosti formirovaniya priobretennogo immuniteta u ryb* (Patterns of formation of acquired immunity in fish), Rybinsk: Izd-vo IBVV RAN, 1991, 153 p.
19. Roit A., Brostoff Dzh., Meil D., *Immunologiya* (Immunology), Moscow: Mir, 2000, 592 p.
20. Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van der Wal B., The immune system of fish, *Fish Diseases and Disorders*, 2006, Vol. 1, pp. 678–701.
21. Koikho R., Sanshain D., Bendzhamini E., *Immunologiya* (Immunology), Moscow: Academy, 2008, 368 p.
22. Van der Marel M.C., *Carp mucus and its role in mucosal defense: PhD Thesis*, Wageningen University, The Netherlands, 2012, 189 p.
23. Campoverde C., Milne D.J., Estévez A., Duncan N., Secombes C.J., Andree K.B., Ontogeny and modulation after PAMPs stimulation of β-defensin, hepcidin, and piscidin antimicrobial peptides in meagre (Argyrosomusregius), *Fish Shellfish Immun,* 2017, Vol. 69, pp. 200–210.
24. Bottazzi B., Doni A., Garlanda C., Mantovani A., Anintegrated view of humoral innate immunity: pentraxins as a paradigm, *Ann. Rev. Immun*, 2010, Vol. 28, pp. 157–183.
25. Lee P.T., Bird S., Zou J., Martin S.A.M., Phylogeny and expression analysis of C-reactive protein (CRP) and serum amyloid-P (SAP) like genes reveal two distinct groups in fish, *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, Vol. 65, pp. 42–51.
26. Nazarov P.G., *Meditsinskii akademicheskii zhurnal*, 2010, Vol. 10, No. 4, pp. 107–124. (In Russ.)
27. Loginov S.I., Smirnov P.N., Trunov A.N., *Immunnye kompleksy u zhivotnykh i cheloveka: norma i patologiya* (Immune complexes in animals and humans: norm and pathology), Novosibirsk: Sib. Department. IEVS and Far East Russian Academy of Agricultural Sciences, 1999, 144 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-242-250
УДК 636.082.2:798(470+571)

НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОЛОДНЯКА ВЕРХОВЫХ ПОРОД ЛОШАДЕЙ СПОРТИВНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

[1]**М.А. Политова,** кандидат сельскохозяйственных наук

[2]**В.А. Демин,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор

[3]**И.В. Черногар,** зоотехник

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, пос. Лесные поляны Московской обл., Россия

[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[3] Конный завод им. Первой Конной Армии, х. Чернышевка Ростовской обл., Россия

E-mail: politova-marina@yandex.ru

***Ключевые слова*:** коневодство, буденновская порода, русская верховая порода, ганноверская порода, испытания, работоспособность, племенная работа.

Реферат. *Авторами предложена и апробирована новая методика оценки двигательных и прыжковых качеств молодняка в условиях хозяйств и на межхозяйственном уровне для оценки задатков работоспособности лошадей спортивных пород. С начала 80-х гг. прошлого века была предложена система испытаний, предусматривающая демонстрацию лошадей под седлом для определения длины шага на шагу и рыси, стиля рыси и галопа, а также оценку прыжковых качеств в шпрингартене. С изменением экономических условий хозяйственной деятельности большинства предприятий, возникновением дефицита кадров, а также с учетом большего внимания к благополучию животных, заездка в двухлетнем возрасте практически прекратилась. Это поставило перед наукой и практикой задачу разработки системы оценки молодняка, которая позволила бы достаточно надежно выявить и оценить задатки с меньшими организационными затратами. С 2005 г. в рамках сотрудничества с Ганноверским союзом Германии на базе ПКХ «Элитар», а с 2016 г. в КСК «Максима Парк» стали проводиться выводки молодняка спортивных пород и помесей с привлечением зарубежных экспертов. Это позволило накопить значительный опыт и предложить собственную методику тестирования молодняка в движениях и прыжках на свободе. Система была апробирована в рамках межпородного сравнения на выставке «Конная Россия», а также в племенных хозяйствах по буденновской (ОАО «Конный завод им. Первой Конной Армии») и ганноверской породам (ООО «Частный конный завод «Веедерн»). Для удобства оценки работоспособности при бонитировке были введены новые показатели – индексы двигательных и прыжковых качеств с определением весовых коэффициентов отдельных признаков. В ходе апробации методики были обнаружены определенные закономерности, которые позволили сделать вывод о возможности определения специализации и последующего назначения в 2–3-летнем возрасте. В частности, обнаружены корреляции ($p<0,01$) между оценками за аллюры в комплексе двигательных показателей: шаг – рысь 0,46, шаг – галоп 0,51, рысь – галоп 0,69, в комплексе прыжковых показателей – между стилем прыжка и оценкой галопа 0,31, мощностью прыжка и качеством галопа 0,35, стилем и мощностью прыжка 0,88. Анализ показал также наличие достоверных различий между представителями разных пород. Между показателями жеребцов и кобыл достоверных различий обнаружено не было.*

THE NEW METHODOLY OF PERFORMANCE TESTING FOR YOUNG HORSES OF SPORT BREEDS

[1]**M.A. Politova**, Candidate of Agricultural Sciences

[2]**V.A. Demin**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

[3]**I.V. Chernogar**, zootechnician

[1]All-Russian Research Institute of Breeding, pos. Forest glades, Moscow region, Russia

[2]Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazeva, Moscow, Russia

[3]Stud farm named after. First Cavalry Army, x. Chernyshevka, Rostov region, Russia

E-mail: politova-marina@yandex.ru

***Keywords*:** Horse breeding, Budenny breed, Russian Riding Horse Breed, Hanoverian Breed, Test, Performance, Breeding.

Abstract: *The authors proposed and approved a new method of performance test for evaluating of dressage and jumping qualities of young horses on the farm and at the inter-farm level to assess the performance inclinations of sports horses. Since the early 1980s, a performance test system has been proposed which included horse's demonstrating under the saddle with measure of stride length at walk and trot, trot and canter style, as well as assessing jumping performance by free jumping. The changes in the economic conditions of most stud farm, the emergence of a shortage of personnel, as well as greater attention to the welfare of animals, the using of 2-year-old animals under the saddle has been practically stopped. This has confronted science and practice with the task of developing a new system for assessing young animals, which would allow them to reliably identify and evaluate their capabilities with less organizational costs. Since 2005, within the framework of cooperation with the German Hanoverian Society, first on the basis of the Stud farm Elitar, and since 2016 in the Riding Complex Maxima Park, the new type of evaluating of young horses began to be carried out with the involvement of foreign experts. This allowed authors to accumulate significant experience and propose our own methodology for testing young animals in movements and free jumps. The system was tested as part of an interbreed comparison at the exhibition "Equestrian Russia", as well as in breeding farms in the Budennovskaya (OJSC Stud Farm named after the First Horse Army) and Hannover (LLC Private Stud Farm "Weedern").For the convenience of assessing performance during grading, new indicators were introduced - the dressage index and the jumping index with the determination of the weighting coefficients of individual characteristics. During testing of the methodology, certain patterns were discovered that allowed us to conclude that it is possible to determine specialization and subsequent assignment at 2-3 years of age. In particular, correlations were found ($p<0,01$) between scores for gaits in a complex of motor indicators: walk-trot 0.46, walk-gallop 0.51, trot-gallop 0.58, in a complex of jumping qualities - between jumping style and assessment gallop 0.31, jumping potential and gallop 0.35, between technique and potential – 0.88. The analysis also showed the presence of significant differences between horses of different breeds. No significant differences between colts and fillies was identified.*

Совершенствование верховых пород спортивного направления остается актуальным с учетом популярности культурно-досугового сектора коневодства и сокращения возможности ввоза лошадей из-за рубежа. Важным элементом племенной работы является проверка продуктивности. Оценка работоспособности в спорте возможна в возрасте 7–8 лет, так что для племенных предприятий представляет интерес предварительная оценка молодняка и прогнозирование продуктивности [1–3].

С 1980 г. в СССР применялась методика испытаний, предусматривающая оценку двигательных качеств под всадником в возрасте двух лет. Лошади демонстрировались под седлом с измерением длины полушага на шагу и рыси, оценкой стиля рыси и галопа, а также прыжковых качеств в прыжках на свободе (в шпрингартене). С изменением экономических условий хозяйственной деятельности большинства предприятий, обусловивших возникновение дефицита кадров, а также с учетом большего внимания к благополучию животных, заездка в двухлетнем возрасте практически прекратилась, и во многих конных заводах внутризаводские испытания перестали быть обязательными. Это существенно ограничило возможности прогнозирования работоспособности и замедлило племенную работу в направлении совершенствования спортивных качеств.

В настоящее время заездка лошади до достижения возраста трех лет считается противоречащей принципам благополучия животных. Кроме того, в действующих предприятиях сложилась практика реализации молодняка в возрасте двух лет после осенней бонитировки – в конных заводах остаются лишь лошади для саморемонта. Это дополнительно осложняет объективную оценку производящего состава по работоспособности потомства.

Общепринятой мировой практикой является оценка двигательных и прыжковых качеств без всадника на свободе. Выявленные при этом задатки достаточно надежно характеризуют спортивную работоспособность впоследствии. Опыт европейских стран, занимающих лидирующее положение в спортивном коневодстве (в частности, Дания, Германия, Нидерланды), подтверждает возможность достаточного надежного прогнозирования последующей спортивной работоспособности на основании оценки природных задатков в молодом возрасте [4, 5] и высокую наследуемость показателей, оцениваемых во время тестов [6–12]. С 2005 г. часть ганноверского молодняка в России оценивалась совместно с экспертами Ганноверского Союза Германии [13, 14], а с 2018 г. тесты спор-

тивных задатков проводятся по единой предложенной методике. Это позволило накопить опыт и предложить для апробации методику тестирования лошадей в возрасте 2–3 лет без участия всадника.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом изучения стала генеральная совокупность лошадей, оцененных по двигательным и прыжковым качествам с 2019 по 2023 г. включительно в рамках следующих мероприятий: дни спортивного коневодства на выставке «Конная Россия» на базе КСК «Максима Парк» (межпородная оценка), а также в племенных хозяйствах ОАО «Конный завод имени Первой Конной Армии» (племенной завод по буденновской породе), ООО «Частный конный завод «Веедерн» (племенной репродуктор по ганноверской породе).

По каждой лошади учтены данные по породной принадлежности, возрасту, происхождению, оцененны по 10-балльной шкале двигательные (шаг, рысь, галоп) и прыжковые качества (стиль прыжка, мощность), а также потенциал в каждой из дисциплин.

Каждому показателю в соответствии с предлагаемой методикой присвоен весовой коэффициент (табл. 1) с учетом зарубежного опыта и значимости для спорта, по каждому выступлению рассчитаны индекс двигательных качеств (ИДК) и индекс прыжковых качеств (ИПК).

Таблица 1

Весовые коэффициенты отдельных признаков в селекционных индексах по двигательным и прыжковым качествам
Weight coefficients of individual traits in selection indices for motor and jumping qualities

Индекс двигательных качеств (ИДК)		Индекс прыжковых качеств (ИПК)	
Показатель	Коэффициент, %	Показатель	Коэффициент, %
Шаг	30	Галоп	15
Рысь	20	Стиль прыжка	30
Галоп	30	Мощность	30
Потенциал	20	Потенциал	25

Надстрочный индекс в таблицах обозначает достоверные различия между соответствующими группами (б – буденновская, г-ганноверская, т – тракененская, р–русская верховая, п – помесные) при $p < 0,05$.

Всего было оценено 203 лошади в возрасте от 2 до 11 лет, в т.ч. лошади 2 лет – 108 голов (52,9 %), 3 лет – 56 (27,5 %), 4 лет – 33 (16,2 %), 5 лет и старше – 7 голов (3,4 %). Распределение выборки по породам выглядело следующим образом: буденновская – 61 голова (29,9 %), ганноверская – 52 (25,5 %), тракененская – 28 (13,7 %), голландская полукровная 8 (3,9 %), русская верховая – 7 (3,4%), голштинская, рейнская, ольденбургская – по 4 (2 %), терская – 3 (1,5 %), вестфальская, цангерсхайде – по 2 (1 %), а также по одному представителю ахалтекинской, бельгийской, латвийской пород, а также полукровные спортивные помеси – 26 голов (12,7 %).

Данные обрабатывали общепринятыми методами вариационной статистики с использованием программного продукта Statistica for Windows 7.0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Коэффициент вариации оцененных показателей составлял от 8,8 до 10,7 %. Большинство представленных на оценку лошадей – молодняк, в т.ч. лошади 2 лет – 53 %, 3 лет – 27,5 %. Лошади 4 лет составляют третью по численности группу (16,2 %), более старшие возрастные классы были представлены единичными животными. Фактор возраста не оказал значимого влияния на большинство показателей, оцененных во время тестов. Исключение составляла оценка галопа у конкурных лошадей (лошади трёх лет достоверно превосходили двухлетних

– 7,1 против 6,7 балла) – сила влияния фактора 0,06 (р 0,05). Однако уровень подготовки и физического развития у лошадей в возрасте двух и трёх лет существенно различается, поэтому представляется целесообразным оценивать их в раздельных зачетах с разной конечной высотой предлагаемого в шпрингартене препятствия (2 года – 130 см, 3 года – 140, 5 лет – 150 см).

Среди испытанных животных несколько преобладают жеребцы (51,6 %). В прыжковых качествах разницы между лошадьми разного возраста не обнаружено: средний ИПК составил для жеребцов 7,2, для кобыл – 7,1. Оценка двигательных качеств у жеребцов несколько выше, чем у кобыл: ИДК 7,1 против 6,8 (шаг 7,3–7,0, галоп 7,0–6,7), однако сила влияния фактора пола на эти показатели оказалась в низком диапазоне – 0,03–0,06.

Породный состав оцененного молодняка отражает в целом соотношение маточного поголовья верховых пород в стране: по 29,9 и 25,5 % приходится на лошадей буденновской и ганноверской пород, 13,7 % представляют тракененскую породу, четвертая по численности группа представлена полукровными спортивными помесями (ПСЛ) из числа потомков представителей пород, не внесенных в реестр селекционных достижений – 12,7 %). Дисперсионный анализ показал значимость влияния фактора породной принадлежности на выраженность признаков работоспособности: оценка за шаг 0,13, за рысь – 0,22, галоп выездковый – 0,20, галоп конкурный – 0,37, ИДК – 0,24.

Были обнаружены достоверные различия в показателях работоспособности между отдельными породными группами (табл. 2, 3).

Таблица 2

Сравнительная характеристика лошадей буденновской, ганноверской пород и помесных животных по двигательным качествам

Comparative characteristics of horses of the Budennovsky, Hanoverian breeds and crossbred animals in terms of motor qualities

Показатель	Буденновская	Ганноверская	ПСЛ	Русская верховая	Тракененская
Шаг М	6,9^{гр}	7,5^{бт}	7,2	7,6^{б}	7,0^{г}
Σ	0,68	0,84	0,85	0,79	0,57
Рысь М	6,7^{гп}	7,4^{бт}	7,2^{бт}	7,3	6,8^{гп}
Σ	0,59	0,72	0,85	0,77	0,61
Галоп М	6,5^{гпр}	7,1^{бт}	6,9^{б}	7,3^{бт}	6,7^{гр}
σ	0,54	0,59	0,78	0,47	0,47
Потенциал М	6,6^{гпр}	7,2^{бт}	6,9^{бр}	7,5^{бт}	6,7^{гр}
σ	0,50	0,62	0,82	0,58	0,51
ИДК М	6,6^{пр}	7,3^{бт}	7,0б	7,3^{бт}	6,8^{гр}
σ	0,47	0,59	0,76	0,63	0,43

В частности, по совокупности двигательных качеств современные ганноверские лошади достоверно превосходят тракененских и буденновских, по ряду параметров лошади тракененской породы, долгие десятилетия лидировавшей в советском, а затем и российском спорте, уступали также лошадям русской верховой породы (галоп, потенциал, ИДК) и помесным животным [14–16].

Так, по показателям, важным для конкурной лошади, представители буденновской и тракененской пород в выборке достоверно уступали представителям других породных групп в составе выборки, в стиле прыжка разницы между изученными группами по породам не наблюдалось, оцененные лошади ганноверской породы по мощности превосходили буденновских, они же были достоверно выше оценены по перспективности для выступлений в конкуре, чем буденновцы. Разница с остальными группами была недостоверной.

Таблица 3

Сравнительная характеристика лошадей основных пород и помесных животных по прыжковым качествам
Comparative characteristics of horses of the main breeds and crossbred animals in terms of jumping qualities

Показатель	Буденновская	Ганноверская	ПСЛ	Русская верховая	Тракененская
Галоп М	6,6 гпр	7,3 бт	7,2 бт	7,2 бт	6,6 гпр
σ	0,57	0,45	0,57	0,52	0,48
Стиль М	7,1	7,4	7,3	7,5	7,2
σ	0,80	0,71	0,84	0,72	0,60
Мощность М	7,1 г	7,4 б	7,3	7,5	7,1
σ	0,82	0,74	0,82	0,68	0,63
Потенциал М	7,1 г	7,3 б	7,2	7,6	7,1
σ	0,66	0,61	0,69	0,72	0,51
ИПК М	7,0 г	7,4 б	7,1	7,5	7,0
σ	0,67	0,57	0,84	0,66	0,49

Данные анализа позволяют сделать вывод, что активная работа заводчиков ганноверской породы, в том числе в кооперации с головным немецким союзом, принесла убедительные результаты. В то же время заводчики буденновской породы, отдавая приоритет скаковым испытаниям, потеряли позиции в конкуре, и эта ситуация требует пересмотра программы племенной работы с породой с учетом современных тенденций.

Были обнаружены также корреляции ($p < 0,01$) между отдельными оценками в комплексе двигательных и прыжковых показателей (табл. 4)

Таблица 4

Корреляции между оцениваемыми признаками работоспособности
Correlations between assessed performance attributes

Показатель	Рысь	Галоп (др)	Галоп (пр)	Стиль	Мощность
Шаг	0,46*	0,51*	0,43*	0,15	0,20*
Рысь		0,69*	0,58*	0,10	0,13
Галоп (др)			0,84*	0,20*	0,29*
Галоп (пр)				0,31*	0,35*
Стиль					0,88*

Оценки за большинство аллюров тесно связаны между собой (от 0,46 между шагом и рысью до 0,69 между рысью и галопом), среди прыжковых качеств еще более высокую корреляцию демонстрируют показатели стиля и мощности. Подтверждением оправданности включения в прыжковый индекс оценки за галоп является достоверная положительная корреляция между этим аллюром и стилем прыжка (0,31), а также мощностью (0,35). В то же время между показателями рыси и шага связи со стилем прыжка нет. Все вышеизложенное подчеркивает верность подхода по выявлению специализации лошади и возможность ведения эффективной селекции раздельно на двигательные и прыжковые качества.

Мы также оценили значимость влияния отца (наследуемость) исследованных показателей. В частности, фактор отца достоверно влияет на такие показатели, как стиль прыжка 0,60 ($F = 2,44$, $p < 0,02$), мощность 0,57 ($F = 2,12$, $p < 0,04$), потенциал для конкура 0,58 ($F = 2,23$, $p < 0,03$), ИПК 0,62 ($F = 2,61$, $p < 0,01$).

Среди лошадей, оцененных по двигательным качествам, наиболее полно были представлены потомки буденновского Ионизатора и ганноверского Дантандер Хита (16 и 14 голов соответственно), еще 7 производителей были представлены 4–6 потомками. Между потомством жеребцов также обнаруживались достоверные различия (табл. 5).

Таблица 5

Характеристика жеребцов-производителей по результатам оценки двигательных качеств
Characteristics of stud stallions based on the results of assessment of motor qualities

Отец	Количество потомков, гол.	ИДК
Ионизатор буд. (1)	16	6,74 [2,5,6,8]
Dantander Hit ганн. (2)	14	7,53 [1,3,4,7,9]
Бербер буд. (3)	6	6,54[2,5,6,8]
Ренегат буд. (4)	5	6,46[2,5,6,8]
Sun of May Life рейн. (5)	4	8,00[1,3,4,7,9]
Walchensee ганн. (6)	4	7,48[1,3,4,7]
Разгуляй буд. (7)	4	6,66[2,5,6,8]
Сир Доннервелл ольд. (8)	4	7,39[1,3,4,7]
Элемент буд. (9)		6,85[2,5]

В тестах на прыжковые качества также лидируют потомки Ионизатора и Дантандер Хита (16 и 13 голов соответственно) – эти лошади были оценены в условиях хозяйств. В группу жеребцов с четырьмя и более потомками попал также французский верховой Diamant de Semilly, занимающий вторую строку мирового рейтинга жеребцов-производителей [17]. Достаточно закономерно его потомство достоверно превзошло потомков других жеребцов (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика жеребцов-производителей по результатам оценки прыжковых качеств
Characteristics of stud stallions based on the results of jumping performance assessment

Отец	Количество потомков, гол.	ИПК
Ионизатор буд. (1)	16	7,36 [3,4,5]
Dantander Hit ганн. (2)	13	7,04 [5]
Бербер буд. (3)	6	6,79 [1,5]
Ренегат буд. (4)	5	6,70 1,5
Diamant De Semilly фр.в. (5)	4	8,16 [1,2,3,4,6,7,8]
Walchensee ганн. (6)	4	7,20 [5]
Разгуляй буд. (7)	4	7,32 [5]
Элемент буд. (8)	4	6,79 [5]

При этом даже при внутрипородном сравнении (буденновские Ионизатор, Бербер, Ренегат, Разгуляй, Элемент) обнаруживаются достоверные различия в качестве потомства, что позволяет селекционерам сделать соответствующие выводы об исключении малоценных жеребцов или подборе соответствующего производителя для вводного скрещивания.

Таким образом, апробация методики показала, что предложенные индексы позволяют дифференцировать лошадей разного уровня работоспособности и могут быть использованы

при бонитировке в двухлетнем возрасте. Кроме того, в зависимости от селекционного плана хозяйства, индексы позволяют установить назначение лошади (племенное, пользовательное/спортивное, хобби) и обеспечить более объективное формирование цены.

Кроме того, оценки позволяют проводить межпородные сравнения, а также оценивать жеребцов-производителей по рабочим качествам потомства. Для выявления связи между результатами предварительных тестов и спортивных выступлений требуются дальнейшие исследования.

ВЫВОДЫ

1. Между оцененными лошадьми разного пола нет достоверных различий по индексам двигательных и прыжковых качеств, что позволяет рекомендовать разработку общей шкалы оценки для всего молодняка.

2. Фактор породной принадлежности оказывает значимое влияние на результаты тестов, характеризуя разный уровень и остроту селекции в отдельных породах. При этом помеси верховых пород спортивного направления превосходят по двигательным качествам лошадей буденновской породы, а лошади русской верховой и ганноверской пород достоверно превосходят буденновских и тракененских. По уровню развития прыжковых качеств лошади ганноверской породы превосходят буденновских.

3. Отдельные показатели, оцениваемые в ходе тестов, достоверно положительно коррелируют между собой, что позволяет успешно осуществлять селекцию по комплексу признаков.

4. Между потомками разных жеребцов-производителей обнаружены достоверные различия по индексам двигательных и прыжковых качеств. Результаты тестов могут быть использованы для оценки производителей по качеству потомства.

5. Предложенная методика позволяет надежно дифференцировать молодняк по уровню развития спортивных качеств, что облегчает племенную работу, а также определение назначения молодняка при первой бонитировке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Парфенов В., Исаенко Н., Политова М.* О системах испытаний спортивных лошадей // Коневодство и конный спорт. – 2000. – № 2. – С. 16–18.
2. *Демин В.А., Харламова Г.В., Политова М.А.* О связи результатов заводских испытаний лошадей полукровных пород с их последующим спортивным использованием // Доклады ТСХА. – 2009. – Вып. 281. – С. 457–461.
3. *Политова М.А., Дорофеева А.В.* Сравнительная характеристика методик оценки спортивной работоспособности лошадей по результатам выступлений в выездке // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (62). – С. 146–154.
4. *Политова М.* Выдержки из Правил испытаний молодых спортивных лошадей Федерации конного спорта Германии с комментариями // Золотой мустанг. – 2003. – № 3/35. – С. 95–98.
5. *Политова М.* Нововведения в испытаниях жеребцов в Германии // Рустракенер. – 2009. – № 2 (08). – С. 6–7.
6. *Genetic* parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses / E.G. Ollson, T. Arnason, A. Näsholm [et al.] // *Livestock Production Science*. – 2000. – N 65 (1). – P. 81–89.
7. *Hellsten E.T., Jorjani H.*, *Philipsson*. Genetic correlations between similar traits in the Danish and Swedish Warmblood sport horse populations // Livestock Science. – 2009. – N 124. – P. 15–20.
8. *Genetic* connectedness between seven European countries for performance in jumping competitions of warmblood riding horses / C. Ruhlmann, E. Bruns, E. Fraehr [et al.] // Livestock Science. – 2009. – N 120. – P. 75–86.
9. *Genetic* Correlations between Young Horse and Dressage Competition Results in Danish Warmblood / L. Jönsson, K. Christiansen, M. Holm, T. Mark. – URL: https://www.researchgate.net/publication/268088539_Genetic_Correlations_between_Young_Horse_and_Dressage_Competition_Results_in_Danish_Warmblood_Horses?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoic2VhcmNoIiwicG9zaXRpb24iOiJwYWdlSGVhZGVyIn19 (дата обращения: 10.11.2023).

10. *Analysis* of competition performance in dressage and show jumping of Dutch Warmblood horses / G. Rovere, B.J. Ducro, J.A.M. van Arendonk, E. Norberg [et al.] // Journal of Animal Breeding and Genetics. – 2016. – No. 134 (2). – P. 503–515.
11. *Becker A.-C., Stock K.F., Distl O.* Genetic analyses of new movement traits using detailed evaluations of warmblood foals and mares // Livestock Science. – 2011. – No. 142. – P. 245–252.
12. *Schöpke K., Wensch-Dorendorf M., Swalve H.* Genetic evaluations of the German Sport Horse: Population structure and use of data from foal and mare inspections and performance tests of mares // Archiv Tierzucht. – 2013. – N 66. – P. 658–674.
13. *Политова М., Лазарев Д.* Открытые испытания лошадей спортивных пород // Коневодство и конный спорт. – № 6. – 2005. – С. 12–13.
1. *Политова М.* Состояние ганноверской породы в Германии и других странах мира // Результаты испытаний племенного молодняка лошадей верховых пород спортивного направления в 2019–2021 гг. – Дивово: изд-во ФГБНУ ВНИИ коневодства, 2022. – С. 49–59.
2. *Князев С.П., Тимченко А.М.* Динамика поголовья и современное состояние ресурсов лошадей в Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 1 (38). – С. 139–145.
3. *Филимонов Р.А., Князев С.П.* Зоотехнический анализ поголовья верховых лошадей конного центра «Свобода» // Проблемы биологии и биотехнологии: сб. тр. конф. науч. общ-ва студентов и аспирантов биол.-технол. фак. Новосиб. гос. аграр. ун-та. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – С. 185–189.
4. *Sire* Rankings. – 2023. – URL: https://wbfsh.com/sire-rankings (дата обращения: 12.10.2023).

REFERENCES

1. Parfenov V., Isaenko N., Politova M., *Konevodstvo i konnyj sport*, 2000, No. 2, pp. 16–18. (In Russ.)
2. Demin V.A., Harlamova G.V., Politova M.A., *Doklady TSHA*, 2009, No. 281, pp. 457–461. (In Russ.)
3. Politova M.A., Dorofeeva A.V., *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 1 (62), pp. 146–154. (In Russ.)
4. Politova M., *Zolotoj mustang*, 2003, No. 3 (35), pp. 95–98. (In Russ.)
5. Politova M., *Rustrakener*, 2009, No. 2 (08), pp. 6–7. (In Russ.)
6. Ollson E.G, Arnason T., Näsholm A. et al., Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses, *Livestock Production Science*, 2000, No. 65 (1), pp. 81–89.
7. Hellsten E.T., Jorjani H., Philipsson, Genetic correlations between similar traits in the Danish and Swedish Warmblood sport horse populations, *Livestock Science*, 2009, No. 124, pp. 15–20.
8. Ruhlmann, C., Bruns E., Fraehr E. et al., Genetic connectedness between seven European countries for performance in jumping competitions of warmblood riding horses, *Livestock Science*, 2009, No. 120, pp. 75–86.
9. Jönsson L., Christiansen K., Holm M., Mark T., Genetic Correlations between Young Horse and Dressage Competition Results in Danish Warmblood: https://www.researchgate.net/publication/268088539_Genetic_Correlations_between_Young_Horse_and_Dressage_Competition_Results_in_Danish_Warmblood_Horses?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoic2VhcmNoIiwicG9zaXRpb24iOiJwYWdlSGVhZGVyIn19 (10.11.2023).
10. Rovere, G., Ducro B.J., van Arendonk J.A.M., Norberg E. et al., Analysis of competition performance in dressage and show jumping of Dutch Warmblood horses, *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2016, No. 134 (2), pp. 503–515.
11. Becker A.-C., Stock K.F., Distl O., Genetic analyses of new movement traits using detailed evaluations of warmblood foals and mares, *Livestock Science*, 2011, No. 142, pp. 245–252.
12. Schöpke K., Wensch-Dorendorf M., Swalve H., Genetic evaluations of the German Sport Horse: Population structure and use of data from foal and mare inspections and performance tests of mares, *Archiv Tierzucht*, 2013, No. 66, pp. 658–674.
13. Politova M., Lazarev D., *Konevodstvo i konnyj sport*, 2005, No. 6, pp. 12–13. (In Russ.)

14. Politova M., *Rezul'taty ispytanij plemennogo molodnjaka loshadej verhovyh porod sportivnogo napravlenija v 2019–2021 g.* (Results of young breeding horses testing in 2019–2021), Divovo: izd-vo FGBNU VNII konevodstva, 2022, pp. 49–59.
15. Knjazev S.P., Timchenko A.M., *Vestnik NGAU*, 2016, No. 1 (38), pp. 139–145. (In Russ.)
16. Filimonov R.A., Knjazev S.P., *Problemy biologii i biotehnologii* (Problems of biology and biotechnology), Proceedings of the conference of the Scientific society of students and graduate students of the Faculty of Biology and Technology. Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk: ITs NGAU «Zolotoy kolos», 2017, pp. 185–189. (In Russ.)
17. *Sire Rankings*, 2023: https://wbfsh.com/sire-rankings (12.10.2023).

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-251-258
УДК 636.03:636.5.033

ВЫВОД ЦЫПЛЯТ КРОССА «ROSS-308» ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ИНКУБАТОРЕ

[1]В.А. Реймер, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
[1]С.П. Князев, кандидат биологических наук, доцент
[2]В.Ю. Лыскова, заведующая инкубаторием
[1]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
[2]АО «Новосибирская птицефабрика», ст. Евсино Искитимского района, Новосибирской области
E-mail: se41va78@mail.ru

Ключевые слова: бройлеры, инкубационное яйцо, родительское стадо кур кросса «Ross-308», инкубация, влажность воздуха, выводимость яиц, вывод молодняка птицы, интенсивность вывода, развитие эмбрионов.

Реферат. *Искусственная инкубация яиц сельскохозяйственной птицы позволяет организовать круглогодовое производство продукции птицеводства, повысить продуктивность и снизить поголовье родительского стада птицы. В исследованиях на отвечающих существующим нормативам инкубационных яйцах родительского стада кур кросса «Ross-308» установлено, что при различной влажности воздуха в инкубаторе изменяются показатели эффективности биотехнологии: развитие эмбрионов, вывод цыплят и выводимость яиц, инкубационный отход и интенсивность вывода кондиционного молодняка. Оптимальной оказалась влажность воздуха в инкубаторе в пределах 52–54 %. При этом режиме развитие эмбрионов I категории было на уровне 62,5 %, вывод молодняка и выводимость яиц составили 88,5 и 89,4 % соответственно, инкубационный отход оказался ниже на 4,3–7,3 % по сравнению с более высокой или более низкой влажностью при высокой интенсивности вывода молодняка и рентабельности процесса инкубации. Отклонение от установленного оптимума влажности воздуха в инкубаторе сопровождается ухудшением всех исследованных показателей воспроизводства бройлеров.*

BREEDING OF CHICKENS OF THE ROSS-308 CROSS AT DIFFERENT AIR HUMIDITY IN THE INCUBATOR

[1]V.A. Reimer, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
[1]S.P. Knyazev, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
[2]V.Yu. Lyskova, head of the hatchery
[1]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
[2]JSC "Novosibirsk Poultry Farm", st. Evsino, Iskitimsky district, Novosibirsk region
E-mail: se41va78@mail.ru

Keywords*:* broilers, incubation egg, parent flock of Ross-308 cross-country chickens, incubation, air humidity, egg hatchability, hatchling of young birds, hatching intensity, embryo development.

Abstract. *Artificial incubation of poultry eggs makes it possible to organize year-round production of poultry products, increase productivity and reduce the number of the parent flock of poultry. In studies on incubation eggs of the parent flock of hens of the Ross-308 cross that meet the existing standards, it was found that with different air humidity in the incubator, the efficiency indicators of biotechnology change - embryo development, chick hatching and egg hatchability, incubation waste and the intensity of the withdrawal of conditioned young. The optimal humidity in the incubator was in the range of 52–54 %. In this mode, the development of embryos of the first category was at the level of 62.5 %, the hatch of young animals and the hatchability of eggs amounted to 88.5 and 89.4 %, respectively, incubation waste was 4.3–7.3 % lower compared with higher or lower humidity with high intensity of hatchling and profitability of the incubation process. Deviation from the established optimum of air humidity in the incubator is accompanied by deterioration in all studied indicators of broiler reproduction.*

Мясо цыплят-бройлеров является диетическим и питательным продуктом, востребованным у населения нашей страны. Увеличение его производства при низких затратах труда и средств возможно только с использованием современных технологий искусственной инку-

бации яиц, в связи с чем является актуальным изыскание оптимальных вариантов осуществления этого процесса [1–3].

Отдельные исследователи для повышения вывода молодняка и улучшения его дальнейшего постэмбрионального развития изучали различные температурные режимы инкубации яиц сельскохозяйственной птицы [4, 5], другие применяли охлаждение и прогрев яиц при их хранении перед инкубацией [6–8]. В отличие от этих подходов нами исследовалась влажность воздуха в процессе инкубации.

Целью работы явилось определение оптимального режима влажности воздуха в процессе инкубации куриных яиц мясного кросса «Ross-308» для обеспечения нормального развития эмбрионов, высоких параметров вывода молодняка и выводимости яиц, а также снижения отходов инкубации.

ОБЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная работа проводилась в условиях АО «Новосибирская птицефабрика» в 2022–2023 гг.

Объектом исследований явились инкубационные яйца от кур родительского стада мясного кросса «Ross-308», которые отбирали для инкубации от кур-несушек в продуктивный период при максимальной интенсивности их яйцекладки. Срок хранения отобранных яиц перед инкубированием составлял 3 сут, перед закладкой на инкубацию проводили дезинфекцию «Диксамом», содержащим в качестве действующего вещества йод кристаллический (38 %), а также калий азотнокислый, медь однохлористую, сахар или крахмал.

Инкубацию яиц проводили в инкубаторах марки Chick Master. В инкубационные шкафы размещали три лотка, располагая их по диагонали (верх, середина и низ) и обеспечивая определенный режим влажности в камере для каждой из групп согласно схеме (табл. 1).

Таблица 1

Схема проведения исследований
Research scheme

Группа яиц	Кол-во яиц, шт.	Режим влажности воздуха в инкубаторе, %
1	495	52–54
2	495	54–56
3	495	50–52

Условия температурного режима инкубации были одинаковыми для всех трех групп яиц (37,6–37,7 °С) [9]. Отличие заключалось лишь в том, что в 1-й группе влажность воздуха в инкубационном шкафу была на уровне 52–54 %, во 2-й группе – 54–56 %, а в 3-й группе – соответственно 50–52 %.

На 19-е сутки инкубации яйцо для вывода цыплят перенесли в выводные шкафы. В них режим инкубации для всех трех групп поддерживался на одном уровне: температура составляла 36,9–37,1 °С, влажность – 64–70 %.

В процессе исследования учитывались следующие показатели:

1. Качество инкубационных яиц. Его определяли по методике ВНИТИП: массу скорлупы и яиц взвешиванием на весах ВЛТК 500, показатели единиц Хау, индекса белка и желтка – расчетным методом, толщину скорлупы – микрометром [10].

2. Развитие эмбрионов и их качество. Оценку осуществляли на 7, 12 и 19-е сутки инкубации методом овоскопирования с отнесением яиц к I, II или III категории.

На этих трех этапах инкубирования критерии при овоскопировании были следующими.

При просмотре на 7-е сутки овоскопируемые яйца оценивали по развитию кровеносных сосудов, желточного мешка и погружению эмбриона в желток и относили к категориям по следующим признакам:

I категория – кровеносные сосуды хорошо развиты, эмбрион погружен в желток;

II категория – кровеносные сосуды слабо развиты, эмбрион погружен в желток на ½ объема желтка;

III категория – кровеносные сосуды заметны, эмбрион погружен на ¼ объема желтка.

При втором просмотре на 12-е сутки инкубирования учитывается смыкание аллантоиса в остром конце яйца:

I категория – аллантоис выстилает всю внутреннюю поверхность скорлупы, охватывает белок и смыкается в остром конце яйца;

II категория – сеть кровеносных сосудов аллантоиса развита слабо и эмбрион просматривается в виде малого темного пятна в середине яйца;

III категория – аллантоис не охватывает полностью белок, в остром конце яйца просматривается светлый участок, лишенный аллантоиса и кровеносных сосудов.

При просмотре на 19-е сутки учитывали размер воздушной камеры, состояние кровеносной системы аллантоиса и положение головы эмбриона – выпячивание ее в воздушную камеру:

I категория – эмбрион занимает 2/3 объема яйца, острый конец не просвечивается, воздушная камера большая, имеет ломаные очерченные границы, эмбрион выпячивает голову в воздушную камеру, кровеносная сеть сосудов не просматривается;

II категория – несколько задержанное развитие эмбрионов, занимают не всю полость яйца, в остром и тупом конце просматривается сеть кровеносных сосудов аллантоиса, воздушная камера в норме;

III категория – сильно отсталые эмбрионы, в остром конце яйца просматривается неиспользованный белок.

3. Интенсивность вывода молодняка, вывод молодняка и выводимость яиц, распределение отходов инкубации. Этот показатель определялся по методике Г.К. Отрыганьева и В.М. Рошкова [11].

4. Экономическая эффективность результатов исследований.

Цифровой материал обработан биометрически на ПВЭМ с использованием стандартных программ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку от качества яиц, закладываемых на инкубацию, зависят вывод молодняка и инкубационный отход, мы детально исследовали общепринятые параметры этого качества (табл. 2).

Таблица 2

Качество яиц кур кросса «Ross-308», использованных для инкубации в эксперименте
The quality of eggs from cross-country hens “Ross-308” used for incubation in the experiment

Показатель	Средние величины	
	Норматив	Фактически
Средняя масса яйца, г	56–80	63,8±0,6
Индекс формы яйца, %	72,5	74,0±0,4
Индекс белка	0,08–0,09	0,09±0,2
Индекс желтка	0,45–0,50	0,45±0,9
Единица Хау	76,0	76,3±2,1
Масса белка, г/%	35–40	37,2/58,3
Масса желтка, г/%	18–20	19,4/30,4
Масса скорлупы, г/%	6–8	7,2/11,3
Толщина скорлупы, мкм	300–340	335
Высота воздушной камеры, мм	6–8	8,0
Содержание: каротина в 1 г желтка, мкг	20–30	25
витамина А, мкг/г	7–10	8
витамина В2, мкг/г	3–5	4

Примечание. Норматив указан в соответствии с [10].

Свежесть яйца, хранившегося в течение 3 сут до закладки в инкубатор, характеризуют такие значения показателей, как высота пуги (воздушной камеры) в 8 мм, индекс белка – 0,09, индекс желтка – 0,45. Эти морфологические параметры и отличный уровень каротиноидов (25 мкг/г) и витаминов (4–8 мкг/г) позволяют признать высоким качество инкубационных яиц, использованных в настоящем исследовании. Фактические морфологические и витаминные показатели (без выявленных отклонений) находятся на уровне нормативов, указанных в [10], и дают основание оценивать инкубационное яйцо, использованное в эксперименте, как стандартное. Установленные параметры согласуются с аналогичными значениями, указанными в опытах, выполненных другими авторами [12, 13].

Эксперимент показал, что в процессе инкубации степень развития эмбрионов в трех группах яиц при различной влажности воздуха в шкафах, определявшаяся в разные периоды, была неодинаковой (табл. 3).

Таблица 3

Развитие эмбрионов в зависимости от влажности в шкафу при инкубации, %
Development of embryos depending on the humidity in the cabinet during incubation, %

Возраст эмбриона, сут	Категория развития	Группа		
		1	2	3
7	I II III	62,5±1,8 31,4±1,4 6,1±0,9	56,7±2,0* 33,9±1,8 9,4±1,1*	59,4±2,1 32,4±1,7 8,2±1,2
12	I II III	68,4±2,1 24,4±2,0 7,2±1,8	62,1±1,9* 28,6±2,0 9,3±1,8	64,3±1,9 27,2±2,1 8,5±1,6
19	I II III	81,5±1,9 14,0±0,9 4,5±1,5	75,2±1,8* 18,5±1,6 6,3±0,9	78,1±2,0 16,7±1,4 5,2±1,1

* – Разность с 1-й группой достоверна при $P < 0,05$.

Развитие эмбрионов в процессе инкубации находилось на уровне норматива. Однако при изменении влажности в шкафах инкубации менялось и степень развития эмбрионов. Наиболее высоким этот показатель оказался в 1-й группе, в которой влажность воздуха составляла 52–54 %. В возрасте 7 сут развитие эмбрионов первой категории в этой группе находилось на уровне 62,5 %; с увеличением влажности (группа 2-я) развитие эмбрионов первой категории снизилось на 5,8 %. Разность статистически достоверна. При уменьшении влажности развитие эмбрионов первой категории снизилось незначительно.

Лучшее развитие эмбрионов в возрасте 12 и 19 сут было также в 1-й группе, в которой влажность воздуха в шкафу составляла 52–54 %: к первой категории отнесено 68,4–81,5 % эмбрионов. С увеличением влажности до 54–56 % (2-я группа) этот показатель достоверно снизился, а при снижении влажности до 50–52 % развитие эмбрионов было близким к показателям категории эмбрионов 1-й группы. Эмбрионов второй и третей категории в 1-й группе было меньше по сравнению со 2-й и 3-й группами соответственно на 2,5/4,5–1,8/3,3 и 1,0/2,8–0,7/2,1 %.

В целом можно констатировать, что использование влажности воздуха в инкубаторе в пределах 52–54 % при инкубации яиц позволяет повысить качество развития эмбрионов по сравнению с более высокой или более низкой влажностью воздуха в шкафу. Следует отметить, что и другие исследователи отмечали тот факт, что различная влажность воздуха во время инкубации влияет на эмбриональное развитие: в частности, влажность выше нормы снижает интенсивность развития эмбрионов [14].

Различная влажность воздуха во время инкубации яиц оказала существенное влияние на такие показатели, как вывод молодняка, выводимость яиц и интенсивность вывода (табл. 4).

Максимальным вывод молодняка оказался в первой группе, в которой влажность воздуха была на уровне 52–54 %. Вывод составил 88,5 %, что на 7,3 % больше, чем во 2-й, и на 4,3 % больше, чем в 3-й группах, соответственно.

Таблица 4

Вывод молодняка и другие показатели в зависимости от влажности воздуха во время инкубации яиц
Hatching of young animals and other indicators depending on air humidity during egg incubation

Группа	Инкубация яиц, шт.		Выводимость яиц, %	Вывод молодняка		Интенсивность вывода молодняка, %, после начала инкубации	
	Заложенных	Оплодотворенных		гол.	%	514 ч	525 ч
1	495	490	89,4	438	88,5±2,5	67,9±3,1	32,1±4,9
2	495	489	82,2	402	81,2±1,4*	49,8±2,8***	50,2±4,2**
3	495	490	85,1	417	84,2±1,7	57,6±4,0*	42,4±3,7

* – достоверность разности с 1-й группой $P < 0,05$.
** – достоверность разности с 1-й группой $P < 0,01$.
*** – достоверность разности с 1-й группой $P < 0,001$.

Интенсивность вывода также была более высокой в первой группе: на 514-м часу после начала инкубации в 1-й группе вывелось 67,9 % молодняка, во 2-й группе только 49,8 %, а в 3-й группе этот показатель на 10,3 % меньше, чем в 1-й. Разность при попарном сравнении этих показателей статистически достоверна. По окончании всего процесса инкубации – за период с 514-го часа по 525-й час после закладки в инкубатор – вывод составил в 1-й и 3-й группах на уровне 32,1 и 42,4 % соответственно. Во 2-й группе вывелось 50,2 % молодняка от всех вылупившихся птенцов в этой группе, т.е. в ней достоверно больше было эмбрионов с удлиненным периодом инкубации по сравнению с двумя другими группами.

Увеличение продолжительности инкубации в этой 2-й группе можно объяснить либо увеличением массы яйца, либо изменением режима инкубации. Именно второй фактор и имел место в нашем эксперименте: повышенная влажность воздуха в инкубаторе с яйцами второй группы, в которой оказалась достоверно большей доля цыплят, выведенных в более поздние сроки по сравнению с оптимальным вариантом.

Выводимость яиц оказалась наиболее высокой в 1-й группе (в которой влажность воздуха во время инкубации яиц была на уровне 52–54 %), при увеличении или уменьшении влажности в процессе инкубации выводимость яиц снизилась на 4,3–7,2 %.

Подавляющее большинство выведенных цыплят (97–98 %) во всех трех группах оказались кондиционными, т.е. пригодными для дальнейшего выращивания, и лишь единичные экземпляры молодняка были слабыми и некондиционными (табл. 5).

Таблица 5

Выход кондиционных цыплят в группах с разной влажностью воздуха в шкафу во время инкубации яиц
The yield of conditioned chickens in groups with different air humidity in the closet during egg incubation

Выход цыплят, гол.	Группа		
	1-я	2-я	3-я
Всего	438	402	417
В том числе:			
пригодных для выращивания	432 (98,6 %)	391 (97,3 %)	409 (98,1 %)
слабых и калек	6 (1,4 %)	11 (2,7 %)	8 (1,9 %)

Максимальный выход кондиционного молодняка (98,6 %) был в 1-й группе, в которой при инкубации яиц влажность воздуха в шкафу составляла 52–54 %. При увеличении и уменьшении влажности воздуха во время инкубации яиц этот показатель снизился на 1,3 и 0,5 % соответственно во 2-й и 3-й группах, в которых оказалось больше слабых и калек по сравнению с 1-й группой.

В табл. 6 приведены результаты проведенной оценки отходов процесса инкубации яиц трех групп.

Таблица 6

Инкубационный отход в группах с разным режимом влажности воздуха
Incubation waste in groups with different air humidity conditions

Инкубационный отход, шт.	Группа		
	1-я	2-я	3-я
Всего	57,0 (11,5 %)	93,0 (18,8 %)	78,0 (15,8 %)
В том числе:			
«кровь кольцо»	8 (1,6 %)	14 (2,8 %)	11 (2,2 %)
«тумак»	6 (1,2 %)	11 (2,2 %)	8 (1,6 %)
«замершие»	23 (4,7 %)	35 (7,1 %)	24 (4,9 %)
«задохлики»	20 (4,0 %)	33 (6,7 %)	35 (7,1 %)

В общем можно отметить, что оптимальной при инкубации куриных яиц является влажность воздуха в пределах 52–54 %. Повышение или понижение влажности по сравнению с этим оптимумом приводит к увеличению отходов инкубации. Особенно это заметно по таким проявлениям аномалий развития эмбрионов, как «замершие» и «задохлики». Так, в среднем периоде инкубации, когда у эмбрионов уже сформировались практически все органы и ткани (кроме пера) и их потребность в питании и дыхании возрастает, повышенная по сравнению с оптимумом влажность затрудняет усвоение питательных веществ и кислорода. Это и выявил проведенный нами эксперимент: количество яиц с замершими эмбрионами во 2-й группе оказалось больше на 12–11 %, чем в 1-й и 3-й группах, в которых инкубация проведена при меньшей влажности.

Минимальное количество «задохликов» оказалось в 1-й группе, в которой влажность воздуха была на уровне 52–54 %. В период, когда эмбрион готовится к вылуплению, переходит на легочное дыхание и размещает голову в воздушной камере яйца, параметры влажности окружающего воздуха являются определяющими. В нашем эксперименте именно в 1-й группе выявлен самый низкий процент «задохликов» (4,0 %), при влажности воздуха 52–54 %. Увеличение влажности воздуха до 54–56 % повысило отход «задохликов» на 2,7 %. Такое повышение связано стем, что эмбрион погружен в жидкостную среду без доступа к воздушному пространству.

Однако отход «задохликов» возрастает (на 3,1 %) и при уменьшении влажности по сравнению с выявленным нами оптимумом в 52–54 %. Объясняется это тем, что при вылуплении менее увлажненная скорлупа становится слишком твердой, и птенец не может ее разрушить, чтобы выйти из яйца.

Это обстоятельство подтверждается также исследователями, указывающими, что низкая влажность во время инкубации может ускорять эмбриональное развитие, но при этом увеличивать количество «задохликов» в момент вывода за счет затруднений разрушения птенцами чрезмерно крепкой скорлупы [15].

Заключительным этапом в оценке кондиционного молодняка является расчет экономической эффективности режимов различной влажности при инкубации куриных яиц. Результаты его приведены в табл. 7.

Таблица 7

Экономическая эффективность режимов инкубации куриных яиц с различной влажностью воздуха в инкубаторе
Economic efficiency of incubation modes for chicken eggs with different air humidity in the incubator

Показатель	Группа		
	1-я	2-я	3-я
1	2	3	4
Проинкубировано яиц, шт.	495	495	495

Окончание табл. 7

1	2	3	4
Вывод молодняка, гол.	438 (88,5 %)	402 (81,2 %)	417 (84,2 %)
Выход делового молодняка, гол.	432	391	409
Себестоимость инкубационных яиц, р.	14 850	14 850	14 850
Затраты на инкубацию, р.	9 870	9 870	9 870
Всего затрат, р.	24 720	24 720	24 720
Цена реализации суточного цыпленка, р.	64,0	64,0	64,0
Выручка от реализации молодняка, р.	27 648	25 024	26 176
Прибыль, всего р.	8 726,4	7 077,1	7 934,6
Прибыль на 1 гол. суточного молодняка, р.	20,2	18,1	19,4
Уровень рентабельности, %	35,3	28,6	32,1

Данные табл. 7 свидетельствуют, что различная влажность воздуха в инкубаторе обусловила различия в уровне экономической эффективности трех исследованных режимов куриных яиц. Более высокая рентабельность получения качественного молодняка кур кросса «Ross-308» оказалась при влажности воздуха в шкафу инкубатора в пределах установленного оптимума в 52–54 % (1-я группа) с уровнем рентабельности в 35,3 % и с прибылью от реализации одного цыпленка в 20,2 руб. Повышение и понижение влажности воздуха по сравнению с оптимумом при инкубации куриных яиц приводит к ухудшению этих показателей.

ВЫВОДЫ

1. Инкубационные яйца, использованные в исследованиях, имели среднюю массу 63,8 г, содержали в желтке 25 мкг/г каротиноидов, 8 и 4 мкг/г витамина А и B_2 соответственно. По этим и морфологическим показателям яйца соответствовали всем нормативным требованиям и являлись пригодными для эксперимента.

2. На основании проведенных исследований установлено, что оптимальной во время инкубации куриных яиц кросса «Ross-308» является влажность воздуха в пределах 52–54 %. При этом режиме развитие эмбрионов в различные возрастные периоды, вывод молодняка, выход кондиционных цыплят и уровень рентабельности оказались наилучшими по сравнению с аналогичными показателями при иных режимах влажности воздуха в инкубаторе.

3. Рентабельность и прибыль на одну голову суточного молодняка оказались выше в 1-й группе, в которой влажность воздуха в инкубаторе поддерживалась на уровне 52–54%, и составили соответственно 35,3 % и 20,2 руб. В двух других группах – при влажности воздуха 50–52 % и 54–56 % – эти показатели снизились.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фисинин В.И.* Птицеводство России – стратегия инновационного развития. – М., 2009. – 148 с.
2. *Бочкова Р.С.* Вызовы отечественному птицеводству // Птицеводство. – 2018. – № 4. – С. 2–5.
3. *Дядичкина Л.* Инкубация – главное звено в цепи воспроизводства птицы // Птицеводство. – 2018. – № 1. – С. 21–23.
4. *Жучкова Н.А.* Влияние температуры инкубации яиц на эмбриогенез потомков кур разного возраста // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1. – С. 81–85.
5. *Станишевская О.Г.* Температурный режим инкубации как инструмент для формирования признаков мясной продуктивности кур // Вопросы нормативно–правового регулирования в ветеринарии. – 2016. – № 1. – С. 131–134.
6. *Реймер В.А., Князев С.П., Кенцина А.-М.А.* Оценка воспроизводительных и продуктивных качеств петухов различных линий кросса ИЗА–Ф–15 // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1 (66). – С. 171–177. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-171-177.
7. *Щербатов В.И.* Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы: монография. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 184 с.

8. *Реймер В.А., Князев С.П., Карцева А.Н.* Влияние прогрева инкубационных яиц пекинских уток кросса «Star 53» на качество суточного молодняка // Птица и птицепродукты. – 2023. – № 2. – С. 34–37.
9. *Технология* инкубации яиц сельскохозяйственной птицы / В.И. Фисинин, Л.Ф. Дядичкина [и др.]. – Сергиев Посад, 2014. – С. 46–48.
10. *Методические* рекомендации по инкубации яиц сельскохозяйственной птицы / под общ. ред. проф. В.И. Фисинина. – Сергиев Посад, 2008. – 37 с.
11. *Отрыганьев К.А., Рошков В.М.* Технология инкубации яиц сельскохозяйственной птицы. – М.: Агропромиздат, – 2003. – 640 с.
12. *Дядичкина Л.Ф.* Качество яиц – залог успешной инкубации // Птицеводство. – 2008. – № 3. – С. 39–43.
13. *Бурдашкина В.* Возраст родительского стада и инкубационные качества яиц // Животноводство России. Тематический выпуск «Птицеводство». – 2012. – С. 23–26.
14. *Дядичкина Л.Ф., Главатских О.В., Позднякова Н.С.* Влияние различной влажности во время инкубации на эмбриональное развитие // Сб. научных трудов ВНИТИП. – Сергиев Посад, 2003. – С. 35–39.
15. *Руководство* по биологическому контролю при инкубации яиц сельскохозяйственной птицы: метод. рекомендации / Л.Ф. Дядичкина, Н.С. Позднякова, О.В. Главатских [и др.]. – Сергиев Посад, 2004. – 83 с.

REFERENCES

1. Fisinin V.I., *Pticevodstvo Rossii – strategiya innovacionnogo razvitiya* (Poultry farming in Russia - strategy for innovative development), Moscow, 2009,148 p.
2. Bochkova R.S., *Pticevodstvo*, 2018, No. 4, pp. 2–5. (In Russ.)
3. Dyadichkina L., *Pticevodstvo*, 2018, No. 1, pp. 21–23. (In Russ.)
4. ZHuchkova N.A., *Vestnik Orlovskogo GAU*, 2017, No. 1, pp. 81–85. (In Russ.)
5. Stanishevskaya O.G., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2016, No. 1, pp. 131–134. (In Russ.)
6. Rejmer V.A., Knyazev S.P., Kencina A.-M.A., *Vestnik NGAU*, 2023, No. 1 (66), pp. 171–177, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-171-177. (In Russ.)
7. SHCHerbatov V.I., *Inkubaciya yaic sel'skohozyajstvennoj pticy* (Incubation of poultry eggs), Krasnodar: KubGAU, 2015, 184 p.
8. Rejmer V.A., Knyazev S.P., Karceva A.N., *Ptica i pticeprodukty*, 2023, No. 2, pp. 34–37. (In Russ.)
9. Fisinin V.I., Dyadichkina L.F. [i dr.], *Tekhnologiya inkubacii yaic sel'skohozyajstvennoj pticy* (Technology for incubating poultry eggs), Sergiev Posad, 2014, pp. 46–48.
10. *Metodicheskie rekomendacii po inkubacii yaic sel'skohozyajstvennoj pticy* (Guidelines for incubating poultry eggs), pod obshch. red. prof. V.I. Fisinina, Sergiev Posad, 2008, 37 p.
11. Otrygan'ev K.A., Roshkov V.M., *Tekhnologiya inkubacii yaic sel'skohozyajstvennoj pticy* (Technology for incubating poultry eggs), Moscow: Agropromizdat, 2003, 640 p.
12. Dyadichkina L.F., *Pticevodstvo*, 2008, No. 3, pp. 39–43. (In Russ.)
13. Burdashkina V., *ZHivotnovodstvo Rossii*, 2012, pp. 23–26. (In Russ.)
14. Dyadichkina L.F., Glavatskih O.V., Pozdnyakova N.S., *Sb. nauchnyh trudov VNITIP*, Sergiev Posad, 2003, pp. 35–39. (In Russ.)
15. Dyadichkina L.F., Pozdnyakova N.S., Glavatskih O.V. [i dr.], *Rukovodstvo po biologicheskomu kontrolyu pri inkubacii yaic sel'skohozyajstvennoj pticy* (Guidelines for biological control during incubation of poultry eggs: method. recommendations), Sergiev Posad, 2004, 83 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-259-269
УДК: 636.2:636.082.1:612.6

ОСОБЕННОСТИ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА КОРОВ РАЗНЫХ ПОРОД ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

[1]**О.И. Себежко,** кандидат биологических наук, доцент
[1]**О.С. Короткевич,** доктор биологических наук, профессор
[1]**Т.В. Коновалова,** старший преподаватель
[1] **В.Л. Петухов,** доктор биологических наук, профессор
[1]**Н.Н. Кочнев,** доктор биологических наук, профессор
[2]**А.Н. Себежко,** студент
[1]**Е.И. Тарасенко,** аспирант
[1]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
[2 1]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
E-mail: sebezhkoolga@yandex.ru

Ключевые слова: гематологический статус, эритроцитарные параметры, лейкоцитарный профиль, тромбоцитарное звено, крупный рогатый скот.

Реферат. *Мониторинг гематологических параметров дойного стада занимает центральное место в оценке здоровья и благополучия животных. Изучены основные показатели периферической крови у здоровых коров голштинской, черно-пестрой и красной пород в возрасте 30–60 дня 2-й лактации, выращиваемых в Западной Сибири. Исследования эритроцитарных, лейкоцитарных и тромбоцитарных параметров проводились на анализаторе PCE 90Vet с микроскопией мазков для подсчета лейкоцитарной формулы. Использовали стандартные методы описательной статистики или робастные статистики. Межгрупповые сравнения проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа или критерия Краскера – Уоллеса. Для апостериорных сравнений использовали метод Тьюки или Данна. При расчете референсных интервалов пользовались бутстреп-методом. Рассчитанные средние значения эритроцитарного, тромбоцитарного и лейкоцитарного звеньев гемограммы в большинстве случаев варьировали в пределах физиологических норм или находились на границе пределов. Наиболее выраженным адаптационным потенциалом характеризовались животные голштинской породы. Установлены различия между породами практически по всем изученным показателям кроме числа эритроцитов, MCV, RDW, базофилов, палочкоядерных нейтрофилов, индекса иммунореактивности. Для коров черно-пестрой породы был характерен наиболее высокий уровень гематокрита (27,99±0,31 %), абсолютного числа эозинофилов (Me = 0,207 ×10^9/л), тромбоцитов (279,5±22,13 ×10^9/л), для красной степной – гемоглобина (98,32±1,53 г/л), моноцитов (0,29±0,01) и среднего объема тромбоцитов (6,42±0,08 фл). Определенные референсные интервалы лейкоцитарного профиля коров обеспечивает мониторинг состояния здоровья. Он дает возможность сравнения данных с другими породами, а также позволяет вести сравнительный мониторинг между регионами.*

FEATURES OF HEMATOLOGICAL STATUS OF COWS OF DIFFERENT BREEDS OF WESTERN SIBERIA

[1]**O.I. Sebezhko,** Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
[1]**O.S. Korotkevich,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[1]**T.V. Konovalova,** senior lecturer
[1] **V.L. Petukhov,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[1]**N.N. Kochnev,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[2]**A.N. Sebezhko,** student
[1]**E.I. Tarasenko,** Phd student
[1]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
E-mail: sebezhkoolga@yandex.ru

Keywords: hematological status, erythrocyte parameters, leukocyte profile, platelet link, cattle.

Abstract. *Monitoring hematological parameters in dairy herds is central to assessing animal health and welfare. The main parameters of peripheral blood were studied in healthy cows of Holstein, black-and-white and red breeds at the age of 30-60 days of the 2nd lactation, raised in Western Siberia. Studies of erythrocyte, leukocyte and platelet parameters were carried out on a PCE 90Vet analyzer with smear microscopy for calculating the leukocyte formula. Standard methods of descriptive statistics or robust statistics were used. Intergroup comparisons were performed using one-way analysis of variance or the Krasker-Wallace test. Tukey or Dunn's method was used for post hoc comparisons. When calculating reference intervals, we used the bootstrap method. The calculated average values of the erythrocyte, platelet and leukocyte components of the hemogram in most cases varied within physiological norms or were on the borderline. Animals of the Holstein breed had the most pronounced adaptive potential. Differences between breeds have been established in almost all studied indicators except the number of red blood cells, MCV, RDW, basophils, band neutrophils, and immunoreactivity index. Cows of the black-and-white breed were characterized by the highest level of hematocrit (27.99 ± 0.31%), absolute number of eosinophils (Me = 0.207 ×109/l), platelets (279.5 ± 22.13 ×109/l), for red steppe - hemoglobin (98.32±1.53 g/l), monocytes (0.29±0.01) and average platelet volume (6.42±0.08 fL). Certain reference intervals for the leukocyte profile of cows provide monitoring of health status, the ability to compare data with other breeds, and also allows for comparative monitoring between regions.*

Гематологические параметры крупного рогатого скота отражают его физиологический статус, состояние здоровья, полноценность кормления, уровень стресса и напряженность иммунных реакций [1–3]. Практически все гематологические показатели демонстрируют широкую фенотипическую изменчивость и в высокой степени наследуются, что подчеркивает важность генетических вариаций в процессах гемопоэза [4, 5]. При изучении гематологического статуса сельскохозяйственных животных в большинстве случаев обращаются к оценке изменений в количестве и распределении основных типов клеток крови, включая лейкоциты (WBC), эритроциты (RBC) и тромбоциты (PLT), гемоглобина, гематокрита, а также рассчитываемых эритроцитарных, лейкоцитарных и тромбоцитарных индексов [6, 7].

Гематологические показатели могут существенно отличаться у скота с различными направлениями и уровнями продуктивности, формируя специфические метаболические профили у высокопродуктивных животных, характеризующие не только их генетические особенности, но и адаптацию к производственным системам [8–10]. Сегодня среди факторов, обусловливающих взаимосвязь гематологических параметров с показателями продуктивности, рассматривают не только общее влияние показателей крови на здоровье животных, но и генетические аспекты. Например, в работе [11] показано, что транскрипция каталитической субъединицы бычьего белка ATP5B как ключевого регулятора окислительного метаболизма и содержания внутримышечного жира регулируется в том числе эритро́идным фактором транскрипции GATA-1. Данный фактор играет ключевую роль в развитии эритроцитов, регулируя транскрипцию мембранного белка спектрина, смену фетального гемоглобина на взрослый [12].

Множество паратипических факторов оказывают влияние на гематологические показатели крупного рогатого скота [13]. Среди них предикторы, связанные с сезоном года, климатом и микроклиматом [14]. Большинство средовых факторов, влияющих на состав крови сельскохозяйственных животных, также реализуется через механизмы эндокринной регуляции, поскольку обусловлены стрессом. Они связывают и активируют внутриклеточные рецепторы, которые являются прямыми модуляторами транскрипции. В частности, эффекты глюкокортикоидов реализуются за счет связывания гормонов с рецептором глюкокортикоидов, идентифицированным в качестве одного из ключевых регуляторов гемопоэза [15, 16].

Гематологические параметры могут различаться у разных пород крупного рогатого скота, что отражает генетические различия и потенциальную адаптацию к конкретным условиям окружающей среды [17]. Понимание этих

различий имеет важное значение для оценки здоровья, производительности и физиологических характеристик различных пород крупного рогатого скота, что помогает в управлении и оптимизации методов животноводства. Целью данного исследования была оценка особенностей гематологических профилей основных пород крупного рогатого скота молочного направления, разводимых в условиях Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В экспериментальную группу были включены коровы 30–60 дня 2-й лактации молочного направления продуктивности, разводимые в условиях Западной Сибири. Необходимыми условиям включения животных в исследования были: отсутствие заболеваний, установленное ветеринарным врачом, и продуктивность на уровне 9 000 – 10 000 кг молока за лактацию. Было отобрано 59 коров голштинской породы, 80 черно-пестрой и 64 красной степной. Материалом исследования служила венозная кровь, полученная вакуумным методом из хвостовой вены. Исследования периферической крови проводились на анализаторе PCE 90Vet без гемоделюции с микроскопией мазков для подсчета лейкоцитарной формулы.

Подсчитывали лейкоцитарные индексы: ИИР – иммунореактивности (частное суммы лимфоцитов и эозинофилов к моноцитам); нейтрофильно-лимфоцитарный и индекс соотношения тромбоцитов к лимфоцитам.

Предварительная обработка данных включала в себя оценку выбросов с помощью критерия Граббса, оценку характера распределения тестами Андерсона – Дарлинга (при $n > 50$) и/или Шапиро – Уилка. Преобразование данных в случае не соответствующих нормальному распределений выполняли логарифмированием или методом квадратного корня. Использовали стандартные методы описательной статистики или робастные статистики. Однородность дисперсии оценивали тестом Бартлетта. Межгрупповые сравнения в зависимости от характера распределения, размеров групп и однородности дисперсий проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа или критерия Краскера–Уоллеса. Для апостериорных использовали метод Тьюки или тест Данна. При расчете референсных интервалов пользовались бутстреп-методом с установлением 90 % доверительных интервалов (ДИ) для верхнего и нижнего пределов.

Вычисления производили в программах MS Exel 16.0 и RStudio.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Систематизированная информация о гематологическом статусе крупного рогатого скота с акцентом на породную принадлежность позволяет оценивать физиологическое состояние животных и является одним из наиболее широко используемых инструментов мониторинга в современном животноводстве.

В табл. 1 представлены показатели содержания и изменчивости эритроцитарных и тромбоцитарных параметров гемограммы у коров исследуемых пород. Для наиболее точного установления средних величин гемограммы на этапе предварительной обработки были устранены выбросы методом Граббса, при распределениях, не соответствующих нормальному, данные были преобразованы методами логарифмирования или квадратного корня. Однако в ряде случаев это не дало успеха, распределения не соответствовали нормальному, поэтому средние величины представлены медианными значениями.

Основную массу клеток крови составляют эритроциты, ключевой функцией которых является перенос кислорода и углекислого газа. При этом эритроциты метаболически активны, играют важную роль в обратном транспорте холестерина, в процессах свертывания, фибринолиза, участвуют в регуляции кислотно-основного равновесия, иммунологических реакциях [18, 19]. Уровень эритроцитов, гемоглобина, среднего объёма эритроцитов у животных всех пород варьировал в пределах общепринятой нормы, которая составляет соответственно 5–10 $\times 10^{12}$/л; 80–150 г/л и 37–51 фл. НСТ у голштинской незначительно снижены (норма 24–46 %). Наши данные соотносятся с результатами других исследователей [3, 13, 19].

Таблица 1

Эритроцитарные и тромбоцитарные параметры у исследуемых пород коров в Западной Сибири
Erythrocyte and platelet parameters in cows in Western Siberia

Показатель	Порода								
	Голштинская			Черно-пестрая			Красная степная		
	$\bar{x} \pm Sx$	σ	Cv,%	$\bar{x} \pm Sx$	σ	Cv,%	$\bar{x} \pm Sx$	σ	Cv,%
RBC, $\times 10^{12}$/л	5,39±0,12	0,92	17,1	6,63±0,102	0,57	8,59	5,95±0,03	0,2	3,36
	W = 0,98, p = 0,611			W = 0,99, p = 0,805			W = 0,96, p = 0,069		
MCV, фл	41,88±0,89	3,96	9,45	42,56±0,43	3,79	8,91	42,72±0,49	3,99	9,33
	W = 0,94, p = 0,216.			W = 0,97, p = 0,055			W = 0,97, p = 0,146		
HGB, г/л	87,21±1,18	7,75	8,87	91,76±0,99	8,76	9,55	98,32±1,53	12,56	12,77
	W = 0,98, p = 0,919			W = 0,98, p = 0,172			W = 0,99, p = 0,604		
HCT, %	22,98 ±0,6	2,69	11,71	27,99 ±0,31	2,77	9.89	Me = 26,3		
	W = 0,99, p = 0,990			W = 0,98, p = 0,425			W = 0,93, p = 0,001		
PLT, $\times 10^9$/л	185,4 ±15,8	67,15	36,2	337,9 ±11,37	99,1	29,3	279,5 ±22,13	161,1	57,6
	W = 0 ,95, p = 0,424			W = 0 ,99, p =0,584			W = 0,97, p = 0,142		
MPV, фл	6,06 ±0,89	0,25	4,13	Me = 5,9			6,42±0,08	0,55	8,56
	W = 0,99, p = 0,988			W = 0,95, p = 0,003			W = 0,97, p = 0,245.		
PCT, %	0,11±0,009	0,04	36.4	0,2±0,005	0,05	25.0	0,20±0,006	0,05	25,1
	W = 0,92, p = 0,127			W = 0,98, p = 0,50			W = 0,99, p = 0,604		

Примечание. RBC – абсолютное число эритроцитов, MCV – средний объем эритроцитов, HGB – гемоглобин, HCT –.гематокрит, PLT – абсолютное число тромбоцитов, MPV – средний объем тромбоцитов, PCT – тромбокрит, $\bar{x} \pm Sx$ – среднее арифметическое и ошибка среднего арифметического, Me – медианное значение, σ – среднее арифметическое отклонение, Cv – коэффициент вариации, W – статистика критерия Шприро–Уилка. p > 0,05 – распределение признака нормальное.

Применение автоматических анализаторов при оценке гемограммы дает возможность определения эритроцитарных и тромбоцитарных индексов, повышающих объективность результатов. Эритроцитарный индекс MCV вычисляется путем деления общего объема эритроцитов на их количество и представляет собой средний объем клеток в популяции. Нужно принимать во внимание, что нормальное значение индекса MCV может наблюдаться при наличии в организме как крупных, так и мелких по объему эритроцитов. В наших исследованиях распределение MCV было нормальным, соответственно субпопуляций эритроцитов с разным MCV не было.

Количество тромбоцитов у всех трех пород коров варьировало в пределах нормальных значений, наибольшим числом характеризовались коровы черно-пестрой породы. Нормальные показатели тромбоцитов у крупного рогатого скота определяются как 120 000–800 000/мкл крови. Наши данные согласуются с данными других исследователей [3, 19]. Уровни MPV и PDW укладываются в норму 4,5–6,7 фл и 14–17 % соответственно. Достаточно низкий уровень тромбоцитов у коров голштинской породы отражается на том, что у них снижен уровень тромбокрита (норма 0,15–0,4). У животных черно-пестрой и красной степной пород PCT в пределах нормы.

В табл. 2 представлены лейкоцитарные параметры у исследуемых коров. Общее количество лейкоцитов варьировало в пределах нормальных значений (5–16 $\times 10^9$/л), что свидетельствует о способности организма формировать эффективный иммунный ответ. Для оценки клеточного состава лейкоцитов нами использовался лейкоцитарный профиль, определяемый как абсолютное количество отдельных популяций лейкоцитов. Анализ абсолютного количества клеток позволяет избежать ошибочных суждений, связанных с пограничными значениями, поскольку лейкоцитарная формула соответствует профилю, только когда общее количество лейкоцитов находится в середине референсного интервала.

Таблица 2

Лейкоцитарные параметры у коров молочных пород в Западной Сибири
Leukocyte parameters of dairy cows in Western Siberia

Показатель	Порода								
	Голштинская			Черно-пестрая			Красная степная		
	$\bar{x} \pm Sx$	σ	*Cv*, %	$\bar{x} \pm Sx$	σ	*Cv*, %	$\bar{x} \pm Sx$	σ	*Cv*, %
WBC, $\times 10^9$/л	14,21±0,23	1,74	12,2	9,92 ±0,29	2,59	26,1	9,02±0,14	1,03	11,41
	W = 0,96, p = 0,106			*W* = 0,99, p = 0,573			*W* = 0,98, p = 0,363		
BAS, $\times 10^9$/л	*Me* = 0			*Me* = 0			*Me* = 0		
	W = 0,38, p < 0,001			*W* = 0,49, p < 0,001			*W* = 0,18, p < 0,001		
EOS, $\times 10^9$/л	*Me* = 0,12			*Me* = 0,88			*Me* = 0,207		
	W = 0,88, p < 0,001			*W* = 0,96, p = 0,024			*W* = 0,92, p < 0,001		
NEUT палочкоядер.,$\times 10^9$/л	*Me* = 0,09			*Me* = 0			*Me* = 0,069		
	W = 0,4, p < 0,001			*W* = 0,69, p < 0,001			*W* = 0,4, p < 0,001		
NEUT сегментоядер., $\times 10^9$/л	3,38±0,05	0,37	10,9	2,28±0,023	0,21	9,21	2,68±0,02	0,16	6,27
	W = 0,98, p = 0,408			*W* = 0,98, p =0,152			*W* = 0,98, p = 0,628		
LYM, $\times 10^9$/л	*Me* = 9,48			5,53 ±0,27	2,47	44,7	4,94 ±0,28	2,16	43,7
	W = 0,9, p < 0,001			*W* = 0,98, p = 0,404.			*W* = 0,97, p = 0,153		
MON, $\times 10^9$/л	0,26±0,008	0,06	23,1	*Me* = 0,15			0,29±0,01	0,08	27,6
	W = 0,98, p = 0,537			*W* = 0,91, p < 0,001			*W* = 0,96, p = .075		
ИИР	*Me* = 26,26			*Me* = 33,5			*Me* = 28		
	W = 0,96, p = 0,038			*W* = 0,92, p < 0,001			*W* = 0,9, p < 0,001		
НЛИ	*Me* = 0,32			*Me* = 0,34			*Me* = 0,57		
	W = 0,92, p < 0,001			*W* = 0,87, p < 0,001			*W* = 0,98, p = 0,306		
ИСТЛ	15,68±0,18	0,84	5,36	57,4±0,26	2,23	12,7	*Me* = 58,79		
	W = 0,95, p = 0,311			*W* = 0,98, p = 0,375			*W* = 0,94, p = 0,008		

Примечание. WBC – абсолютное число лейкоцитов, EOS – абсолютное число эозинофилов, BAS – абсолютное число эозинофилов, LYM – абсолютное число лимфоцитов, MON – абсолютное число эозинофилов, NEUT – абсолютное число нейтрофилов, ИИР – индекс иммунореактивности, НЛИ – нейтрофильно-лимфоцитарный индекс, ИСТЛ – индекс соотношения тромбоцитов к лимфоцитам.

Абсолютное количество всех типов лейкоцитов находилось в пределах физиологической нормы, которая для базофилов составляет 0,00–0,35 $\times 10^9$/л, для эозинофилов – 0,00–1,30 $\times 10^9$/л, нейтрофилов без деления по степени зрелости – 0,60–4,90 $\times 10^9$/л, лимфоцитов – 2,50–11,80 $\times 10^9$/л и моноцитов – 0,00–1,02 $\times 10^9$/л. На рисунке представлена диаграмма размаха лейкоцитарного профиля, которая отражает лимфоцитарный профиль крови у крупного рогатого скота, а также демонстрирует, что более высокой фенотипической изменчивостью всех типов клеток, кроме эозинофилов, характеризуются коровы голштинской породы.

Соотношение клеток в лейкоцитарном профиле достаточно широко используется для оценки неспецифических реакций адаптации, поскольку является интегральным показателем баланса гомеостатических систем и защитных механизмов организма. Индексы иммунореактивности, нейтрофильно-лимфоцитарный и соотношения тромбоцитов к лимфоцитам (см. табл. 2) в последние годы активно обсуждаются и широко представлены в исследовательских работах, потому что позволяют провести скринин-

говую оценку состояния иммунной системы и прогнозировать течение и исход патологических процессов. При расчете указанных индексов учитывается количество лимфоцитов, особенно ответственных за адаптивный иммунитет, что при лимфоцитарном типе крови у крупного рогатого скота приобретает значимость. Фенотипическое разнообразие лимфоцитов, создаваемое мембранными антигенными детерминантами, обеспечивает элиминацию антигенов, регулируемую BOLA класса I [20]. Сегодня есть упоминания о том, что взаимодействия и соотношения между нейтрофилами, тромбоцитами и лимфоцитами отражают адаптивный ответ, возможно, точнее, чем уровни рецепторов цитотоксических Т-лимфоцитов PDL-1 и PD1 [21]. Более низкие уровни НЛИ и ИСТЛ и, наоборот, более высокие значения индекса иммунореактивности, формируемые при высоких уровнях лимфоцитов, являются благоприятными прогностическими предикторами в каждой области применения, отражая сохраненный иммунный баланс. Нормальные значения перечисленных индексов у крупного рогатого скота требуют обсуждения, особенно в плане породной принадлежности. Последние десятилетия активно обсуждаются биологические роли тромбоцитов, не связанные с гемостатической функцией. Установлено, что тромбоциты обладают характеристиками клеток, связанных с врожденным иммунитетом [22].

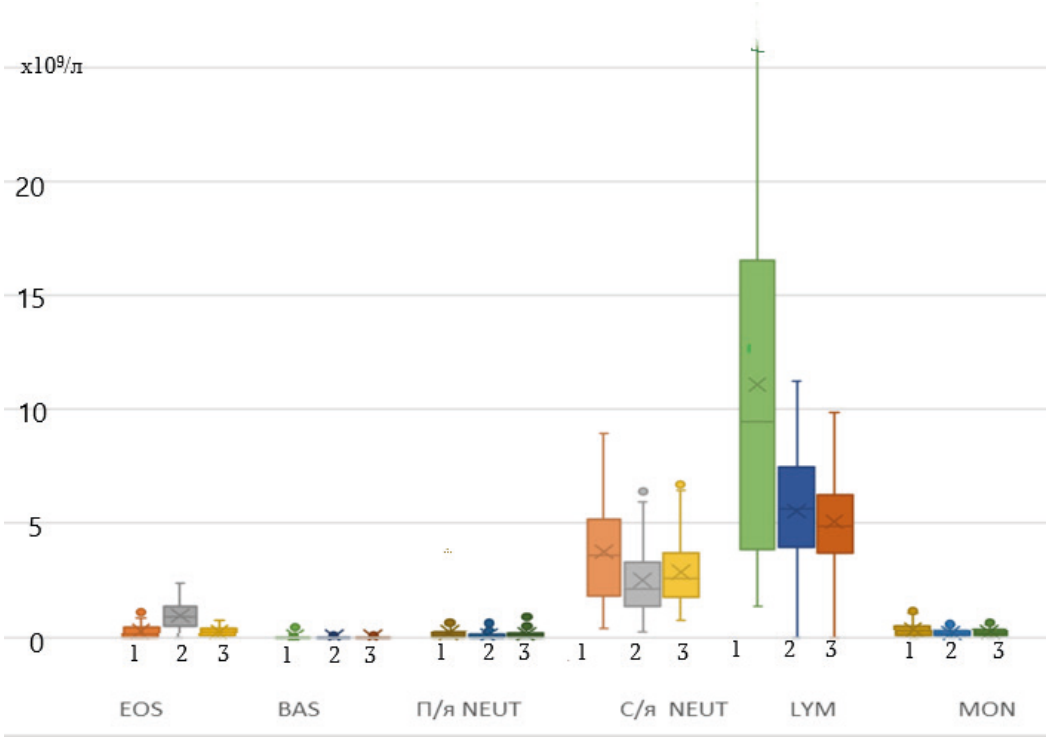


Диаграмма размаха показателей лейкоцитарного профиля коров разных пород Западной Сибири: *1* – голштинская порода, *2* – черно-пестрая, *3* – красная степная, п/я NEUT – палочкоядерные нейтрофилы, с/я NEUT – сегментоядерные нейтрофилы

Diagram of the range of indicators of the leukocyte profile of cows of different breeds of Western Siberia: *1* – Holstein breed, *2* – black-and-white, *3* – red steppe, p/u NEUT – band neutrophils, p/u NEUT – segmented neutrophils

Оценивая межпородные различия при нормальном распределении, равенстве и однородности дисперсий, применяли однофакторный дисперсионный анализ. В иных случаях использовали критерий Краскера–Уоллеса (табл. 3). Нами установлены различия между породами практически по всем изученным показателям кроме эритроцитов, MCV, базофилов, палочкоядерных нейтрофилов, индекса иммунореактивности.

Таблица 3

Влияние фактора породы на гематологические показатели у коров в Западной Сибири
Influence of breed factor on hematological parameters in cows in Western Siberia

Показатель	Критерий Фишера	p-value	Показатель	Критерий Краске-ра–Уоллеса	p-value
RBC	0,1083	0,1083	НСТ	32,6206	$8,251e^{-8}$
MCV	0,04603	0,955	MPV	19,3039	0,0000643
HGB	12,7752	0,000007123	ИСТЛ	43,0673	$4,447e^{-10}$
PLT	12,2735	0,00001204	Эозинофилы	75,8503	0
PCT	22,008	$3,702e^{-9}$	Базофилы	6,1782	0,0554
WBC	24,2516	$4,216e^{-10}$	Палочкоядерные нейтрофилы	12,5648	0,06444
			Сегментоядерные нейтрофилы	7,0852	0,02894
			Лимфоциты	22,2069	0,00001506
			Моноциты	10,4666	0,005336
			ИИР	5,0139	0,08152
			НЛИ	18,3838	0,0001019

Примечание. P > 0,05 – статистически значимых различий между группами нет.

При апостериорных сравнениях, проведенных в зависимости от характера распределения с помощью теста Тьюки или теста Данна, в большинстве случаев подтверждены межпородные различия (табл. 4). Уровни гемоглобина, эозинофилов, сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов у коров голштинской и красной степной пород не отличались. У животных черно-пестрой и красной степной пород количество тромбоцитов, лейкоцитов, сегментоядерных нейтрофилов, общее число лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов, тромбокрит, ИСТЛ не отличалось.

Таблица 4

Апостериорные сравнения гематологических показателей при установлении межпородных различий у коров в Западной Сибири
Post hoc comparisons of hematological parameters when establishing interbreed differences in Western Siberian cows

Показатель	Голштинская – черно-пестрая	Голштинская – красная степная	Черно-пестрая – красная степная
Статистика теста Тьюки (p-value)			
HGB	2,903 ($8,837e^{-11}$)	1,8785 (0,3817)	14,8546 ($8,813e^{-11}$)
Тромбоциты	6,8187 (0,00001072)	4,2655 (0,008467)	3,4501 (0,04188)
PCT	9,1084 ($4,176e^{-9}$)	8,6286 ($2,347e^{-8}$)	0,6181 (0,9001)
Лейкоциты	7,8289 ($3,067e^{-7}$)	9,2938 ($1,512e^{-9}$)	2,223 (0,2604)
Статистика теста Данна (p-value)			
MPV	0,8128 (0,4163)	2,0641 (0,03901)	4,3767 (0,00001205)
НСТ	5,1804 ($1,107e^{-7}$)	2,4967 (0,006268)	3,8336 (0,00006313)
Эозинофилы	7,4334 ($1,057e^{-13}$)	0,5827 (0,5601)	7,2356 ($4,636e^{-13}$)
Сегментоядерные нейтрофилы	2,5475 (0,01085)	0,7925 (0,4281)	1,7892 (0,07358)
Лимфоциты	3,5658 (0,0003628)	4,5529 (0,00005291)	1,3437 (0,179)
Моноциты	3,2352 (0,001216)	1,824 (0,06814)	1,3558 (0,1752)
ИСНЛ	1,2329 (0,2176)	4,0736 (0,00004629)	3,1621 (0,00004629)
ИСТЛ	6,2568 ($3,929e^{-10}$)	6,0303 ($1,636e^{-9}$)	0,04415 (0,9648)

Примечание. P > 0,05 – статистически значимых различий между группами нет.

Коровы голштинской породы превосходили животных других пород по общему количеству лейкоцитов, лимфоцитов, при этом характеризовались наиболее низким числом тромбоцитов, а также низким тромбокритом и тромбоцитарно-лимфоцитарным индексом. Комплекс перечисленных особенностей отражает наиболее высокий адаптационный потенциал этой породы. Для коров черно-пестрой породы был характерен наиболее высокий уровень гематокрита, эозинофилов, тромбоцитов, для красной степной – наиболее высокий уровень гемоглобина, моноцитов и средний объем тромбоцитов. По гематокриту ранжированный ряд пород в порядке уменьшения выглядит следующим образом: черно-пестрая – красная степная – голштинская.

В зоотехнической и ветеринарной практике может возникать проблема расхождения референсных интервалов (РИ), предоставляемых производителями лабораторных тестов или оборудования, с данными, получаемыми при исследовании животных. Это определяет необходимость выработки референсных интервалов для конкретной популяции. Нами были рассчитаны РИ для всех гематологических показателей для трех оцениваемых пород. В данной статье мы приводим РИ с 90 % ДИ верхнего и нижнего пределов для показателей лейкоцитарного профиля, как наименее часто встречающиеся в литературных источниках.

Таблица 5

Референсные интервалы лейкоцитарного профиля у коров в Западной Сибири, $\times10^9$/л
Reference intervals of leukocyte profile in cows in Western Siberia, $\times10^9$/l

Показатель	Породы	РИ	90 % ДИ нижнего предела	90 % ДИ верхнего предела
WBC	Голштинская	3,3–28,2	2,3–5,56	24,937–31,463
	Черно-пестрая и красная степная	5,5–11,2	5,06–5,94	10,76–11,64
BAS	Для всех пород	0,07–0,28	0,03–0,11	0,23–0,32
EOS	Голштинская и красная степная	0,04– 0,38	0,01–0,08	0,35–0,42
	Черно-пестрая	0,22–1,39	0,09–0,34	1,26–1,51
NEUT палочкоядерные	Для всех пород	0,05–0,20	0,04–0,07	0,18–0,22
NEUT сегментоядерные	Голштинская и красная степная	0,70–4,58	0,37–1,04	4,25–4,92
	Черно-пестрая	0,48–3,02	0,22–0,74	2,76–3,29
LYM	Голштинская и красная степная	2,71–6,95	2,27–3,15	6,51–7,40
	Черно-пестрая	2,82–8,75	2,22–3,42	8,14–9,35
MON	Голштинская и красная степная	0,05–0,38	0,02–0,08	0,35–0,41
	Черно-пестрая	0,06–0,32	0,03–0,09	0,29–0,35

Гематологические исследования являются неотъемлемой частью процесса принятия решений зоотехническими и ветеринарными специалистами. Существуют различия в РИ показателей гемограммы у здоровых животных не только разных видов, но и породы, пола, направления продуктивности, периода онтогенеза. Особое значение приобретает правильная оценка гематологического статуса коров с высоким уровнем молочной продуктивности, поскольку это позволяет оценивать здоровье в условиях максимальных нагрузок на организм, а также обеспечивает возможность сравнения данных между различными селекционными группами.

ВЫВОДЫ

1. У коров голштинской, черно-пестрой, красной степной пород в возрасте 30–60 дня 2-й лактации, выращиваемых в Западной Сибири, были определены средние значения гематологических показателей, которые в большинстве случаев находились в пределах физиологических норм, что свидетельствует об оптимальном течении гемопоэтических процессов и адаптации животных к технологическим и климатогеографическим условиям.

2. По комплексу гематологических показателей (общему количеству лейкоцитов, лимфоцитов, тромбоцитов, уровню тромбокрита, тромбоцитарно-лимфоцитарному индексу) наиболее высоким адаптационным потенциалом характеризовались коровы голштинской породы.

3. Установленные по большинству параметров межпородные различия свидетельствуют о генетической детерминации гематологических показателей у крупного рогатого скота.

4. Определенные РИ для гематологических показателей коров голштинской, черно-пестрой, красной степной пород с уровнем продуктивности 9 000–10 000 кг обеспечивают возможность сравнения результатов с данными по другим породам, а также позволяют вести сравнительный мониторинг между регионами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hematological* and performance parameters trend in steers and heifers in feed lot and supplemented with palm oil (Elaeis guineensis jack) / E.J. Flores-Santiago [et al.] // International Journal of Veterinary Science. – 2023. – Vol. 12, N 3. – P. 414–421. – DOI: 10.47278/journal.ijvs/2022.206.
2. *Productive* Performance and Blood Biochemical Parameters of Dairy Cows Fed Different Levels of High-Protein Concentrate / N. Buryakov [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol. 9. – C. 852240. – DOI: 10.3389/fvets.2022.852240.
3. *Вариабельность* гематологических показателей у коров в зависимости от физиологического статуса / М.Л. Кочнева, А.И. Зенкова, К.В. Жучаев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4 (65). – С. 122–131. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-122-131.
4. *Bao E.L.*, *Cheng A.N., Sankaran V.G.* The genetics of human hematopoiesis and its disruption in disease // EMBO molecular medicine. – 2019. – Т. 11, N 8. – P. e10316. – DOI: 10.15252/emmm.201910316 10.15252/emmm.201910316.
5. *Genetic* Basis of Blood-Based Traits and Their Relationship with Performance and Environment in Beef Cattle at Weaning / J. Chinchilla-Vargas [et al.] // Front. Genet. – 2020. – Vol. 11. – P. 717. – DOI: 10.3389/fgene.2020.00717.
6. *Evaluation* of four veterinary hematology analyzers for bovine and ovine blood counts for in vitro testing of medical devices / I.L. Pieper [et al.] // Artificial Organs. – 2016. – Vol. 40, N 11. – P. 1054–1061. – DOI: 10.1111/aor.12703.
7. *Биохимические* и морфологические показатели крови коров с субклинической формой мастита / Т.В. Зубова, В.А. Плешков, О.В. Смоловская, А.В. Семечкова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 181–189. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-181-189.
8. *Biochemical* and Haematological Blood Parameters at Different Stages of Lactation in Cows / C.O. Coroian [et al.] // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies. – Vol. 74 (1). – P. 31–36. – DOI: 10.15835/buasvmcn-asb:12283.
9. *Comparative* evaluation of hematological parameters in Hardhenu, Hariana and Sahiwal cattle at different age groups / D. Kumar [et al.] // Journal of Animal Research. – 2017. – Vol. 7, N 1. – C. 33–38. – DOI: 10.5958/2277-940X.2017.00006.7.
10. *Variability* of basic blood parameters in dependence of physiological status in highly productive cows / V.M. Gukezhev [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Vol. 254. – C. 08021. – DOI: 10.1051/e3sconf/202125408021.
11. *Characterization* of the promoter region of bovine ATP5B: roles of MyoD and GATA1 in the regulation of basal transcription / Z. Zhao [et al.] // Animal Biotechnology. – 2022. – Vol. 33, N 4. – C. 757–764. – DOI: 10.1080/10495398.2020.1837848.

12. *Fetal* origin of the GATA1 mutation in identical twins with transient myeloproliferative disorder and acute megakaryoblastic leukemia accompanying Down syndrome / A. Shimada [et al.] // Blood. – 2004. – Vol. 103, N 1. – C. 366–366. – DOI: 10.1182/blood-2003-09-3219.
13. *Impacts* of heat stress on blood metabolic in different periods of lactation and pregnancy in Holstein cows / O.A. Saeed [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 779, N 1. – C. 012013. – DOI: 10.1088/1755-1315/779/1/012013.
14. *Effect* of microclimatic variables on physiological and hematological parameters of crossbred cows in summer season / R. Sinha [et al.] // Indian Journal of Animal Research. – 2019. – Vol. 53, N 2. – C. 173–177. – DOI: 10.18805/ijar.B-3480.
15. *Revollo J.R., Cidlowski J.A.* Mechanisms generating diversity in glucocorticoid receptor signaling // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2009. – Vol. 1179, N 1. – C. 167–178. – DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04986.x.
16. *Effects* of glucocorticoids and mineralocorticoids on proliferation and maturation of human peripheral blood stem cells / S. Grafte Faure [et al.] // American journal of hematology. – 1999. – Vol. 62, N 2. – P. 65–73. – DOI: 10.1002/(sici)1096-8652(199910)62:2<65::aid-ajh1>3.0.co;2-g.
17. *Физиологический* статус быков производителей трех пород в эколого-климатических условиях Алтайского края / Л.В. Осадчук, М.А. Клещев, О.И. Себежко [и др.] // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием, Воронеж, 18–22 сентября 2017 года. – Воронеж, 2017. – С. 2482–2484. – EDN XXZQTZ.
18. *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. – EDN AVKKTQ.
19. *Joerling J., Doll K.* Monitoring of iron deficiency in calves by determination of serum ferritin in comparison with serum iron: A preliminary study // Open Veterinary Journal. – 2019. – Vol. 9, N 2. – C. 177–184. – DOI: 10.4314/ovj.v9i2.14 10.4314/ovj.v9i2.14.
20. *BoLA* class I allele diversity and polymorphism in a herd of cattle / S. Babiuk [et al.] // Immunogenetics. – 2007. – Vol. 59. – P. 167–176. DOI: 10.1007/s00251-006-0173-7.
21. *Inflammatory* and autoimmune predictive markers of response to anti-PD-1/PD-L1 therapy in NSCLC and melanoma / A.A. Musaelyan [et al.] // Experimental and Therapeutic Medicine. – 2022. – Vol. 24, N 3. – P. 1–12. – DOI: 10.3892/etm.2022.11495.
22. *Blood* platelets as activators and regulators of inflammatory and immune reactions. Part 2. Thrombocytes as participants of immune reactions / N.B. Serebryanaya [et al.] // Medical Immunology (Russia). – 2019. – Vol. 21, N 1. – P. 9–20. – DOI: 10.15789/1563-0625-2019-1-9-20.

REFERENCES

1. Flores-Santiago EDJ, González-Garduño R, Sosa-Pérez G, Villa-Mancera A and Córdova-Pérez C, Hematological and performance parameters trend in steers and heifers in feed lot and supplemented with palm oil (Elaeis guineensis Jack), *International Journal of Veterinary Science*, 2023. Vol. 12 (3), pp. 414–421, doi.org/10.47278/journal.ijvs/2022.206.
2. Buryakov, N., Aleshin, D., Buryakova, M., Zaikina, A., Nasr, M., Nassan, M., Fathala, M., Productive Performance and Blood Biochemical Parameters of Dairy Cows Fed Different Levels of High-Protein Concentrate, *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, Vol. 9, pp. 852240, DOI: 10.3389/fvets.2022.852240.
3. Kochneva M.L., Zenkova A.I., Zhuchaev K.V. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 4 (65), pp. 122–131, DOI 10.31677/2072-6724-2022-65-4-122-131. (In Russ.)
4. Bao E.L., Chen, A.N., Sankaran V.G., The genetics of human hematopoiesis and its disruption in disease, *EMBO Molecular Medicine,* 2019, T. 11, No. 8, pp. e10316, DOI: 10.15252/emmm.201910316 10.15252/emmm.201910316.
5. Chinchilla-Vargas J., Kramer L.M., Tucker J.D. [et al.], Genetic Basis of Blood-Based Traits and Their Relationship with Performance and Environment in Beef Cattle at Weaning, *Front. Genet*, 2020, Vol. 11, pp. 717, DOI: 10.3389/fgene.2020.00717.

6. Pieper I.L., Friedmann Y., Jones A., Thornton C., Evaluation of Four Veterinary Hematology Analyzers for Bovine and Ovine Blood Counts for In Vitro Testing of Medical Devices, *Artificial Organs*, 2016, Vol. 40 (11), pp. 1054–1061. – DOI: 10.1111/aor.12703.
7. Zubova T.V., Pleshkov V.A., Smolovskaya O.V., Semechkova A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet*), 2023, No. 2 (67), pp. 181–189, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-181-189. (In Russ.)
8. Coroian C.O., Mireșan V., Coroian A. [et al.], Biochemical and haematological blood parameters at different stages of lactation in cows. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, 2017, Vol. 74 (1), pp. 31–36, DOI: 10.15835/buasvmcn-asb:12283.
9. Kumar D., Kumar S., Gera S. [et al.], Comparative evaluation of hematological parameters in Hardhenu, Hariana and Sahiwal cattle at different age groups, *Journal of Animal Research*, 2017, Vol. 7 (1), pp. 33–38, DOI: 10.5958/2277-940X.2017.00006.7.
10. Gukezhev V.M., Kurashev J.H., Zhekamukhov M.H. [et al.], Variability of basic blood parameters in dependence of physiological status in highly productive cows, *In E3S Web of Conferences*, 2021, Vol. 254, pp. 08021, DOI: 10.1051/e3sconf/202125408021.
11. Zhao Z., Raza S.H.A., Luo Y. [et al.], Characterization of the promoter region of bovine ATP5B: roles of MyoD and GATA1 in the regulation of basal transcription, *Animal Biotechnology*, 2022, Vol. 33 (4), pp. 757–764, DOI: 10.1080/10495398.2020.1837848.
12. Shimada A., Xu G., Toki T. [et al.], Fetal origin of the GATA1 mutation in identical twins with transient myeloproliferative disorder and acute megakaryoblastic leukemia accompanying Down syndrome, *Blood*, 2004, Vol. 103 (1), pp. 366–366, DOI: 10.1182/blood-2003-09-3219.
13. Saeed O.A. [et al.], Impacts of heat stress on blood metabolic in different periods of lactation and pregnancy in Holstein cow*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2021, Vol. 779, No. 1, pp. 012013, DOI: 10.1088/1755-1315/779/1/012013.
14. Sinha R., Kamboj M.L., Ranjan A., Devi I., Effect of microclimatic variables on physiological and hematological parameters of crossbred cows in summer season, *Indian Journal of Animal Research*, 2019, Vol. 53(2), pp. 173–177, DOI: 10.18805/ijar.B-3480.
15. Revollo J.R., Cidlowski J.A., Mechanisms generating diversity in glucocorticoid receptor signaling, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009, Vol. 1179 (1), pp. 167–178, DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04986.x.
16. Grafte-Faure S., Leveque C., Vasse M., Soria C., Norris V., Vannier J.-P., Effects of glucocorticoids and mineralocorticoids on proliferation and maturation of human peripheral blood stem cells. *American Journal of Hematology*, 1999, Vol. 62 (2), pp. 65–73, Doi: 10.1002/(sici)1096-8652(199910)62:2<65::aid-ajh1>3.0.co;2-g.
17. Osadchuk L.V., Kleshchev M.A., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S. Petukhov V.L., *Materialy XXIII s"ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. IP Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem* (Materials of the XXIII Congress of the Physiological Society named after. I. P. Pavlova with international participation), Voronezh, September 18–22, 2017, Voronezh: Istoki Publishing House, 2017, pp. 2482–2484. (In Russ.)
18. Sebezhko O.I., Narozhnykh K.N., Korotkevich O.S., Aleksandrova D.A., Morozov I.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2021, No. 2 (59), pp. 91–105, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-91-105. (In Russ.)
19. Joerling J., Doll K., Monitoring of iron deficiency in calves by determination of serum ferritin in comparison with serum iron: A preliminary study, *Open Veterinary Journal*, 2019, Vol. 9 (2), pp. 177–184, DOI: 10.4314/ovj.v9i2.14 10.4314/ovj.v9i2.14.
20. Babiuk S., Horseman B., Zhang C. [et al.], BoLA class I allele diversity and polymorphism in a herd of cattle, *Immunogenetics*, 2007, Vol. 59, pp. 167–176, DOI: 10.1007/s00251-006-0173-7.
21. Musaelyan A.A., Lapin S.V., Urtenova M.A. [et al.], Inflammatory and autoimmune predictive markers of response to anti-PD-1/PD-L1 therapy in NSCLC and melanoma, *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2022, Vol. 24 (3), pp. 1–12, DOI:10.3892/etm.2022.11495.
22. Serebryanaya N.B., Shanin S.N., Fomicheva E.E., Yakutseni P.P., Blood platelets as activators and regulators of inflammatory and immune reactions. Part 2. Thrombocytes as participants of immune reactions, *Medical Immunology (Russia)*, 2019, Vol. 21 (1), pp. 9–20, DOI: 10.15789/1563-0625-2019-1-9-20.

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-270-280
УДК 636.082.2

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ПЛЕМЕННАЯ ЦЕННОСТЬ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ, ОТ КОТОРЫХ ПОЛУЧЕНЫ КОРОВЫ С РЕКОРДНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ

О.Л. Хромова, старший научный сотрудник
Н.И. Абрамова, кандидат сельскохозяйственных наук
М.О. Селимян, научный сотрудник
Н.В. Зенкова, научный сотрудник
Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия
E-mail: sznii@list.ru

Ключевые слова: быки-производители, коровы-рекордистки, происхождение, племенная ценность, генетический потенциал, молочная продуктивность.

Реферат. *В селекционно-племенной работе с крупным рогатым скотом молочного направления продуктивности важным является отбор лучших особей и их эффективное использование в популяциях. Целью исследования являлось изучение происхождения, генеалогической принадлежности, генотипа и племенной ценности быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью. Исследование проводили по 15 быкам-производителям – отцам 20 коров-рекордисток черно-пестрой породы племенных хозяйств Вологодской области. По результатам изучения происхождения быков, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью, установлено, что из 15 производителей являются импортными 9 быков и 6 получены в племенных хозяйствах Российской Федерации. У четырех быков, родившихся в племенных заводах России, один или оба родителя имеют зарубежное происхождение. Большинство (14) отцов рекордисток имеют в своем генотипе от 94 % до 100 % кровности по голштинской породе и относятся к генеалогическим линиям голштинской селекции. Генетический потенциал производителей реализован дочерьми – рекордистками на 101,9–176,7 %. По результатам расчета селекционного дифференциала установлено, что все быки оказали положительное влияние на молочную продуктивность исследуемого потомства. Их дочери превосходят по надою за наивысшую лактацию своих матерей от 1052 до 9222 кг молока. Изучение племенной ценности быков, полученной по результатам централизованной оценки методом BLUP, показало, что 12 из 15 исследуемых быков – отцов коров-рекордисток – являются улучшателями по признаку молочной продуктивности. Проведенное исследование показало значительный вклад зарубежной генетики в получение высокопродуктивных животных в отечественных стадах. В результате многолетней селекционной работы созданы животные с высоким потенциалом продуктивности, которых необходимо использовать для получения конкурентоспособного отечественного племенного материала.*

HE ORIGIN AND BREEDING VALUE OF THE BREEDING BULLS FROM WHICH COWS WITH RECORD PRODUCTIVITY WERE OBTAINED

O.L. Khromova, Senior Researcher
N.I. Abramova, PhD in Agricultural Sciences
M.O. Selimyan, Researcher
N.V. Zenkova, Researcher
Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia
E-mail: sznii@list.ru

Keywords: breeding bulls, record-breaking cows, origin, breeding value, genetic potential, dairy productivity.

Abstract. *In selection and breeding work with cattle for dairy productivity, it is important to select the best individuals and their effective use in populations. The purpose of the study was to study the origin, genealogical affiliation, genotype and breeding value of sires from which cows with record productivity were obtained. The study was carried out on 15 sires - fathers of 20 record-breaking cows of the black and white breed of breeding farms in the Vologda region. Based on the results of studying the origin of bulls from which cows with record productivity were obtained, it was found that out of 15 sires, 9 bulls were imported and 6 were obtained from breeding farms of the Russian Federation. Four bulls born in Russian breeding farms have one or both parents of foreign origin.*

The majority (14) of the record-breaking fathers have from 94% to 100% Holstein blood in their genotype and belong to the genealogical lines of the Holstein selection. The genetic potential of the sires was realized by record-breaking daughters by 101.9% - 176.7%. Based on the results of calculating the selection differential, it was established that all bulls had a positive effect on the milk productivity of the studied offspring. Their daughters are superior in milk yield for the highest lactation of their mothers from 1052 kg to 9222 kg of milk. The study of the breeding value of bulls obtained from the results of a centralized assessment using the BLUP method showed that 12 out of 15 studied bulls - fathers of record cows - are improvers in terms of milk productivity. The study showed the significant contribution of foreign genetics to the production of highly productive animals in domestic herds. As a result of many years of breeding work, animals with high productivity potential have been created, which must be used to obtain competitive domestic breeding material.

Селекционная работа в молочном скотоводстве базируется на целенаправленном использовании лучших генотипов с целью качественного совершенствования существующих пород, повышения племенных и продуктивных признаков животных. Выявление лучших генотипов зарубежной и отечественной селекции для дальнейшего использования на популяциях молочных пород является важнейшей задачей системы племенного скотоводства [1]

В условиях интенсификации молочного скотоводства особое значение приобретает получение и племенное использование высокопродуктивных коров. Отечественные и зарубежные ученые считают, что коровы с рекордной продуктивностью являются достижением в племенной работе и служат показателем генетического потенциала породы, который реализуется в определенных природно-хозяйственных условиях [2–4].

По мнению А.С. Делян, М.С. Мышкиной, Н.А. Федосеевой, наличие в стаде коров-рекордисток является важнейшим показателем, характеризующим результативность селекционной работы [5].

В.М. Гукежев, М.С. Габаев, Ж.Х. Жашуев считают, что высокопродуктивные животные – основа рентабельного и конкурентоспособного молочного производства, а совершенствование разводимой породы скота зависит от формирования высокопродуктивного стада, методов отбора коров, результатов генетического анализа признаков, имеющих практическое хозяйственное значение [6].

В работах многих отечественных и зарубежных ученых отмечается, что получение высокопродуктивных животных и эффективность их использования в стаде всегда представляли огромный интерес для селекционеров [7–10].

В.Ю. Якимова, Е.Н. Мартынова указывают, что разведение коров с рекордной продуктивностью всегда было значимой областью в селекционно-племенной работе, так как они ценятся не только большим количеством производимой продукции, но и тем, что от таких животных можно получить высококлассное потомство [7].

И.В. Гончаренко считает, что получение высокопродуктивных коров и коров-рекордисток является фундаментом племенной работы. По его мнению, коров-рекордисток по удою, как в прошлом, так и в настоящее время, не без основания считают самым ценным заводским материалом, особенно для получения препотентных племенных быков. Поэтому вполне закономерно, что интерес к животным с выдающейся молочной продуктивностью с годами не ослабевает [11].

Важным аспектом селекционной работы является выявление высокопродуктивных коров и изучение их происхождения: от каких родителей они получены, какие быки-производители дают потомство с рекордной для данной популяции продуктивностью.

Многими исследователями установлено, что наиболее значимым в селекции является генетический фактор «бык-отец», который оказывает достоверное влияние на продуктивные и воспроизводительные признаки дочерей [12–14].

В.П. Гавриленко и Г.А. Бушова (Ульяновская ГСХА) изучали влияние факторов «линия», «генотип», «производитель» на молочную продуктивность и плодовитость коров 1-го отёла и определили, что наиболее значимым при селекции молочного скота является генетический фактор «производитель» при высокой достоверности влияния ($P < 0,001$) [15].

В результате исследований В. Буярова, А. Шендакова, Т. Шендаковой на популяции

молочного скота Орловской области выявлено, что факторы «кровность» и «линия» достоверно влияли только на фенотипическую изменчивость живой массы телок от рождения до 18 мес., а фактор «бык» (отец) – еще и на удой, молочный жир и белок у дочерей [16].

Учеными из Гродненского ГАУ Республики Беларусь установлено, что наибольшую и достоверную силу влияния на изменчивость продолжительности использования коров оказали из генетических факторов индивидуальные особенности отца (η2 = 47,95–53,50 %) [17].

По мнению Т.В. Лепехиной, Ф.Р. Бакай, быки-производители являются основным генетическим резервом для совершенствования молочного скота. Тщательный отбор и оценка производителей обеспечивают положительную динамику селекционного процесса в популяциях молочных пород [18].

Эффективность молочного скотоводства в регионах России тесно связана с успешной селекционно-племенной работой. Важным направлением этого процесса является улучшение генетического потенциала продуктивных признаков животных за счет использования высокоценных быков-производителей [19, 20].

Реализация генетического потенциала является важным показателем при оценке влияния быков-производителей на продуктивные признаки дочерей. В исследованиях ученых отмечается следующая тенденция: чем выше потенциал производителя, тем меньше он реализуется. Это связано с тем, что высокопродуктивные животные более требовательны к условиям содержания и кормления [21].

В современных условиях импортозамещения во всех отраслях российской экономики важным направлением селекционно-племенной работы с молочными породами крупного рогатого скота является получение отечественных производителей, которые могут составить конкуренцию зарубежному племенному материалу как по уровню генетического потенциала, так и по его реализации.

В связи с этим научный и практический интерес представляет изучение происхождения и племенной ценности быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью.

Целью исследования являлось изучение происхождения, генеалогической принадлежности, генотипа и племенной ценности быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью в популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы Вологодской области.

Новизна исследования заключается в том, что впервые на современном племенном поголовье голштинизированного скота черно-пестрой породы в условиях Вологодской области изучено, из каких стран мира, от каких поставщиков поступает в племенные хозяйства семя быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью свыше 15 000 кг молока, установлен метод получения быков, проведен сопоставительный анализ их племенной ценности, определенной на основе расчета селекционного дифференциала и методом BLUP.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводили по быкам-производителям – отцам 20 коров-рекордисток черно-пестрой породы Вологодской области, отобранных рейтинговым методом по уровню молочной продуктивности за 305 дней наивысшей лактации по итогам бонитировки за 2021 г. на массиве 24 757 коров племенных хозяйств. Исследовательскую базу формировали с использованием данных многохозяйственной версии информационно-аналитической системы «Селэкс. Молочный скот».

Информацию о происхождении быков-производителей и поставщиках их семени вносили в базу на основе данных каталогов быков – производителей ОАО «Племпредприятие «Вологодское», АО «Племпредприятие «Череповецкое», АО «Московское» по племенной работе», электронного ресурса «Быки РФ» (https://xn--90aof1e.xn--p1ai/bulls/list).

Генетический потенциал быков-производителей рассчитывали по формуле (Н.З. Басовский, 1983)[1]:

[1] *Басовский Н.З.* Популяционная генетика в селекции молочного скота. – М.: Колос, 1983. – 256 с.

$$ГП = (М + МО)/2,$$

где *М* и *МО* – показатели продуктивных признаков за наивысшую лактацию матери и матери отца быка.

Селекционный дифференциал быков-производителей определяли как разность между средней продуктивностью дочерей быка и матерей этих дочерей (Л.С. Жебровский, 2000)[2]:

$$SDо = Мд – Мм,$$

где *М*д – средняя продуктивность дочерей быка, *М*м – средняя продуктивность матерей дочерей.

Статистическая и биометрическая обработка данных проводилась с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методом рейтингового отбора в популяции племенного поголовья черно-пестрой породы Вологодской области были выявлены 20 коров с рекордным надоем за 305 дней наивысшей лактации, превышающим 15000 кг молока (табл. 1). Среднее значение показателя надоя за 305 дней наивысшей лактации по отобранным коровам составило 15695 кг молока. Величина надоя за 305 дней максимальной лактации варьирует от 15282 до 16353 кг молока. Средний возраст коров при максимальной продуктивности составил 2,9 лактации.

Таблица 1

Продуктивные признаки по наивысшей лактации коров-рекордисток черно-пестрой породы
Productive signs of the highest lactation of record-breaking black-and-white cows

№	Кличка, инв. № коровы	№ лак.	Надой за 305 дн., кг	Кличка, инв. № отца	Код организации–поставщика семени быка*	Код хоз-ва**
1	Аорта 5080	2	16 353	Перец 31	1	1
2	Вода 7957	2	16 249	К.Э. АльтаР 2 62916235	4	2
3	Гайка 1095	6	16 239	Алтай 10575	1	3
4	Орлянка 943	3	16 032	Трубач 174	1	3
5	Аспирантка 4651	3	15 989	Перец 31	1	1
6	Адамка 3859	2	15 941	Перец 31	1	1
7	Редкая 4898	2	15 927	Ретирмент 11720463	2	4
8	Рафаэлька 5085	2	15 829	Опек-М 465473	3	1
9	Камея 2448	3	15 799	Рояль 678	1	6
10	Инфанта 5380	2	15 620	Мишрет 106070030	5	1
11	Титана 4450	3	15 585	АльтаФокал 64700398	4	1
12	Свежесть 9399	3	15 574	АльтаЙота 61898306	4	2
13	Глубь 1068	6	15 415	Апрель361	1	3
14	Отгадка 896	3	15 412	Версаль 5442	1	3
15	Сигара 4767	3	15 355	Хагрид 61684197	3	1
16	Смола 8184	2	15 350	Ног Раулио-М 490480	3	2
17	Анфибия 5157	2	15 349	Ног Раулио-М 490480	3	1
18	Караготка 4804	3	15 307	Ног Раулио-М 490480	3	1
19	Курсовка 5298	3	15 283	Ремарк 2519202631	1	5
20	Сударыня 8500	3	15 282	Ремарк 2519202631	1	2
Среднее:		2,9	15 695			

Источник: ИАС «Селэкс. Молочный скот»; каталоги быков – производителей ОАО «Племпредприятие «Вологодское», АО «Племпредприятие «Череповецкое», АО «Московское» по племенной работе», электронный ресурс «Быки РФ» (https://xn--90aof1e.xn--p1ai/bulls/list) (дата обращения: 15.08.2023 г.).

Примечание. Код организации – поставщика семени быка: 1 – ОАО «Племпредприятие «Вологодское», 2 – АО «Племпредприятие «Череповецкое», 3 – АО «Московское» по племенной работе», 4 – ООО «Альта Дженетикс Раша», 5 – АО «ГЦВ»
Код хозяйства**: 1 – СХПК «Присухонское», 2 – СХПК «ПЗ Майский», 3 – СПК «Тотемский», 4 – ПЗ–колхоз «Аврора», 5 – АО «Племзавод Родина», 6 – АО «Агрофирма имени Павлова».

[2] *Жебровский Л.С.* Селекция животных. – Уфа, 2000. – С. 101–107.

Коровы-рекордистки получены в шести племенных хозяйствах области от 15 быков-производителей. Среди отцов рекордисток следует отметить быков Перец 31 и Ног Раулио-М 490480, от которых получено по три коровы с рекордным удоем, и быка Ремарк 2519202631, от которого получено две коровы, из числа отобранных рекордисток. Также важным является то, что у быков Ног Раулио-М 490480 и Ремарк 2519202631 высокопродуктивные дочери получены в разных хозяйствах, соответственно при разных условиях кормления и содержания.

Отцами рекордисток являются быки, семя которых в племенные хозяйства области было поставлено пятью организациями по племенному животноводству, в том числе ОАО «Племпредприятие «Вологодское» – 7 быков, АО «Московское» по племенной работе» – 3, ООО «Альта Дженетикс Раша» – 3, АО «Племпредприятие «Череповецкое» – 1, АО «ГЦВ» – 1.

Следует отметить тот факт, что основными поставщиками семени быков, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью, являются отечественные компании.

Изучение происхождения быков – отцов рекордисток по странам, где они родились, показало, что 6 из них, или 40 %, получены в племенных хозяйствах России, 3 – в США, 3 – в Германии, 2 – в Канаде и 1 – в Дании (табл. 2).

Таблица 2

Происхождение быков-производителей – отцов коров-рекордисток
The origin of bulls-producers – fathers of cows-recordists

№ п/п	Кличка, инв. № быка	Страна происхождения		
		Быка	Отца быка	Матери быка
1	АльтаФокал 64700398	США	США	США
2	АльтаЙота 61898306	США	США	США
3	Алтай 10575	Россия	Россия	Россия
4	Апрель361	Россия	Россия	Россия
5	Версаль 5442	Россия	Канада	Россия
6	К.Э.АльтаР2 62916235	США	США	США
7	Мишрет 106070030	Канада	Канада	Канада
8	Ног Раулио-М 490480	Германия	Германия	Германия
9	Опек-М 465473	Германия	Канада	Германия
10	Перец 31	Россия	США	Россия
11	Ремарк 2519202631	Дания	США	Дания
12	Ретирмент 11720463	Канада	США	США
13	Рояль 678	Россия	Канада	Нидерланды
14	Трубач 174	Россия	Германия	Россия
15	Хагрид 61684197	Германия	США	Германия

Источник: каталоги быков-производителей ОАО «Племпредприятие «Вологодское», АО «Племпредприятие «Череповецкое», АО «Московское» по племенной работе», электронный ресурс: «Быки РФ» (https://xn--90aof1e.xn--p1ai/bulls/list) (дата обращения: 15.08.2023 г.).

Отечественные быки-производители получены в племенных заводах Вологодской, Ленинградской, Владимирской и Нижегородской областей. Бык Алтай 10575 получен в АО «ПЗ Родина», Апрель 361 – в ПЗ-колхозе «Аврора», Трубач 174 – ПЗ-колхозе имени 50-летия СССР Вологодской области. Бык Перец 31 получен в ЗАО ПЗ «Рабитицы» Ленинградской области, Рояль 678 – в ЗАО «Имени Ленина» Владимирской области, Версаль 5442 – в ООО «ПЗ Пушкинское» Нижегородской области.

В то же время анализ происхождения отцов и матерей быков выявил, что в генотипе восьми производителей, в том числе и у четырех быков, рожденных в России, присутствуют гены популяций разных стран.

Так, у отечественного быка Версаль 5442 отец получен в Канаде, мать – в ООО «ПЗ Пушкинское» Нижегородской области. Бык Перец 31 рожден от американского быка Плато 9173, Трубач 174 получен от отца германского происхождения. А бык Рояль 678 родился в ЗАО «Имени Ленина» Владимирской области от матери, завезенной из Нидерландов, и отца канадской селекции.

Среди отечественных отцов коров-рекордисток имеют российское происхождение родители у быков Алтай 10575 и Апрель 361.

Изучение генеалогической принадлежности отцов рекордисток показало, что они относятся к четырем линиям голштинской селекции и одной линии черно-пестрой породы отечественной селекции (табл. 3).

Таблица 3

Генеалогическая принадлежность, метод получения и генотип по голштинской породе быков – отцов коров-рекордисток

Genealogical affiliation, method of obtaining and genotype according to the Holstein breed of bulls – fathers of record cows

№ п/п	Кличка, инв. № быка	Код линии отца	Код линии матери	Метод получения	Генотип быка, %
1	АльтаФокал 64700398	6	1	Кросс линий	100
2	АльтаЙота 61898306	1	6	Кросс линий	100
3	Алтай 10575	51	51	Линейный	–
4	Апрель 361	6	1	Кросс линий	94
5	Версаль 5442	5	5	Линейный	100
6	К.Э.АльтаР2 62916235	6	1	Кросс линий	100
7	Мишрет 106070030	6	1	Кросс линий	100
8	Ног Раулио-М 490480	191	5	Кросс линий	100
9	Опек-М 465473	1	1	Линейный	100
10	Перец 31	1	1	Линейный	99
11	Ремарк 2519202631	1	1	Линейный	100
12	Ретимент 11720463	6	1	Кросс линий	100
13	Рояль 678	5	1	Кросс линий	100
14	Трубач 174	1	1	Линейный	100
15	Хагрид 61684197	1	1	Линейный	100

Источник: каталоги быков-производителей ОАО «Племпредприятие «Вологодское», АО «Племпредприятие «Череповецкое», АО «Московское» по племенной работе», электронный ресурс «Быки РФ» (https://xn--90aof1e.xn--p1ai/bulls/list) (дата обращения: 15.08.2023 г.).

Примечание. Код генеалогической линии 1 – Вис Бэк Айдиал 1013415; 5 – Монтвик Чифтейн 95679; 6 – Рефлекшн Соверинг 198998; 51 – Примус 59; 191 – Пабст Говернер 882933.

К линии Вис Бэк Айдиал 1013415 принадлежат 6 быков-производителей, Рефлекшн Соверинг 198998 – 5, Монтвик Чифтейн 95679 – 2, по одному быку относятся к линиям Пабст Говернер 882933 и Примус 59. Практически выборка коров с лучшей продуктивностью по максимальной лактации представляет все основные линии генеалогической структуры современной популяции черно-пестрой породы Вологодской области.

В результате исследования метода получения быков с учетом сочетаемости линий отца и матери установлено, что половина из них получены внутрилинейным подбором (7 быков), а вторая половина – на основе кросса линий (8 быков).

Из линейных производителей большинство относится к генеалогической линии Вис Бэк Айдиал 1013415. Полученные данные свидетельствуют о том, что оба метода сочетаемости

линий могут способствовать получению животных с выдающимися качествами.

Большинство быков – отцов коров рекордисток (14, или 93 %) имеют в своем генотипе от 94 до 100 % кровности по голштинской породе, что указывает на значительное влияние голштинской селекции при получении высокопродуктивных животных. Только Алтай 10575 линии Примус 59 является чистопородным быком черно-пестрой породы.

Расчет и анализ генетического потенциала исследуемых быков по молочной продуктивности материнских предков выявил значительную разницу в уровне племенной ценности производителей (табл. 4). Показатели генетического потенциала по удою варьируют от 9190 до 15942 кг. Тем не менее следует отметить, что у большинства быков (11 из 15) генетический потенциал по молочной продуктивности материнских предков превышает 12000 кг.

Расчет реализации генетического потенциала позволил установить, что по молочной продуктивности потенциал реализован более чем на 100 % дочерьми-рекордистками всех быков. Первые места по рейтингу реализации молочной продуктивности материнских предков заняли производители, полученные в племенных хозяйствах России. Максимальный уровень реализации потенциала продуктивности 176,7 % отмечается у дочери быка Алтая 10575 линии Примус 59 отечественной селекции.

Таблица 4

Племенная ценность быков-производителей по генетическому потенциалу и селекционному дифференциалу признака молочной продуктивности
Breeding value of breeding bulls by genetic potential and breeding differential of milk productivity trait

Кличка, инв. № быка	ГП быка, кг	Реализация (ГП), %	Продуктивность за 305 дней наивысшей лактации, кг		SDo быка, кг
			дочерей	матерей дочерей	
АльтаФокал 64700398	14 848	105,0	15 585	9 860	5 725
АльтаЙота 61898306	14 200	109,7	15 574	11 762	3 812
Алтай 10575	9 190	176,7	16 239	10 540	5 699
Апрель 361	11 290	136,5	15 415	10 389	5 026
Версаль 5442	13 430	114,8	15 412	11 679	3 733
К.Э.АльтаР2 62916235	15 942	101,9	16 249	7 027	9 222
Мишрет 106070030	13 725	113,8	15 620	14 568	1 052
Ног Раулио-М 490480	12 588	121,8	15 335	11 241	4 094
Опек-М 465473	13 407	118,1	15 829	13 595	2 234
Перец 31	13 075	123,1	16 094	12 190	3 904
Ремарк 2519202631	12 819	119,2	15 283	8 506	6 777
Ретирмент 11720463	15 598	102,1	15 927	7 745	8 182
Рояль 678	10 940	144,4	15 799	11 900	3 899
Трубач 174	13 966	114,8	16 032	10 437	5 595
Хагрид 61684197	11 839	129,7	15 355	12 893	2 462

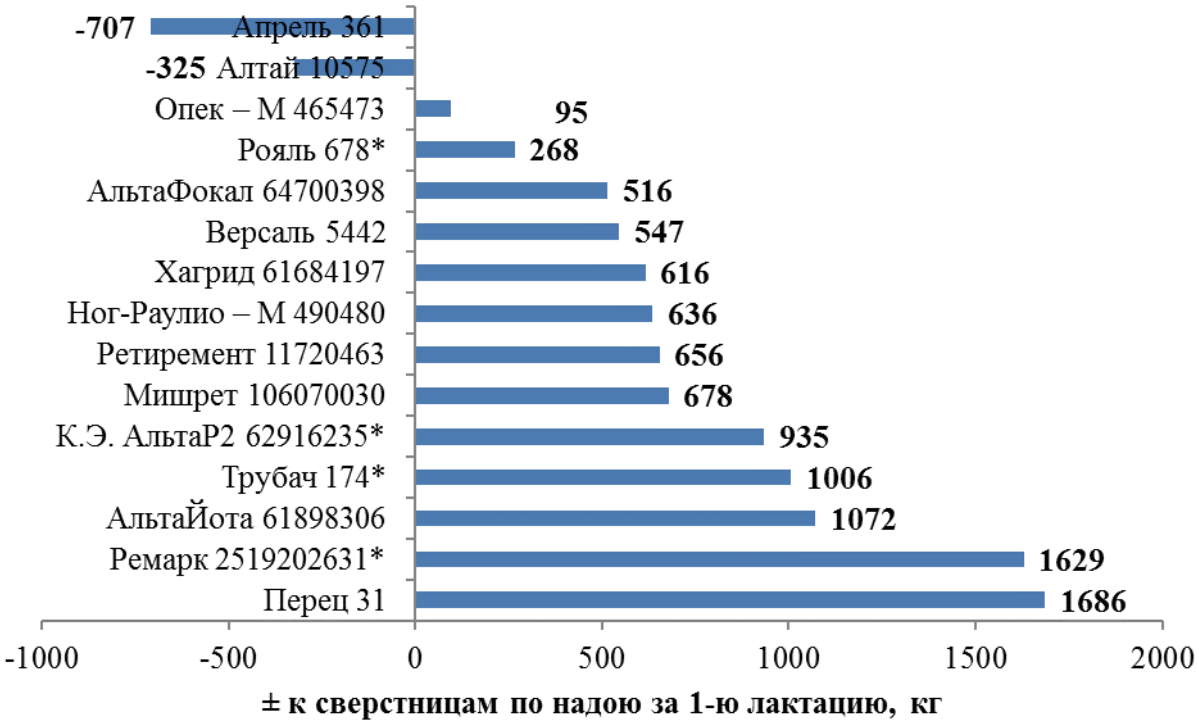
На втором месте по реализации потенциала молочной продуктивности находится бык-производитель Рояль 678, у которого дочь за 3-ю лактацию реализовала его потенциал на 144,4 %. На третьем месте – бык Апрель 361 с реализацией потенциала дочерью за 6-ю лактацию на 136,5 %.

По результатам расчета селекционного дифференциала установлено, что все быки оказали положительное влияние на молочную продуктивность дочерей-рекордисток. Их дочери превосходят своих матерей по надою за наивысшую лактацию на 1052–9222 кг молока.

Сопоставительный анализ генетического потенциала быков и надоя за наивысшую лак-

тацию матерей их дочерей показал, что коровы-рекордистки получены на основе однородного или улучшающего подбора по признаку молочной продуктивности.

Безусловно, единичный случай получения от быка высокопродуктивной дочери не является обоснованием считать его улучшателем молочной продуктивности. Для подтверждения положительного влияния исследуемых быков на молочную продуктивность потомства была изучена их племенная ценность по результатам централизованной оценки методом BLUP коллективом сотрудников ВНИИплем, выполненной по заказу Минсельхоза РФ по итогам 2020 и 2021 гг. (рисунок).



Результаты централизованной оценки быков-производителей по признаку молочной продуктивности потомства методом BLUP

The results of the centralized evaluation of bulls-producers on the basis of the milk productivity of offspring by the BLUP method

Источник: электронный ресурс: https://vniiplem.com/home/ (дата обращения: 22.08.2023 г.).
*Каталог быков-производителей молочных и молочно-мясных пород, оцененных по качеству потомства в 2021 г.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем, Москва. 2021. – 269 с.

Анализ результатов централизованной оценки показал, что большинство исследуемых быков – отцов рекордисток (12) являются улучшателями по признаку молочной продуктивности. Высокие показатели превосходства над сверстницами по надою – более 1000 кг – имеют дочери быков Перца 31 (+1686 кг), Ремарка (+1629 кг), Альта Йота (1072 кг) и Трубача 174 (1006 кг).

Потомство быков Алтая 10575 и Апреля 361 уступает сверстницам по надою за первую лактацию, а быка Опек – М 465473 следует отнести к нейтральным, так как его дочери имеют надой, равный со сверстницами, их превосходство составило +95 кг молока.

ВЫВОДЫ

1. Наличие коров с рекордными надоями выше 15 000 кг молока в племенных хозяйствах свидетельствует о высоком потенциале популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы Вологодской области.

2. Генетический потенциал по молочной продуктивности материнских предков быков – отцов рекордисток неоднороден. У большинства производителей (73 %) генетический потен-

циал превышает 12000 кг молока. Реализация потенциала по молочной продуктивности дочерьми-рекордистками всех быков составила более чем 100 %: от 101,9 до 176,7 %.

3. На основании расчета селекционного дифференциала определено положительное влияние всех подконтрольных быков на молочную продуктивность исследуемого потомства коров-рекордисток. Величина показателей превосходства дочерей над матерями по надою за 305 дней наивысшей лактации составила от 1052 до 9222 кг молока.

4. Результаты централизованной оценки племенной ценности быков-производителей методом BLUP, проведенные в ФГБНУ ВНИИплем, подтвердили улучшающее влияние на молочную продуктивность потомства двенадцати из пятнадцати исследуемых быков.

5. В результате исследования происхождения быков, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью, установлено, что из 15 производителей являются импортными 9 быков и 6 получены в племенных хозяйствах Российской Федерации. У четырех быков, родившихся в племенных заводах России, один или оба родителя имеют зарубежное происхождение.

6. Большинство отцов рекордисток (93 %) имеют в своем генотипе от 94 до 100 % кровности по голштинской породе и относятся к генеалогическим линиям голштинской селекции. Проведенный анализ свидетельствует о значительном вкладе зарубежной генетики при получении высокопродуктивных животных в отечественных стадах.

7. На сегодняшний день в отечественных популяциях молочных пород в процессе скрещивания с голштинской породой за довольно продолжительный промежуток времени созданы стада с высоким уровнем молочной продуктивности. В генотипе животных этих стад заключены качества популяций из разных стран, которые могут работать на улучшение признаков будущих поколений отечественного молочного скота. Исследование показало, что в племенных заводах различных регионов России получают быков, не уступающих по племенной ценности импортным производителям. Подтверждением этому являются такие быки, как Перец 31, Трубач 174, Версаль 5442.

8. Полученные результаты исследования свидетельствуют о наличии в племенных хозяйствах Вологодской области животных с высоким потенциалом продуктивности, подтверждают возможность получения конкурентоспособного отечественного племенного материала для дальнейшего развития популяции молочного скота с использованием собственных племенных ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамова Н.И., Зенкова Н.В., Селимян М.О.* Перспективы развития молочного скотоводства в Вологодской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2. – С. 133–141. – DOI: 10.31677/2072–6724–2023–67–2–133–141.
2. *Павлова Т.В., Казаровец Н.В., Мартынов А.В.* Влияние генотипических факторов на долю коров с высокой и рекордной продуктивностью в дойных стадах Республики Беларусь // Генетика и разведение животных. – 2015. – № 2. – С. 16–21.
3. *Лебедько Е.Я.* Получение, выращивание и использование высокопродуктивных коров в селекционно–племенной работе // Мировая наука. – 2019. – № 5 (26). – С. 403–406.
4. *Esslemont R.J., Kossaibati M.A.* Incidence of production diseases and other health problems in a group of dairy herds in England // Vet. Rec. – 1996. – P. 487–490.
5. *Делян А.С., Мышкина М.С., Федосеева Н.А.* Хозяйственные и биологические особенности коров–рекордисток черно-пестрого скота // Молочное и мясное скотоводство. – 2015. – № 6. – С. 14–16.
6. *Высокопродуктивные* животные стада, их значение и рациональное использование / В.М. Гукежев [и др.] // Известия ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». – 2020. – № 57 (4). – С. 128–132
7. *Якимова В.Ю., Мартынова Е.Н.* Хозяйственно-биологические особенности высокопродуктивных коров разного уровня продуктивности в условиях племенных заводов Удмуртской Республики // Известия Оренбургского ГАУ. – 2020. – № 4 (84). – С. 286–290.
8. *Johnson K.* The production of good guality milk at silverstream farm // Agr. In Ire. – 1989. – P. 8.

9. *Martens H., Bange C.* Longevity of high producing dairy cows: a case study // Lohmann Information. – 2013. – Vol. 48 (1) – P. 53–57.
10. *Lifetime* production of high–yielding dairy cows / Ž. Novaković [et al.] // Biotechnology in Animal Husbandry. – 2014. – № 30 (3). – P. 399–406.
11. *Гончаренко И.В.* Продуктивные и воспроизводительные качества коров-рекордисток голштинской породы // The Scientific Heritage. – 2019. – № 38–1 (38). – С. 3–8.
12. *Влияние* и результаты использования быков–производителей на популяциях молочного скота Вологодской области / Н.И. Абрамова [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2020. – № 2 (38). – С. 8–19.
13. *Factors* affecting genetic improvement for milk production of dairy cattle at farm level in Central Thailand / M. Sarakul [et al.] // Proceedings of the 48th Kasetsart University Conference, Animals, February 3–5, 2010. – Bangkok (Thai). – 2010. – P. 150–157.
14. *Хромова О.Л.* Эффективность использования быков различной селекции в популяции черно–пестрой породы // АгроЗооТехника. – 2021. – Т. 4, № 3. – С. 1–10.
15. *Гавриленко В.П., Бушова Г.А.* Генетические факторы, их роль в селекции молочного скота // Вестник Ульяновской ГСХА (Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия). – 2010. – № 1. – С. 36–39.
16. *Буяров В., Шендаков А., Шендакова Т.* Эффективность селекции молочного скота // Животноводство России. – 2011. – № 1. – С. 41–42.
17. *Коршун С.И., Климов Н.Н.* Основные генетико–статистические параметры показателей продуктивного долголетия и пожизненной продуктивности молочного скота // Таврический научный обозреватель. – 2016. – № 5–2 (10). – С. 33–37.
18. *Лепёхина Т.В., Бакай Ф.Р., Папурина О.Ю.* Использование племенных быков голштинской породы в Вологодской области // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 4 (56). – С. 20–26.
19. *Племенная* ценность быков-производителей черно-пестрой породы различного происхождения / Н.И. Абрамова [и др.] // Зоотехния. – 2019. – № 8. – С. 2–7.
20. *Холодова Л.В.* Генетический потенциал и племенная ценность быков–производителей // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2. – С. 106–113. – DOI: 10.31677/2072–6724–2020–55–2–106–113.
21. *Кондрашкова И.С., Яковлева Т.П.* Оценка племенной ценности быков черно-пестрой породы Приобского типа // Вестник Алтайского ГАУ (Алтайский государственный аграрный университет). – 2017. – № 1 (147). – С. 84–92.

REFERENCES

1. Abramova N.I., Zenkova N.V., Selimyan M.O., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 2, pp. 133–141. (In Russ.)
2. Pavlova T.V., Kazarovec N.V., Martynov A.V., *Genetika i razvedenie zhivotnyh*, 2015, No. 2. pp. 16–21. (In Russ.)
3. Lebed'ko E.YA., *Mirovaya nauka*, 2019, No. 5 (26), pp. 403–406. (In Russ.)
4. Esslemont R.J., Kossaibati M.A., *Veterinary Record,* 1996, pp. 487–490.
5. Delyan A.S., Myshkina M.S., Fedoseeva N.A., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2015, No. 6, pp. 14–16. (In Russ.)
6. Gukezhev V.M., Gabaev M.S., ZHashuev ZH.H., Temiraev V.H., *Izvestiya FGBOU VO Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet*, 2020, No. 57 (4), pp. 128–132. (In Russ.)
7. YAkimova V.YU., Martynova E.N., *Izvestiya Orenburgskogo GAU*, 2020, No. 4 (84), pp. 286–290. (In Russ.)
8. Johnson K., The production of good guality milk at silverstream farm, *Agricultural in ire,* 1989, pp. 8.
9. Martens H., Bange C., Longevity of high producing dairy cows: a case study, *Lohmann Information,* 2013, Vol. 48 (1), pp. 53–57.
10. Novaković Ž. [et al.], Lifetime production of high–yielding dairy cows Niksic, *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2014, No. 30 (3), pp. 399–406.
11. Goncharenko I.V., Produktivnye i vosproizvoditel'nye kachestva korov-rekordistok golshtinskoy porody, *The Scientific Heritage*, 2019, No. 38–1 (38), pp. 3–8. (In Ukraina)

12. Abramova N.I., Vlasova G.S., Bogoradova L.N., Hromova O.L., *Molochno-hozyajstvennyj vestnik*, 2020, No. 2 (38), pp. 8–19. (In Russ.)
13. Sarakul M., Koonawootrittriron S., Suwanasopee T., Elzo M.A., Hirunwong A., Thongprapi T., Factors affecting genetic improvement for milk production of dairy cattle at farm level in Central Thailand, *Proceedings of the 48th Kasetsart University Conference, Animals*, *February 3-5, 2010,* Bangkok (Thai), 2010, pp. 150–157.
14. Khromova O.L., *AgroZooTechnics*, 2021, T. 4, No. 3, pp. 1–10. (In Russ.)
15. Gavrilenko V.P., Bushova G.A., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2010, No. 1. pp. 36–39. (In Russ.)
16. Buyarov V., SHendakov A., SHendakova T., *ZHivotnovodstvo Rossii*, 2011, No. 1, pp. 41–42. (In Russ.)
17. Korshun S.I., Klimov N.N., *Tavricheskij nauchnyj obozrevatel'*, 2016, No. 5–2 (10), pp. 33–37. (In Russ.)
18. Lepyohina T.V., Bakaj F.R., Papurina O.YU., *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*, 2021, No. 4 (56), pp. 20–26. (In Russ.)
19. Abramova N.I., Vlasova G.S., Burgomistrova O.N., Hromova O.L., Bogoradova L.N., *Zootekhniya*, 2019, No. 8, pp. 2–7. (In Russ.)
20. Holodova L.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2, pp. 106–113, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-106-113. (In Russ.)
21. Kondrashkova I.S., YAkovleva T.P., *Vestnik Altajskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, No. 1 (147), pp. 84–92. (In Russ.)