

ISSN 2500-2082

Номер 1

Январь–Февраль 2025

Научно-теоретический журнал

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

DOI: 10.31857



НАУКА
— 1727 —

$$Z_m^T(y, h) = P_m W(X_m(y, h))$$

$$F = -D \frac{dc}{dx} \approx -D \frac{c_2 - c_1}{l}$$

$$P = (m/n) \cdot x \cdot 100\%$$

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL
VESTNIK OF THE RUSSIAN AGRICULTURAL SCIENCE

№1 — Январь — Февраль — 2025
January — February

Издается с января 1992 года. Выходит 6 раз в год.
ISSN 2500-2082

© Российская академия наук, 2025
© «Вестник российской сельскохозяйственной науки», 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик РАН Н.К. Долгушкин

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
академики РАН

Авидзба А.М. (Национальный НИИ винограда и вина «Магарач»), **Баутин В.М.** (ВИАПИ имени А.А. Никонова — ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ), **Горлов И.Ф.** (Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции), **Иванов А.Л.** (Почвенный институт имени В.В. Докучаева), **Измайлов А.Ю.** (Федеральный научный агроинженерный центр РАН), **Каракотов С.Д.** (АО «Щелково Агрохим»), **Кашеваров Н.И.** (Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН), **Кулик К.Н.** (Федеральный научный центр агроэкологии РАН), **Петров А.Н.** (Всероссийский НИИ технологий консервирования), **Попов В.Д.** (Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства), **Савченко И.В.** (Всероссийский НИИ лекарственных и ароматических растений), **Синеговская В.Т.** (Всероссийский НИИ сои), **Фисинин В.И.** (Федеральный научный центр «ВНИТИП» РАН), **Якушев В.П.** (Агрофизический НИИ)

члены-корреспонденты РАН

Асеева Т.А. (Хабаровский ФИЦ ДВО РАН Дальневосточный НИИСХ), **Багиров В.А.** (Департамент координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования РФ)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР — С.Л. Сенина

Журнал в виде отдельной базы данных Russian Science Citation Index (RSCI) размещен на платформе Web of Science. Зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) и в Международной информационной системе Agris, а также включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук, отнесен к первой категории (К1) журналов.

Полные тексты статей размещаются на сайте научной электронной библиотеки: elibrary.ru

Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 32 А,
Отделение сельскохозяйственных наук РАН, оф. 1023
Тел.: 8 (495) 938-17-51, 8 (916) 504-79-50
E-mail: vrsn@vestnik-rsn.ru
<https://journals.rcsi.science/2500-2082/>
www.vestnik-rsn.ru

Published January 1992. Published 6 times a year.
ISSN 2500-2082

EDITOR
Academician of the RAS N.K. Dolgushkin

EDITORIAL BOARD:
Academician of the RAS

Avidzba A.M. (National Institute of Vine and Wine “Magarach”), **Bautin V.M.** (A.A. Nikonov All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics — Branch of the FSBSI “FSC For Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories — All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Economics”), **Gorlov I.F.** (Povolzhskiy (Volga) Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products), **Ivanov A.L.** (Soil Institute named after V. V. Dokuchayev), **Izmajlov A.Ju.** (Federal Scientific Agroengineering center RAS), **Karakotov S.D.** (JSC “Shchelkovo Agrokhim”), **Kashevarov N.I.** (Siberian Federal Scientific center of Agrobiotechnology of RAS), **Kulik K.N.** (Federal Scientific center of Agroecology RAS), **Petrov A.N.** (All-Russian Research Institute of Canning Technology), **Popov V.D.** (Institute of Agroengineering and environmental problems of agricultural production), **Savchenko I.V.** (All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants), **Sinegovskaya V.T.** (All-Russian Research Institute of Soy), **Fisinin V.I.** (Federal Scientific Center “VNITIP” RAS), **Yakushev V.P.** (Agrophysical Research Institute)

Corresponding member of the RAS

Aseeva T.A. (Khabarovsk FRC FEB RAS Far Eastern Agricultural Institute), **Bagirov V.A.** (Department of coordination of organizations in the field of agricultural Sciences of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation)

EXECUTIVE EDITOR — S.L. Senina

The journal to a separate database of RSCI posted on the Web of Science platform. Registered in the Russian science citation index (RSCI) and the International information system Agris.

Full texts of articles are placed on the website of electronic library: elibrary.ru

Address: 119334, Moscow, Leninsky prospekt, 32 A,
Department of Agricultural Sciences of the RAS, of. 1023
Tel.: +7 (495) 938-17-51, +7 (916) 504-79-50
E-mail: vrsn@vestnik-rsn.ru
<https://journals.rcsi.science/2500-2082/>
www.vestnik-rsn.ru

Содержание / Contents

● ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА

- 4** 95 ЛЕТ ЕВГЕНИЮ НИКОЛАЕВИЧУ СЕДОВУ

● КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ. СЕССИИ / CONFERENCES. SYMPOSIUMS. SESSIONS

- 5** Крайнов Г.Н. / Краунов G.N.
ИТОГИ VII ПРОФЕССОРСКОГО ФОРУМА В МОСКВЕ / RESULTS OF THE VII PROFESSOR FORUM IN MOSCOW

● РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ / CROP PRODUCTION AND SELECTION

- 7** Тырышкин Л.Г., Лосева В.А., Лебедева Т.В. и др. / Tyryshkin L.G., Loseva V.A., Lebedeva T.V. et al.
ЮВЕНИЛЬНАЯ И ВОЗРАСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗЦОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР К МУЧНИСТОЙ РОСЕ И ЛИСТОВОЙ РЖАВЧИНЕ / JUVENILE AND AGE RESISTANCE OF SOFT WHEAT SAMPLES FROM THE ALL-RUSSIAN INSTITUTE OF CROP PRODUCTION COLLECTION TO POWDERY MILDEW AND LEAF RUST
- 13** Ветрова О.А., Макаркина М.А., Леонтьева Л.И. / Vetrova O.A., Makarkina M.A., Leontieva L.I.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ СОРТА *ВЕНЬЯМИНОВСКОЕ* / RESULTS OF INVESTIGATION OF MINERAL NUTRITION AND WEATHER CONDITIONS INFLUENCE OF ON BIOCHEMICAL COMPOSITION OF *VENIYAMINOVSKOE* VARIETY APPLE TREE
- 19** Ожерельева З.Е., Прудников П.С., Ступина А.Ю., Болгова А.О. / Ozherelieva Z.E., Prudnikov P.S., Stupina A.Yu., Bolgova A.O.
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВЕСЕННИМ ЗАМОРОЗКАМ ЯБЛОНИ / STUDY OF THE INFLUENCE OF ORGANOMINERAL FERTILIZER ON THE RESISTANCE TO SPRING FROST OF APPLE TREE
- 24** Ряго Н.В., Хромова Т.М., Ташматова Л.В. / Ryago N.V., Khromova T.M., Tashmatova L.V.
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДИКИ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ СМОРОДИНЫ КРАСНОЙ (*RIBES RUBRUM* L.) С УЧЕТОМ ГЕНОТИПИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ / OPTIMIZATION OF THE CLONAL MICROPROPAGATION METHODOLOGY ELEMENTS OF RED CURRANT (*RIBES RUBRUM* L.) TAKING INTO ACCOUNT GENOTYPIC FEATURES
- 30** Захаров В.Л., Щучка Р.В., Кравченко В.А. и др. / Zakharov V.L., Shchuchka R.V., Kravchenko V.A. et al.
АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В ЯБЛОНЕВЫХ САДАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАО «15 ЛЕТ ОКТЯБРЯ» ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ / TESTING THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEACHED CHERNOZEM DEGRADATION DEGREE IN APPLE ORCHARDS USING THE EXAMPLE OF CJSC "15 YEARS OF OCTOBER" IN LIPETSK REGION
- 34** Шихмуратов А.З. / Shikhmuratov A.Z.
ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ДАГЕСТАНА / STUDY OF SPRING SOFT WHEAT COLLECTION MATERIAL FOR ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN DAGESTAN
- 37** Черкашина М.И., Алимгафаров Р.Р., Кузнецов И.Ю., Черкашина А.Г. / Cherkashina M.I., Alimgapharov R.R., Kuznetsov I.Yu., Cherkashina A.G.
ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ЛУКА РЕПЧАТОГО (*ALLIUM CEPA* L.) В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН / FORMATION OF THE ONION CROP (*ALLIUM CEPA* L.) IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF THE BASHKORTOSTAN REPUBLIC
- 42** Ариничева И.В., Григулецкий В.Г. / Arinicheva I.V., Griguletsky V.G.
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АРХИТЕКТОНИКА СТЕБЛЕЙ КАК ИНДИКАТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЛАКОВЫХ РАСТЕНИЙ К ПОЛЕГАНИЮ / PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND ARCHITECTONICS OF STEMS AS INDICATORS OF CEREAL PLANTS RESISTANCE TO LODDING
- ### ● НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / NEW TECHNOLOGIES
- 47** Панфилов В.А. / Panfilov V.A.
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ АПК БУДУЩЕГО / SYNERGISTIC FOUNDATIONS OF FUTURE AGRO-INDUSTRIAL TECHNOLOGIES

30ОТЕХНИА / ZOOTECHNICS

- 51** Лещёв М.В., Гавричкина А.А., Гавричкин А.А. / Leshchev M.V., Gavrichkina A.A., Gavrichkin A.A.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛАРВАЛЬНЫХ ЦЕСТОДОЗОВ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ
В ЯНАО / ENVIRONMENTAL FACTORS INFLUENCING THE SPREAD OF LARVAL CESTODOSIS OF REINDER IN THE YANAO
- 54** Коновалова Е.Н., Романенкова О.С., Гладырь Е.А. / Konovalova E.N., Romanenkova O.S., Gladyr E.A.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВЕДЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА АБЕРДИН-АНГУССКОЙ
ПОРОДЫ В РОССИИ / PROSPECTS FOR BREEDING AND IMPROVEMENT OF ABERDEEN ANGUS CATTLE IN RUSSIA
- 59** Кожевникова И.С., Худякова Н.А., Калмыкова М.С., Кашин А.С. / Kozhevnikova I.S., Khudyakova N.A.,
Kalmykova M.S., Kashin A.S.
УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА ЛЕПТИНА (САЙТ R25C) С ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫМИ
ПРИЗНАКАМИ / ASSOCIATING LEPTIN GENE POLYMORPHISM (SITE R25C) WITH ECONOMICALLY USEFUL TRAITS
- 63** Ивашенко М.Н., Дерюгина А.В., Белов А.А. и др. / Ivashchenko M.N., Deryugina A.V., Belov A.A. et al.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИОКОНСЕРВАЦИИ СПЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА МОЛЕКУЛЯРНЫМ
ВОДОРОДОМ / IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF CRYOPRESERVATION OF CATTLE SPERM WITH MOLECULAR
HYDROGEN
- 67** Ключникова Н.Ф., Ключников М.Т., Ключникова Е.М. / Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov M.T., Klyuchnikova E.M.
СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ КОРОВ / SEASONAL VARIABILITY OF COWS
REPRODUCTIVE CAPACITY

ВЕТЕРИНАРНАЯ ЭНТОМОЛОГИА / VETERINARY ENTOMOLOGY

- 71** Домацкая Т.Ф., Домацкий А.Н. / Domatskaya T.F., Domatsky A.N.
ВЛИЯНИЕ ВЕТСПОРИНА-Ж НА РАЗВИТИЕ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ В УСЛОВИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ / INFLUENCE
OF VETOSPORIN-G ON THE BEE COLONS DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF THE TYUMEN REGION
- 74** Домацкая Т.Ф., Домацкий А.Н., Дольникова Т.Ю. и др. / Domatskaya T.F., Domatsky A.N., Dolnikova T.Yu. et al.
МОНИТОРИНГ ЭПИЗООТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАСЕК ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ И ДРУГИХ РЕГИОНОВ РОССИИ /
MONITORING THE EPIZOOTIC STATE OF APIARIES IN THE TYUMEN REGION AND OTHER REGIONS OF RUSSIA
- 77** Домацкий В.Н., Сивкова Е.И. / Domatsky V.N., Sivkova E.I.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ПРИ МЕЛОФАГОЗЕ ОВЕЦ / EFFECTIVENESS OF DRUGS IN SHEEP MELOPHAGOSIS
- 82** Столбова В.В., Мельничук А.Д., Зинатуллина З.Я., Крестовошина К.С. / Stolbova V.V., Melnichuk A.D.,
Zinatullina Z.Ya., Krestonoshina K.S.
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАХЕАЛЬНОГО КЛЕЩА ACARAPIS WOODI – ВОЗБУДИТЕЛЯ
АКАРАПИДОЗА МЕДОНОСНЫХ ПЧЕЛ / MODERN METHODS OF IDENTIFICATION OF THE TRACHEAL MITE
ACARAPIS WOODI – THE CAUSATIVE AGENT OF ACARAPIDOSIS IN HONEY BEES

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ /
PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEER SYSTEMS

- 87** Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Сибирёв А.В. и др. / Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. et al.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СЕПАРИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА /
THEORETICAL JUSTIFICATION OF DESIGN AND OPERATING-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF AUTOMATED
SEPARATING WORKING UNITS OF A POTATO HARVESTING MACHINE

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-63276 от 06 октября 2015 г.,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 00.00.2025. Дата выхода в свет 00.00.2025. Формат 60×88 1/8.

Усл. печ. л. 00,00. Уч.-изд. л. 00,00. Заказ № 00. Тираж 00 экз. Бесплатно.

Учредитель: Российская академия наук

Издатель: Российская академия наук, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 14

Исполнитель по контракту № 4У-ЕП-039-24

ФГБУ «Издательство «Наука», 121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.

Отпечатано в ФГБУ «Издательство «Наука», 121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.



22 февраля 2025 года исполняется 95 лет Евгению Николаевичу Седову — академику Российской академии наук, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заслуженному деятелю науки, крупному ученому по селекции семечковых культур.

Е.Н. Седов родился в г. Павловск Воронежской области. После окончания с отличием в 1952 году Воронежского СХИ поступил в аспирантуру при ВНИИ садоводства имени И.В. Мичурина, успешно защитил кандидатскую диссертацию. Институт имел всесоюзное значение и осуществлял научно-методическое руководство всеми научно-исследовательскими учреждениями страны своего профиля. Евгению Николаевичу было предложено место старшего научного сотрудника института или работа на Орловской плодово-ягодной опытной станции с гарантией заниматься селекцией. Молодой ученый выбрал второй вариант. Вся дальнейшая научная деятельность Евгения Николаевича неразрывно связана с Орловской плодово-ягодной станцией, которая в 1992 году была переименована во Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК). Преобразование опытной станции в крупный НИИ во многом стало возможным благодаря настойчивой и плодотворной работе Е.Н. Седова. Став крупным уникальным ученым в области селекции плодовых культур, он создал и воспитал успешный, сплоченный коллектив сотрудников.

Евгений Николаевич — ведущий селекционер страны по семечковым культурам и имеет мировую известность и признание. Автор около 100 сортов яблони и груши, 64 из которых включены в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию, создатель научной школы по приоритетным направлениям селекции семечковых культур. Наибольшее распространение получили сорта яблони: Болотовское, Веняминовское, Ветеран, Восторг, Имрус, Кандиль орловский, Орлик, Орловское полосатое, Память воину, Приокское, Поэзия, Рождественское, Синап орловский, Свежесть, Созвездие, Солнышко, Строевское и другие. Сорт Орловское полосатое на международной выставке в Эрфурте (ГДР) дважды (1977 и 1985 годы) присуждена золотая медаль. Под руководством Евгения Николаевича защищены 11 докторских и 14 кандидатских диссертаций. Он автор и соавтор 52 книг, 1000 научных статей, опубликованных в различных российских и зарубежных изданиях, им получено 52 авторских свидетельства на сорта, 3 патента на изобретения и 64 — на селекционные достижения.

Е.Н. Седовым разработан ряд инновационных направлений по созданию новых сортов плодовых и ягодных культур, позволяющих объединить и использовать специализацию и усилия селекционеров внутри своего института и в различных учреждениях страны. Созданные им вместе с соавторами сорта широко внедряются в России, Украине, Белоруссии, Финляндии.

Под руководством Евгения Николаевича впервые были развернуты крупнейшие в России исследования по созданию иммунных к парше сортов яблони. Получено более 40 таких сортов, из которых 31 включен в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Центральной России. Им впервые в мире на основе целенаправленных разнотетраплоидных скрещиваний выведены триплоидные сорта яблони с высокой товарностью плодов и более регулярным плодоношением. Из 19 триплоидных сортов, допущенных к использованию по Центральной России, 7 совмещают тройной набор хромосом с иммунитетом к парше.

Академиком созданы колонновидные сорта яблони, обладающие иммунитетом к парше, предназначенные для возделывания в суперинтенсивных садах.

По инициативе и при непосредственном участии Е.Н. Седова издан уникальный научный труд «Помология» в пяти томах, с детальным описанием всех сортов плодовых и ягодных культур, рекомендованных к возделыванию в нашей стране.

Работы Евгения Николаевича хорошо известны за рубежом. В 1998 году Международным Биографическим Центром (Кембридж, Англия) его имя внесено в Международный биографический справочник, в 1999 — присвоено звание «Международный Человек Тысячелетия», он вошел в число 2000 выдающихся интеллектуалов XX столетия с присуждением диплома и медали.

В 2010 году в связи с признанием профессионального опыта Ученым Советом Американского Биографического Института Е.Н. Седову присуждена Золотая медаль для России, а в 2012 году его имя включено в международный Словарь Профессионалов с присвоением именной пластины «Ключ к профессиональному успеху».

Евгений Николаевич Седов награжден двумя орденами «Трудового Красного Знамени» (1971, 1981), Орденом Почета (1995), орденами «За заслуги перед Отечеством IV степени» (2006) и «За заслуги перед Отечеством III степени» (2020), медалями «За доблестный труд — В ознаменование 100-летия В.И. Ленина» (1970), «Ветеран труда» (1984). Награжден Золотой медалью имени И.В. Мичурина (1974) и удостоен высшей награды МСХ РФ — Золотой медали «За вклад в развитие АПК России» (2005). Результаты его работы отмечены также золотой и двумя серебряными медалями ВДНХ, медалью «Лауреат ВВЦ», юбилейной медалью «300 лет Российской академии наук», премией имени В.Н. Хитрово.

В 1988 году Евгению Николаевичу Седову присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РСФСР», в 2009 — «Почетный гражданин Орла и Орловской области».

Отделение сельскохозяйственных наук РАН, редакционная коллегия и коллектив редакции нашего журнала сердечно поздравляют Евгения Николаевича со знаменательным юбилеем и желают доброго здоровья, семейного благополучия, свершения всех намеченных планов, а также новых достижений на благо отечественной и мировой науки!

ИТОГИ VII ПРОФЕССОРСКОГО ФОРУМА В МОСКВЕ

Григорий Никандрович Крайнов, доктор исторических наук, профессор
Российский университет транспорта, г. Москва, Россия
 E-mail: krainovgn@mail.ru

RESULTS OF THE VII PROFESSOR FORUM IN MOSCOW

G.N. Kraynov, Grand PhD in Historical Sciences, Professor
Russian University of Transport, Moscow, Russia
 E-mail: krainovgn@mail.ru

Общероссийская общественная организация «Российское профессорское собрание» была учреждена по инициативе профессоров в 2016 году для поддержки и развития академических свобод: формирования фундаментальных академических ценностей, стандартов научной и академической деятельности; развития российской науки и образования; консолидации наиболее авторитетной части научно-педагогических работников России; формирования профессионального общественного мнения и конструктивных предложений по основным вопросам развития науки и образования; всестороннего сотрудничества между представителями научных сообществ. [3] Сегодня Российское профессорское собрание — одна из ведущих общественных организаций, представляющая программные решения по основным вопросам развития науки и высшего образования, экономических и социальных преобразований в стране.

За семь лет работы Российским профессорским собранием были учреждены научные советы по 16 отраслям наук, созданы региональные отделения РПС в 82 субъектах России, объединившие более 6 тыс. профессоров из почти 500 вузов страны. Ежегодно РПС проводит различные мероприятия с участием более 10 тыс. человек, издательский отдел выпускает более 15 изданий. Для обеспечения правовой охраны и коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности РПС учрежден Центр интеллектуальной собственности, предоставляющий возможность депонирования результатов научной деятельности. [1]

Одно из важных направлений работы РПС — проведение при поддержке Министерства науки и высшего образования ежегодных Профессорских форумов. [2] С 12 по 14 ноября 2024 года в Москве на площадках Общественной палаты Российской Федерации, Российской академии образования, ведущих университетов России проходил седьмой Профессорский форум «Образование, наука, семья — основы развития России». Собралось более двух тысяч представителей научного сообщества: ректоры и сотрудники вузов, лидеры бизнес-объединений, в том числе из Белоруссии и Китая. Были проведены 8 тематических и 23 научно-отраслевые секции. По мнению организаторов, форум стал площадкой для конструктивного диалога между руководителями и представителями органов законодательной и исполнительной власти, научного, ректорского и академического корпусов, государственных и общественных деятелей, лидеров бизнес-сообществ, для выработки стратегии укрепления социокультурной идентичности и повышения уровня образования российского общества.

Спикерами круглых столов и секций выступили представители органов законодательной и исполнительной власти, государственные и общественные деятели: Владислав Валерьевич Гриб — председатель Российского профессорского собрания (РПС), заместитель секретаря Общественной палаты Российской Федерации; Владимир Михайлович Филиппов — председатель Наблюдательного совета Российского профессорского собрания, президент Российского университета дружбы народов, вице-президент Российской академии образования; Дмитрий Николаевич Чернышенко — заместитель председателя Правительства Российской Федерации; Валерий Николаевич Фальков — министр науки и высшего образования Российской Федерации; Ольга Юрьевна Васильева — президент Российской академии образования и другие. В мероприятиях также приняли активное участие ректоры ведущих вузов России. С приветственным словом выступили: Сергей Владимирович Кабышев — председатель комитета Государственной Думы РФ по науке и высшему образованию, Сергей Вадимович Степашин — президент Ассоциации вузов «Содействие отечественной профессуре», Александр Николаевич Шохин — председатель Российского союза промышленников и предпринимателей и другие.

Традиционно форум проходил в трехдневном формате. В его рамках были пленарное заседание, тематические секции: «Вектор развития высшего образования: стратегия и тактика», «Международная деятельность университетов», «Совместное заседание общественных советов при Рособназдоре, Минпросвещения России и Минобрнауки России», «Секция президентов университетов», «Лучшие практики университетов в воспитании молодежи», «Государственная регламентация образовательной деятельности», «Наукометрическая оценка научной деятельности, интеллектуальная собственность и цифровые технологии» и 23 научно-отраслевые секции. По итогам работы будет издан сборник научных трудов.

14 ноября 2024 года на сцене Конгресс-центра РЭУ имени Г.В. Плеханова состоялось пленарное заседание форума, которое открыл председатель РПС В.В. Гриб. Он поблагодарил Министерство науки и высшего образования РФ и Плехановский университет за помощь в организации мероприятия и отметил, что материалы и рекомендации, обсуждаемые на форуме, лягут в основу законодательных инициатив по дальнейшему регулированию деятельности университетов.

Заместитель Председателя Правительства РФ Д.Н. Чернышенко сказал, что Президент Владимир Владимирович Путин поставил перед нами цель реа-

лизовать потенциал молодежи, развивать ее таланты, воспитывать патриотичных и социально ответственных граждан, которые будут работать на благо России, укрепляя ее технологический суверенитет. Также он поздравил преподавателей вузов с предстоящим профессиональным праздником — Днем преподавателя высшей школы (19 ноября).

Глава Минобрнауки В.Н. Фальков в своем выступлении отметил роль семьи в формировании мировоззрения подрастающего поколения.

Ректор РЭУ имени Г.В. Плеханова Иван Васильевич Лобанов подчеркнул роль семьи в образовательном процессе: «Именно в семье формируются первичные ценности, мировоззрение и мотивация к обучению. Без крепкой семьи невозможно воспитать тех, кто завтра станет высококвалифицированными специалистами и учеными, будет развивать отечественную науку и инновации. В нашей стране есть научные династии, где из поколения в поколение передаются глубокие знания, опыт и любовь к науке. Среди них известные мировой науке фамилии — Боткины, Капица, Вернадские, Струве. В Плехановском университете три поколения ученых династии Китовых более полувека занимаются разработками в области кибернетики и искусственного интеллекта».

В рамках пленарного заседания состоялась церемония награждения лауреатов общенациональных премий «Ректор года», «Профессор года» и «Декан года».

Интерес представила работа научно-отраслевой секции «Исторические науки», «Одна страна — одна семья, единый культурный код», которая проходила в Российском университете дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), факультет гуманитарных и социальных наук (ФГСН). Модераторы секции: Александр Оганович Чубарьян — академик, председатель Общественного совета при Минобрнауки России, научный руководитель Института всеобщей истории РАН, Павел Петрович Шкаренков — проректор РГГУ, председатель Экспертного совета по истории ВАК при Минобрнауки России, Марина Николаевна Мосейкина — профессор кафедры истории России Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

С интересными докладами выступили Вардан Эрнестович Багдасарян — доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедрой истории России, Декан факультета истории, политологии и права Историко-филологического института Государственного университета просвещения «Единство культурного кода России как фундаментальное основание цивилизационного подхода в методологии преподавания дисциплин гуманитарной и обществоведческой направленности»; Юрий Юрьевич Иерусалимский — доктор исторических наук, профессор, заведующий

кафедрой истории отечественной средневековой и новой истории Ярославского государственного университета имени П.Г. Демидова, руководитель Центра по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей ЯрГУ имени П.Г. Демидова «Место и роль традиционных ценностей в преподавании курса “Основы российской государственности”» и другие.

Научно-отраслевая секция «Сельскохозяйственные науки»: «Наука, образование, семья — основа развития АПК России» проводилась на площадке Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева. Модератором секции был Владимир Иванович Трухачев — председатель Ассоциации «Агрообразование», ректор Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева, доктор сельскохозяйственных наук, доктор экономических наук, профессор, академик РАН. С интересными докладами выступили: Екатерина Владимировна Харченко — заместитель председателя Комитета по образованию и науке Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор «О совершенствовании законодательного обеспечения образовательной и научной деятельности», Юрий Федорович Лачуга — академик РАН, член президиума РАН, доктор технических наук, профессор «Научное обеспечение продовольственной безопасности в условиях современных вызовов», Виктор Егорович Бердышев — председатель ФУМО по УГСН 35.00.00 Сельское, лесное и рыбное хозяйство, руководитель Центра УМО подготовки кадров для АПК ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор «Высшее аграрное образование в России: новые горизонты» и другие.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крайнов Г.Н. Вызовы цифровизации российскому высшему образованию // Вестник МИРБИС. 2021. № 1 (25). С. 55–60.
2. Крайнов Г.Н. История России. Новейшее время (1990–2023). М.: КноРус, 2024. 231 с.
3. Крайнов Г.Н. История современной России (1990–2022 гг.). М.: ПЕРО, 2022. 226 с.

REFERENCES

1. Krajnov G.N. Vyzovy cifrovizacii rossijskomu vysshemu obrazovaniyu // Vestnik MIRBIS. 2021. № 1 (25). S. 55–60.
2. Krajnov G.N. Istoriya Rossii. Novejshee vremya (1990–2023). M.: KnoRus, 2024. 231s.
3. Krajnov G.N. Istoriya sovremennoj Rossii (1990–2022 gg.). M.: PERO, 2022. 226 s.

ЮВЕНИЛЬНАЯ И ВОЗРАСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗЦОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР К МУЧНИСТОЙ РОСЕ И ЛИСТОВОЙ РЖАВЧИНЕ*

Лев Геннадьевич Тырышкин¹, доктор биологических наук, профессор
Валентина Алексеевна Лосева²

Татьяна Вениаминовна Лебедева¹, кандидат биологических наук
Сулухан Кудайбердиевна Темирбекова³, доктор биологических наук, профессор
Алла Николаевна Брыкова¹

Евгений Валерьевич Зуев¹, кандидат сельскохозяйственных наук

¹ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург, Россия

²Екатерининская опытная станция — филиал ВИР, с. Екатеринино, Никитинский р-н, Тамбовская обл., Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия

E-mail: sul20@yandex.ru

Аннотация. Мучнистая роса и листовая ржавчина — вредоносные болезни мягкой пшеницы в большинстве регионов возделывания культуры. Наиболее рациональный способ борьбы с заболеваниями — использование устойчивых сортов. Их создание требует наличия надежных доноров и источников резистентности. Имеющиеся устойчивые генотипы могут стать восприимчивыми в результате изменения генетической структуры популяций патогенов и фенотипического изменения вирулентности под действием факторов внешней среды. Вследствие этого поиск новых устойчивых генотипов — актуальная задача. Изучена ювенильная устойчивость 780 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) к мучнистой росе и листовой ржавчине. Проростковую устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы к двум болезням изучали в отделе генетики ВИР по стандартным методикам. Взрослую устойчивость к болезням на Екатерининской опытной станции — филиале ВИР (Тамбовская обл.) и опытных полях ВИР в г. Пушкине определяли согласно Методическим указаниям ВИР. Выделили 43 сорта и линии с высоким уровнем устойчивости к листовой ржавчине и 27 — к мучнистой росе. Три образца обладают групповой резистентностью к двум болезням. Показано, что устойчивостью к бурой ржавчине характеризуется только материал из России, к мучнистой росе — из Европы.

Ключевые слова: *T. aestivum* L., проростковая и взрослая устойчивость, листовая ржавчина, мучнистая роса, гены резистентности

JUVENILE AND AGE RESISTANCE OF SOFT WHEAT SAMPLES FROM THE ALL-RUSSIAN INSTITUTE OF CROP PRODUCTION COLLECTION TO POWDERY MILDEW AND LEAF RUST

L.G. Tyryshkin¹, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*
V.A. Loseva²

T.V. Lebedeva¹, *PhD in Biological Sciences*

S.K. Temirbekova³, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*
A.N. Brykova¹

E.V. Zuev¹, *PhD in Agricultural Sciences*

¹N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

²Ekaterrinino Experimental Station — VIR branch, village Yekaterinino, Nikiforovsky district, Tambov region, Russia

³All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshye Vyazemye, Odintsovo district, Moscow region, Russia

E-mail: sul20@yandex.ru

Abstract. Powdery mildew and leaf rust are harmful diseases of bread wheat in most regions of crop cultivation. The most rational way to combat the diseases is to cultivate resistant varieties. Their creation requires the presence of reliable donors and sources of resistance. The existing resistant genotypes can become susceptible as a result of changes in the genetic structure of pathogen populations and phenotypic changes in virulence under the influence of environmental factors. As a result, the search for new resistant genotypes is a pressing issue. Juvenile resistance of 780 spring bread wheat samples from the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR) to powdery mildew and leaf rust was studied. Seedling resistance of spring common wheat samples to two diseases was studied in the Genetics Department of VIR using standard methods. Adult resistance to diseases at the Yekaterinino Experimental Station — a branch of VIR (Tambov Region) and on VIR experimental fields in the Pushkin (Leningrad region) was carried out according to the VIR Methodological Instructions. During the study, 43 varieties and accessions with a high level of resistance to leaf rust and 27 — to powdery mildew were identified. Cultivars Ekada 85, Tulaikovskaya 117 and line 71-73 have group resistance to 2 diseases. It was shown that only material from Russia is characterized by resistance to leaf rust, while resistance to powdery mildew from European countries.

Keywords: *T. aestivum* L., seedling and adult resistance, leaf rust, powdery mildew, resistance genes

* Статья подготовлена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 15 февраля 2024 г. № 075-02-2024-1090 / The article was prepared as part of the implementation of the Development Program of the National Center for Plant Genetic Resources under the agreement with the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated February 15, 2024 No. 075-02-2024-1090.

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — важная продовольственная культура мирового и отечественного сельскохозяйственного производства. Повышение урожайности и улучшение качества зерновой продукции — основная задача во всех регионах ее возделывания. [2] Однако эти показатели находятся под серьезной угрозой со стороны болезней и вредителей. Мучнистая роса, вызываемая биотрофным грибом *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal., — одно из самых опасных заболеваний пшеницы, встречающихся в районах с прохладным, влажным климатом. Заселение вегетативных органов пшеницы мучнисторосяным грибом приводит к уменьшению ассимиляционной поверхности листьев, снижению фотосинтеза и отрицательно влияет на формирование компонентов урожая. Преобладание в производственных посевах восприимчивых к болезни сортов мягкой пшеницы увеличивает вредоносность мучнистой росы и помогает сохранить повышенный инфекционный фон. Относительная нетребовательность гриба к условиям существования, короткий цикл развития от момента заражения до возникновения спор и способность образовывать расы с новой вирулентностью затрудняют селекцию пшеницы на устойчивость к мучнистой росе.

Листовая или бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) — вредоносная болезнь мягкой пшеницы, поражающая культуру во всех регионах ее возделывания. Несмотря на разработку эффективных методов борьбы с данным заболеванием (агротехнические, химические, биологические), наиболее целесообразно с экономической и экологической точки зрения возделывать устойчивые сорта. Вследствие микроэволюционных процессов в популяциях возбудителей болезней, а также изменчивости их вирулентности под действием факторов среды, сорта часто теряют свою резистентность, поэтому необходим постоянный поиск новых источников и доноров эффективных генов устойчивости. В настоящее время известно 77 локализованных в хромосомах мягкой пшеницы *Lr* (leaf rust) генов устойчивости к листовой ржавчине, однако большинство из них неэффективны против «современных» популяций патогена в России. [10, 16–18]

Во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) систематически комплексно оценивали новый материал яровой мягкой пшеницы в полевых и лабораторных условиях. Последние данные были опубликованы в 2020 году. [11]

Цель работы — изучить ювенильную и возрастную устойчивость к листовой ржавчине и мучнистой росе новейших поступлений (2019–2023 годы) яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР и выделить высоко-резистентные образцы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С 2019 по 2023 год провели ювенильную оценку на устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе у 780 образцов яровой мягкой пшеницы. Коллекция представлена из 52 стран мира, российские преобладают — 36% (табл. 1). По статусу образцы были в основном селекционными сортами — 436 (55,9%) (табл. 2).

Проростковую устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы к двум болезням изучали в отделе генетики ВИР.

При оценке ювенильной устойчивости к листовой ржавчине 10...15 проростков каждого образца выращивали в кюветах на вате, смоченной водой, на светоустановке (постоянное освещение — 2000 люкс, температура 21...22°C). Для заражения использовали водную суспензию уредоспор сборной популяции возбудителя (смесь сборов с нескольких восприимчивых сортов пшеницы в Северо-Западном регионе России). Данная популяция патогена до заражения экспериментального материала была оценена по вирулентности на ювенильных растениях с *Lr* генами устойчивости. Она оказалась вирулентна к линиям и сортам с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr12*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr22a*, *Lr22b*, *Lr23*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr27+*, *Lr31*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr32*, *Lr33*, *Lr34*, *Lr35*, *Lr36*, *Lr37*, *Lr38*, *Lr45*, *Lr46*, *Lr48*, *Lr52*, *Lr57*, *Lr60*, *Lr64* и авирулентна с *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41* и *Lr47*. [22]

Интактные растения опрыскивали суспензией уредоспор (концентрация — 30000/мл), кюветы на сутки закрывали полиэтиленовой пленкой и помещали в темноту. Затем пленку снимали и кюветы с растениями переносили на светоустановку. Учет типов реакции проводили на 14-е сутки после заражения по шкале Е.Б. Майнса и Х.С. Джексона, к устойчивым относили образцы с типом реакции 0. [15] Предположительно резистентные образцы перепроверяли на реакцию на заражение возбудителем листовой ржавчины не менее чем в трех дополнительных экспериментах.

Для некоторых образцов, выделившихся как высокоустойчивые к сборной популяции патогена, провели

Таблица 1.
Происхождение образцов яровой мягкой пшеницы, проверенных на ювенильную устойчивость к грибным болезням

Страна	Число образцов	Страна	Число образцов	Страна	Число образцов	Страна	Число образцов
Россия	282	Мексика	12	Португалия	5	Ангола	1
Эритрея	45	Неизвестно	11	Ирак	4	Аргентина	1
Китай	43	Чехия	11	Кыргызстан	4	Бельгия	1
Германия	34	Алжир	10	Пакистан	4	Бразилия	1
Канада	34	Греция	10	Таджикистан	4	Бурунди	1
Казахстан	26	США	10	Австралия	3	Венгрия	1
Польша	21	Швеция	10	Кения	3	Израиль	1
Турция	20	Испания	9	Эстония	3	Кипр	1
Эфиопия	19	Сирия	9	Боливия	2	Малави	1
Афганистан	18	Франция	9	Иордания	2	Мали	1
Индия	16	Украина	7	Латвия	2	Нидерланды	1
Великобритания	15	Беларусь	5	Узбекистан	2	Норвегия	1
Швейцария	14	Монголия	5	Австрия	1	Румыния	1

Таблица 2.
Статус образцов яровой мягкой пшеницы

Статус	Число образцов
Неизвестен	5
Местный сорт	243
Селекционная линия	63
Генетическая линия	33
Селекционный сорт	206
Реализованный селекционный сорт	131
Селекционный сорт, включенный в реестр РФ	99

фитопатологический тест при заражении проростков монопустульными изолятами *P. triticina*, вирулентными к линиям с генами *Lr9* и *Lr19*. Высокий тип реакции указывает на то, что устойчивость образца контролируется этим конкретным геном. [9]

Устанавливали заболевание проростков пшеницы мучнистой росой при искусственном заражении популяцией гриба в лабораторных условиях. Популяцию гриба (*Bgt*), собранную с восприимчивых растений пшеницы на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ПЛ ВИР, г. Санкт-Петербург), анализировали с использованием изогенных и тест-линий мягкой пшеницы. Популяция возбудителя мучнистой росы, собранная на экспериментальном поле, поражала тест-линии и сорта-дифференциаторы: Axminster/8*Cc (*Pm1*), Ulka/8*Cc (*Pm2*), Asosan II/8*Cc (*Pm3a*), Sonora/8*Cc (*Pm3c*), Kolibri (*Pm3d*), Polkka (*Pm3f*), Khapli/8*Cc (*Pm4a*), Armada (*Pm4b*), Hope (*Pm5*), TP114/2*Starke (*Pm6*), Disponent (*Pm8*), Normandie (*Pm9*), Norin 26 (*Pm10*), Chinese Spring (*Pm11*), Amigo (*Pm17*), XX 186 (*Pm19*); умеренно устойчивыми оказались образцы: Chul/8*Cc (*Pm3b*), Transec (*Pm7*), BRG3N (*Pm16*), Meri (*Pm28*); тест-линия Wembley 14.31 (*Pm12*) была иммунна к данной популяции гриба. Таким образом, популяция имела гены вирулентности к генам устойчивости *Pm1*, *Pm2*, *Pm3a-f*, *Pm4a-b*, *Pm5a*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm8*, *Pm9*, *Pm10*, *Pm11*, *Pm16*, *Pm19*, *Pm28* и авирулентности к *Pm12*.

В лабораторных условиях зерновки каждого сорта (по 15...20 шт.) раскладывали в кюветы на вату, смоченную водой. Выращивание растений и инкубирование на них гриба проводили при 12-часовом освещении и температуре 16°C; 12 ч без света и 13°C. Семидневные проростки заражали, стряхивая конидии с сильно пораженных мучнистой росой растений пшеницы. Через 7...10 дн. после инокуляции находили степень поражения первого листа, используя качественную шкалу Майнса и Дитца. [14] Показатели заболевания растений мучнистой росой — интенсивность спороношения и качественные реакции тканей растений в ответ на внедрение патогена (хлорозы, некрозы).

Растения с поражением 0 и 1 баллов относили к классу устойчивых, реакции проверяли трехкратно.

Взрослую устойчивость к болезням на Екатеринбургской опытной станции — филиале ВИР (Тамбовская обл., сел. Екатеринино) и опытных полях ВИР в г. Пушкине определяли согласно Методическим указаниям ВИР. [5] Образцы изучали три года. Оценивали устойчивость к мучнистой росе в фазе выход в трубку-колошение, к листовой ржавчине — в фазе колошения.

На Екатеринбургской опытной станции — филиале ВИР погодные условия 2020, 2022, 2023 годов способствовали сильному поражению образцов листовой ржавчиной. В 2019 году поражение болезнью было слабым, в 2021 — средним. Мучнистая роса в 2019–2023 годах проявлялась слабо.

На опытном поле ВИР в г. Пушкине, наоборот, практически во все годы изучения, мучнистая роса проявлялась сильно, бурая ржавчина замечена на единичных растениях. На полях ВИР в основном доминировала желтая ржавчина.

В связи с этим ювенильную оценку к листовой ржавчине сравнивали со взрослой устойчивостью в условиях Тамбовской области, а проростковую к мучнистой росе с устойчивостью в полевых условиях в г. Пушкине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Были выделены высокоустойчивые образцы в ювенильной стадии к мучнистой росе и листовой ржавчине. По результатам трех и более независимых экспериментов к листовой ржавчине в стадии проростков в данной работе были устойчивы 43 сорта и линии яровой мягкой пшеницы — 5,5% количества изученных образцов. Все они проявили высокий уровень устойчивости и в стадии взрослого растения в условиях Тамбовской области (табл. 3).

Заражение некоторых выделенных образцов тест-клонами показало, что сорта *Александрит* (к-66877), *Хазинэ* (к-66881) защищены геном *Lr19*, так же как и линии к-68141, кк-68141-68147. По результатам фитопатологического теста образцы: *St.10/10* (к-67974), *St.18/10-68/4* (к-67975), *RL 7917* (к-67976), *RL 8494* (к-67977) из Тамбовской обл.; новосибирская линия 71-73 (к-67904), сорта *Алтайская 85* (к-68337) и *Степная 62* (к-67557) защищены геном устойчивости *Lr9*. *Челяба 80* (к-66871) и *Памяти Одинцовой* (к-66872), согласно литературным данным, защищены эффективным геном *LrSp*. [12]

Линия ЛТ 9 (к-67123) имеет одновременно два гена устойчивости *Lr9* и *Lr24*. Гены устойчивости образцов ЛТ 11 (к-67124) и ЛТ 12 (к-67125) не могут быть идентичны известным эффективным (все они имеют интрогрессивный характер), поскольку созданы на основе индукции соматоклональной изменчивости.

По результатам оценки ювенильной устойчивости к мучнистой росе выделено 27 образцов (высокоустойчивые и устойчивые) — 3,5% количества изученных (табл. 4). Все они также были устойчивы в полевых условиях Ленинградской обл. По ювенильной и полевой устойчивости к мучнистой росе отмечены европейские сорта яровой мягкой пшеницы. Из российских устойчивыми были только *Зауральская Волна* (Курганская обл.), *Белана* (Московская обл.), *Тулайковская 117* (Самарская обл.), две новосибирские линии, созданные Е.А. Салиной (к-67904 и к-67905) и *Сигма 5* (Омская обл.).

Начиная с 2000 года ежегодно устанавливается небольшой процент устойчивых образцов — 2,5...3,9. Так и за последние пять лет распределение сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости не изменилось (см. рисунок).

Информация о генах устойчивости сортов, выявленных в наших опытах, практически отсутствует. Ювенильная устойчивость сортов *Batalj* и *Stilet* контролируется моногенно, ген доминантный и отличается от

Таблица 3.

Ювенильная и полевая оценка устойчивости образцов яровой мягкой пшеницы к листовой ржавчине в 2019–2023 годах

Образец	Устойчивость, балл	
	ювенильная	полевая
RL-3 (к-66733, Тамбовская обл.)	0	7
RL-6-8 (к-66734, Тамбовская обл.)	0	7
СФР 135-17-16-15 (к-66738, Тамбовская обл.)	0	7
Челяба 80 (к-66871, Челябинская обл.)	0	9
Памяти Одинцовой (к-66872, Челябинская обл.)	0	9
Александрит (к-66877, Саратовская обл.)	0	7
Хазинэ (к-66881, Татарстан)	0	9
ЛТ-9 (к-67123, Ленинградская обл.)	0	7
ЛТ-11 (к-67124, Ленинградская обл.)	0	7
ЛТ-12 (к-67125, Ленинградская обл.)	0	7
Кинельская Заря (к-67244, Самарская обл.)	0	7
Ирвита (к-67319, Пензенская обл.)	0	7
Одинцовская (к-67330, Челябинская обл.)	0	9
Силач (к-67348, Челябинская обл.)	0	7
Равон (Lr47) (к-67420, США)	0	7*
Тулайковская 117 (к-67425, Самарская обл.)	0	9
Фурор (к-67445, Волгоградская обл.)	0	9
Кинельская 2020 (к-67459, Самарская обл.)	0	7
Челябинка (к-67462, Челябинская обл.)	0	7
Степная 62 (к-67557, Казахстан)	0	—
Кинельская звезда (к-67761, Самарская обл.)	0	9
Зауральский простор (к-67764, Курганская обл.)	0	7
Квартет (к-67750, Саратовская обл.)	0	9
Уралосибирская 3 (к-67756, Омская обл.)	0	9
St. 10/10 (к-67974, Тамбовская обл.)	0	—
St. 18/10-68/4 (к-67975, Тамбовская обл.)	0	—
RL 7917 (к-67976, Тамбовская обл.)	0	—
RL 8494 (к-67977, Тамбовская обл.)	0	—
Линия 71-73 (к-67904, Новосибирская обл.)	0	9
Лютесценс 220-03-32 (к-68141, Омская обл.)	0	—
Лютесценс 242-97-2-26 (к-68143, Омская обл.)	0	—
Лютесценс 242-97-2-30 (к-68144, Омская обл.)	0	—
Лютесценс 242-97-2-32 (к-68145, Омская обл.)	0	—
Лютесценс 242-97-2-40 (к-68146, Омская обл.)	0	—
Лютесценс 242-97-2-45 (к-68147, Омская обл.)	0	—
Лютесценс 310-00-2 (к-68149, Омская обл.)	0	—
Эритроспермум 22889 (к-68150, Омская обл.)	0	—
Эритроспермум 22912 (к-68151, Омская обл.)	0	—
Эритроспермум 22915 (к-68152, Омская обл.)	0	—
Л 656 (к-68153, Саратовская обл.)	0	—
Экада 85 (к-68154, Казахстан)	0	—
Памяти Тюнина (к-68177, Челябинская обл.)	0	—
Алтайская 85 (к-68337, Алтайский край)	0	—

Примечание. * — данные за два года (то же в табл. 4).

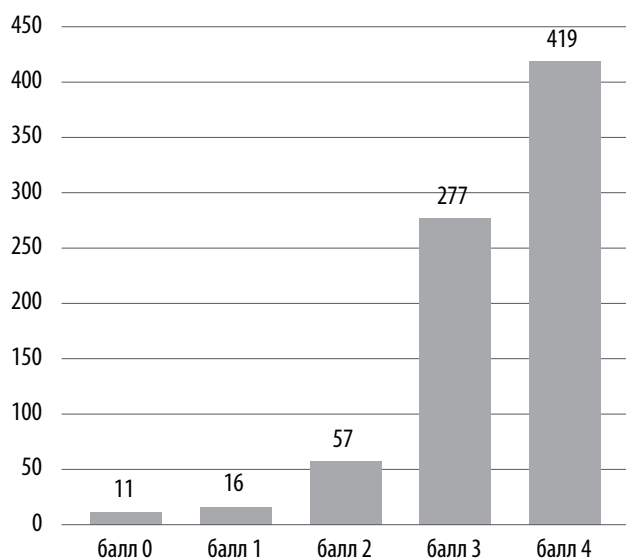
эффективного *Pm12*, который передан в геном мягкой пшеницы путем скрещивания яровой с *Ae. speltoides* Tausch. [3, 17] Также имеется информация о взрослой устойчивости сорта KWS Willow. [21]

У растений несколько механизмов защиты от патогенов. Существует устойчивость к болезни, проявляющаяся на всех стадиях развития растения — ASR (all-stage resistance) и устойчивость взрослого растения — APR (adult plant resistance). [19] ASR обычно проявляется как реакция сверхчувствительности на внедрение патогена, APR — расонеспецифичная и контролируется многими генами, обеспечивая частичную устойчивость на постпроростковой стадии. Сорта,

Таблица 4.

Ювенильная и полевая оценка устойчивости образцов яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе в 2019–2023 годах

Образец	Устойчивость, балл	
	ювенильная	полевая
Sonett (к-66799, Швеция)	0	9
Alicia (к-66865, Чехия)	1	9
Toccata (к-66866, Чехия)	1	9
Зауральская Волна (к-66874, Курганская обл.)	0	7
KWS Alderon (к-67074, Великобритания)	1	7
KWS Willow (к-67076, Великобритания)	1	7
Vanek (к-67080, Германия)	1	7
KWS Collada (к-67087, Германия)	0	7
Arabeska (к-67093, Польша)	1	9
Stilet (к-67119, Швеция)	1	7
Granus (к-67153, Германия)	0	9
Arabella (к-67159, Польша)	0	7
Mooni (к-67357, Эстония)	1	7
Batalj (к-67116, Швеция)	0	7
Happy (к-67247, Швеция)	0	7
Mandaryna (к-67096, Польша)	1	7
CSP44 (Lr48) (к-67421, Австралия)	1	7
Беляна (к-67423, Московская обл.)	1	9
Тулайковская 117 (к-67425, Самарская обл.)	1	7
Sharki (к-67471, Германия)	1	7
Cancian (к-67558, Германия)	0	9
Lascada (к-67565, Германия)	0	7
Patricia (к-67568, Франция)	1	7
Линия 35-37 (к-67903, Новосибирская обл.)	1	—
Линия 71-73 (к-67904, Новосибирская обл.)	1	—
Сигма 5 (к-67755, Омская обл.)	0	9*
Экада 85 (к-68154, Казахстан)	0	—



Количество образцов яровой мягкой пшеницы с типами реакций на заражение проростков мучнистой росой (2019–2023 годы).

обладающие APR, сохраняют взрослую устойчивость многие годы. В нашем эксперименте два сорта, восприимчивые в проростках, не поражались *Bgt* в поздние периоды развития в условиях Ленинградской области. Они характеризуются устойчивостью взрослых растений (APR) — сорта *Taifun* (к-67963, Германия) и *Togano* (к-67111, Швейцария).

По эффективной ювенильной устойчивости к листовой ржавчине в настоящей работе выявлено 43 образца. Их вовлечение в селекцию целесообразно после идентификации генов резистентности. Из известных *Lr* генов в настоящее время в Российской Федерации в стадии проростков эффективны только *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41* и *Lr47*, причем они потеряли свою эффективность в ряде регионов. [1, 4, 6–8, 10, 13, 20] Образцы, защищенные этими единичными генами, вряд ли могут быть рекомендованы для селекции на резистентность. У линии ЛТ 9 присутствуют одновременно два гена устойчивости *Lr9* и *Lr24*. Гены устойчивости образцов ЛТ 11 и ЛТ 12 не могут быть идентичны известным эффективным (все они имеют интрогрессивный характер), поскольку созданы на основе индукции соматоклональной изменчивости. Для 16-и образцов из изученных доказано присутствие генов *Lr9* и *Lr19*. Все образцы, устойчивые в стадии проростков, были резистентны и в стадии взрослых растений.

Наибольший интерес для селекции представляют образцы с групповой устойчивостью к двум болезням — *Экада 85* (к-68154, Казахстан), *Тулайковская 117* (к-67425, Самарская обл.), Линия 71-73 (к-67904, Новосибирская обл.).

Выводы. Таким образом, при изучении 780 образцов яровой мягкой пшеницы новейших поступлений из коллекции ВИР выделили 43 сорта и линии с высоким уровнем устойчивости к листовой ржавчине и 27 — к мучнистой росе. Три обладают групповой резистентностью к двум болезням. Показано, что устойчивостью к бурой ржавчине характеризуется только материал из России, к мучнистой росе — из Европы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Агапова В.Д., Ваганова О.Ф., Волкова Г.В. Эффективность ювенильных генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины озимой пшеницы в фазу проростков в условиях юга России // МНИЖ. 2020. № 8-1 (98). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-yuvenilnyh-genov-ustoychivosti-k-vozbuditelyu-buroy-rzhavchiny-ozimoy-pshenitsy-v-fazu-prorostkov-v-usloviyah-yuga> (дата обращения: 13.09.2024).
- Ворончихина И.Н., Ворончихин В.В., Рубец В.С. и др. Оценка коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 13–18. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp13-18>
- Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Генетический контроль ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР // Vavilovia. 2021. Т. 4. № 1. С. 25–35. <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-1-11>
- Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины пшеницы в Поволжье // Агро XXI. 2007. № 4–6. С. 37–39.
- Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания. С.-Пб.: ВИР, 1999. 81 с.
- Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Коренюк Е.А., Белан И.А. Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины пшеницы вирулентного к сортам с геном *Lr9* в Омской области // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46. Вып. 6. С. 397–400.
- Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В., Гулятьева Е.И. и др. Тенденция преодоления устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops speltoides* Tausch. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 5. С. 560–567. <https://doi.org/10.18699/VJ18.395>
- Сибикеев С.Н., Конькова Э.А., Салмова М.Ф. Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины мягкой пшеницы в условиях Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 40–44. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44>
- Тырышкин Л.Г. Изучение генетического контроля устойчивости зерновых самоопыляющихся культур к болезням. С.-Пб.: ВИР, 2010. 34 с.
- Тырышкин Л.Г., Волкова Г.В., Коломиец Т.М. и др. Эффективная устойчивость к листовой ржавчине образцов яровой мягкой пшеницы новейших поступлений из коллекции ВИР // Vavilovia. 2019. Т. 2. № 2. С. 35–43. <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-2-35-43>
- Тырышкин Л.Г., Лебедева Т.В., Ковалева М.М. и др. Яровая мягкая пшеница. Характеристика образцов новейших поступлений коллекции ВИР по устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости, мучнистой росе и пыльной головне // Каталог ВИР. 2020. Вып. 913. 23 с. <https://doi.org/10.30901/978-5-607145-19-1>
- Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р., Гулятьева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Характеристика вирулентности популяций *Puccinia triticina* и перспективы использования генов *Lr24*, *Lr25*, *LrSp* в селекции яровой мягкой пшеницы на Южном Урале // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 5. С. 523–529. <https://doi.org/10.18699/VJ17.269>
- Leonova I.N., Skolotneva E.S., Salina E.A. Genome-wide association study of leaf rust resistance in Russian spring wheat varieties // BMC Plant Biol. 2020. Oct. 14–20 (Suppl. 1). P. 135. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02333-3>
- Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic form of barley mildew *Erysiphe graminis* DC. // Phytopathology. 1930. V. 20. № 3. P. 229–239.
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss // Phytopathology. 1926. V. 16. № 1. P. 89–120.
- McIntosh R.A., Hart G.E., Devos K.M. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 1998 Supplement. Available online: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/98/> (дата обращения 9 сентября 2024).
- McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 2003 Supplement. Available online: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/2003upd.html> (дата обращения 9 сентября 2024).
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J. et al. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2017 Supplement. Available online: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf> (дата обращения 9 сентября 2024).
- Nisha R., Panneer Sh., Sivasamy M. et al. Stacking effective ASR and APR rust genes for multiple disease resistance in bread wheat cultivars // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2023. 23 (1). e44082317. <https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n1a7>
- Skolotneva E.S., Leonova I.N., Bukatich E.Y. et al. Effectiveness of leaf rust resistance genes against *Puccinia triticina* populations in Western Siberia during 2008–2017 // J. Plant Dis. Prot. 2018. New Series 125 (4). P. 549–555. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0191-3>
- Wheat Pocketbook. HGCA Recommended List 2014/15. Available online: <https://projectblue.blob.core.windows>

- net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/AHDB%20Cereals%20&%20Oilseeds/Varieties/RL2014-15/Recommended%20Lists%20for%20cereals%20and%20oilseeds%202014-5.pdf (дата обращения 9 сентября 2024).
22. Zuev E.V., Lebedeva T.V., Yakovleva O.V. et al. Genetic Diversity for Effective Resistance in Wheat Landraces from Ethiopia and Eritrea to Fungal Diseases and Toxic Aluminum Ions // *Plants* 2024. Issue 13. № 8. PP. 1166. <https://doi.org/10.3390/plants13081166>
- ## REFERENCES
1. Agapova V.D., Vaganova O.F., Volkova G.V. Effektivnost' yuvenil'nyh genov ustojchivosti k vzbuditelyu buroj rzhavchiny ozimoy pshenicy v fazu proroostkov v usloviyah yuga Rossii // *MNIZh*. 2020. № 8-1 (98). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-yuvenilnyh-genov-ustoychivosti-k-vzbuditelyu-buroy-rzhavchiny-ozimoy-pshenitsy-v-fazu-proroostkov-v-usloviyah-yuga> (data obrashcheniya: 13.09.2024).
 2. Voronchihina I.N., Voronchihin V.V., Rubec V.S. i dr. Ocenka kollekcii yarovoj myagkoj pshenicy v usloviyah Central'nogo rajona Nechernozemnoj zony Rossii // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2021. № 8. S. 13–18. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp13-18>
 3. Lebedeva T.V., Zuev E.V. Geneticheskij kontrol' yuvenil'noj ustojchivosti k muchnistoj rose obrazcov yarovoj myagkoj pshenicy kollekcii VIR // *Vavilovia*. 2021. T. 4. № 1. S. 25–35. <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-1-11>
 4. Markelova T.S. Izuchenie struktury i izmenchivosti populjaccii buroj rzhavchiny pshenicy v Povolzh'e // *Agro XXI*. 2007. № 4–6. S. 37–39.
 5. Merezsko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V. i dr. Popolnenie, sohranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoj kollekcii pshenicy, egilopsa i tritikale: metodicheskie ukazaniya. S.-Pb.: VIR, 1999. 81 s.
 6. Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Korenyuk E.A., Belan I.A. Dinamika rasprostraneniya patotipa vzbuditelya buroj rzhavchiny pshenicy virulentnogo k sortam s genom Lr9 v Omskoj oblasti // *Mikologiya i fitopatologiya*. 2012. T. 46. Vyp. 6. S. 397–400.
 7. Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V., Gul'tyaeva E.I. i dr. Tendenciya preodoleniya ustojchivosti k buroj rzhavchine introgressivnyh linij myagkoj pshenicy s geneticheskim materialom *Aegilops speltoides* Tausch. // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2018. T. 22. № 5. S. 560–567. <https://doi.org/10.18699/VJ18.395>
 8. Sibikeev S.N., Kon'kova E.A., Salmova M.F. Harakteristika virulentnosti vzbuditelya buroj rzhavchiny myagkoj pshenicy v usloviyah Saratovskoj oblasti // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2020. № 9. S. 40–44. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44>
 9. Tyryshkin L.G. Izuchenie geneticheskogo kontrolya ustojchivosti zernovyh samoopylyayushchihsya kul'tur k boleznyam. S.-Pb.: VIR, 2010. 34 s.
 10. Tyryshkin L.G., Volkova G.V., Kolomiec T.M. i dr. Effektivnaya ustojchivost' k listovoj rzhavchine obrazcov yarovoj myagkoj pshenicy novejsih postuplenij iz kollekcii VIR // *Vavilovia*. 2019. T. 2. № 2. S. 35–43. <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-2-35-43>
 11. Tyryshkin L.G., Lebedeva T.V., Kovaleva M.M. i dr. Yarovaya myagkaya pshenica. Harakteristika obrazcov novejsih postuplenij kollekcii VIR po ustojchivosti k listovoj rzhavchine, temno-buroj listovoj pyatnistosti, muchnistoj rose i pyl'noj golovne // *Katalog VIR*. 2020. Vyp. 913. 23 s. <https://doi.org/10.30901/978-5-607145-19-1>
 12. Tyunin V.A., Shrejder E.R., Gul'tyaeva E.I., Shajdayuk E.L. Harakteristika virulentnosti populjaccij *Ruccinia triticea* i perspektivy ispol'zovaniya genov Lr24, Lr25, LrSp v selekcii yarovoj myagkoj pshenicy na Yuzhnom Urale // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2017. T. 21. № 5. S. 523–529. <https://doi.org/10.18699/VJ17.269>
 13. Leonova I.N., Skolotneva E.S., Salina E.A. Genome-wide association study of leaf rust resistance in Russian spring wheat varieties // *BMC Plant Biol*. 2020. Oct. 14–20 (Suppl. 1). P. 135. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02333-3>
 14. Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic form of barley mildew *Erysiphe graminis* DC. // *Phytopathology*. 1930. V. 20. № 3. P. 229–239.
 15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat *Puccinia triticea* Erikss // *Phytopathology*. 1926. V. 16. № 1. P. 89–120.
 16. McIntosh R.A., Hart G.E., Devos K.M. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 1998 Supplement. Available online: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/98/> (дата обращения 9 сентября 2024).
 17. McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 2003 Supplement. Available online: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/2003upd.html> (дата обращения 9 сентября 2024).
 18. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J. et al. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2017 Supplement. Available online: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf> (дата обращения 9 сентября 2024).
 19. Nisha R., Panneer Sh., Sivasamy M. et al. Stacking effective ASR and APR rust genes for multiple disease resistance in bread wheat cultivars // *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2023. 23 (1). e44082317. <https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n1a7>
 20. Skolotneva E.S., Leonova I.N., Bukatich E.Y. et al. Effectiveness of leaf rust resistance genes against *Puccinia triticea* populations in Western Siberia during 2008–2017 // *J. Plant Dis. Prot.* 2018. New Series 125 (4). P. 549–555. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0191-3>
 21. Wheat Pocketbook. HGCA Recommended List 2014/15. Available online: <https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/AHDB%20Cereals%20&%20Oilseeds/Varieties/RL2014-15/Recommended%20Lists%20for%20cereals%20and%20oilseeds%202014-5.pdf> (дата обращения 9 сентября 2024).
 22. Zuev E.V., Lebedeva T.V., Yakovleva O.V. et al. Genetic Diversity for Effective Resistance in Wheat Landraces from Ethiopia and Eritrea to Fungal Diseases and Toxic Aluminum Ions // *Plants* 2024. Issue 13. № 8. PP. 1166. <https://doi.org/10.3390/plants13081166>.

Поступила в редакцию 17.09.2024

Принята к публикации 01.10.2024

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ СОРТА *ВЕНЬЯМИНОВСКОЕ*

Оксана Альфредовна Ветрова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Маргарита Алексеевна Макаркина, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
Лариса Ивановна Леонтьева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская обл., Россия
E-mail: vetrova@orel.vniispk.ru

Аннотация. Представлены результаты семилетнего исследования (2017–2023) влияния гидротермических условий вегетационного периода и минеральных удобрений на химический состав плодов яблони. Объект изучения — сорт яблони *Веньяминовское*, выращиваемый в полевом опыте по изучению эффективности минеральных удобрений в среднерослом яблоневом саду. Экспериментальный сад заложен в 2013 году, схема посадки — 6×3 м. Ежегодно весной вносили возрастающие дозы азотных (аммиачная селитра — 33% д. в.) и калийных удобрений (хлористый калий — 40% д. в.) с 2015 года. Некорневые подкормки — три раза за период вегетации 1%-м раствором мочевины и 0,3% раствором сульфата калия. В плодах определяли содержание растворимых сухих веществ, суммы сахаров, аскорбиновой кислоты, фенольных соединений (катехины) и сахарокислотный индекс. Показано, что применение почвенного и foliarного внесения азотных и калийных удобрений не оказало достоверного воздействия на содержание изучаемых компонентов. Установлено, что наиболее значимый фактор, влияющий на химический состав плодов, — метеосостояния периода вегетации и последнего месяца до съема плодов. Содержание аскорбиновой кислоты в среднем за семь лет эксперимента было достоверно выше, по сравнению с контролем, в варианте с внесением в почву максимальных доз азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$), а также совместно с некорневыми подкормками ($N_{30}K_{40}$ и $N_{60}K_{80}$). Использование удобрений в максимальных дозах $N_{90}K_{120}$ привело к значительному росту содержания титруемых кислот в плодах.

Ключевые слова: яблоня, биохимический состав плодов, метеосостояния вегетационного периода, минеральные удобрения

RESULTS OF INVESTIGATION OF MINERAL NUTRITION AND WEATHER CONDITIONS INFLUENCE OF ON BIOCHEMICAL COMPOSITION OF *VENYAMINOVSKOE* VARIETY APPLE TREE

O.A. Vetrova, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher
M.A. Makarkina, Grand PhD in Agricultural Sciences, Chief Researcher
L.I. Leontieva, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher
Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia
E-mail: vetrova@orel.vniispk.ru

Abstract. The results of a seven-year study (2017–2023) of the influence of hydrothermal conditions of the growing season and of mineral fertilizers on the chemical composition of apple fruits are presented. The object of the study was the 'Venyaminovskoye' apple cultivar grown in a field experiment to study the effectiveness of mineral fertilizers in a medium-sized apple orchard. The experimental orchard was planted in 2013 with a space of 6×3 m. Annual spring application of increasing doses of nitrogen (in the form of ammonium nitrate — 33% of active substance) and potash fertilizers (in the form of potassium chloride — 40% of active substance) has been carried out since 2015. Foliar top dressing was carried out three times during the growing season with 1% urea solution and 0.3% potassium sulfate solution. The content of soluble solids, the sum of sugars, ascorbic acid, phenolic compounds (catechins) and the sugar acid index were determined in the fruits. It is shown that the use of soil and foliar application of nitrogen and potash fertilizers did not have a significant effect on the content of the studied components. It has been established that the most significant factor affecting the chemical composition of fruits is the weather conditions of the growing season and of the last month before fruit harvesting. At the same time, the content of ascorbic acid on average over the seven years of the experiment was significantly higher compared to the control in the variant with the application of maximum doses of nitrogen and potash fertilizers ($N_{90}K_{120}$) into the soil and also in conjunction with non-root top dressing in doses: $N_{30}K_{40}$ and $N_{60}K_{80}$. The application of fertilizers in maximum doses of $N_{90}K_{120}$ had a negative effect on a significant increase in the content of titrated acids in fruits.

Keywords: apple, biochemical composition of fruits, weather conditions of the growing season, mineral fertilizers

Получение продукции садоводства высокого качества — сложная социально-экономическая система, основанная на комплексе мероприятий, включающих биологические, материальные и товарно-экономические резервы. [5, 6] Эта проблема отражена в Распоряжении Правительства РФ от 29 июня 2016 года № 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 года», в которой уделено внимание обеспечению населения качественными продуктами и увеличению их доли в структуре питания (особенно плоды и ягоды).

К сожалению, степень осведомленности граждан России о здоровом питании и нормах потребления соответствующих продуктов низкая. [14] Фрукты и овощи в рационе человека должны занимать значительную часть, при физиологической потребности 90...100 кг/год, на душу населения РФ приходится 15...20 кг. [2]

Основная доля потребляемых в России плодов и ягод — это яблоки (95%). Кроме гармоничного вкуса они обладают лечебно-профилактическими свойствами, которые обусловлены их химическим составом,

зависящим от зоны произрастания, климатических условий года, агротехнических приемов выращивания, но в большей степени генетической принадлежностью сорта. [19] В яблоках в оптимальных количествах содержатся питательные (сахара, органические кислоты) и биологически активные вещества (аскорбиновая кислота, фенольные (Р-активные) соединения). [8, 16]

Положительное влияние на метаболизм организма человека оказывают биологически активные вещества (аскорбиновая кислота и фенольные соединения, в большей степени флавоноиды, в том числе катехины) с антиоксидантными свойствами, способствующие выведению из организма свободных радикалов. [2, 8] Создание новых сортов с улучшенным химическим составом плодов, богатых витаминами, актуально в настоящее время. [12]

Улучшить состояние рынка плодовой продукции в режиме импортозамещения возможно при закладке новых садов с применением прогрессивных технологий их возделывания. Один из важнейших факторов регулирования роста и плодоношения деревьев, повышения урожайности и получения качественной высококачественной продукции — минеральное питание. [7, 17]

У ряда авторов отмечен положительный эффект от минерального и органического питания на качественные показатели яблок. [10, 18, 20] В то же время их беспредельное применение приводит к падению урожайности, снижению вкусовых и товарных качеств плодов. [1, 15]

Цель работы — изучить влияние минеральных удобрений на биохимический состав плодов яблони сорта *Веньяминовское*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу проводили в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (Орловская обл.). Объект изучения — сорт яблони *Веньяминовское*, обладающий иммунитетом к парше (ген Rvi6). Плоды среднего размера (130 г), зимнего срока созревания, высокой товарности, малиновой окраски, кисло-сладкого гармоничного вкуса.

Исследования осуществляли в течение семи лет (2017–2023 годы): внесение удобрений (лаборатория агрохимии), изучение биохимического состава плодов (лаборатория биохимической и технологической оценки сортов и хранения). В данной работе обобщены полученные экспериментальные данные по основным компонентам биохимического состава плодов сорта яблони *Веньяминовское*. [3, 4]

Почва опытного участка — агросерая среднесуглинистая, подстилаемая доломитовыми известняками. Экспериментальный сад заложен в 2013 году, схема посадки — 6 × 3 м. Ежегодное весеннее применение возрастающих доз азотных (аммиачная селитра — 33% д. в.) и калийных удобрений (хлористый калий — 40% д. в.) начато в 2015 году. Некорневые подкормки проводили три раза за вегетацию: после цветения — 1%-м раствором мочевины; в фазе интенсивного роста побегов (июль) — смесью 1%-го раствора мочевины и 0,3%-го раствора сульфата калия; за 30...40 дн. до съема плодов — 0,3%-м раствором сульфата калия.

Схема опыта: 1. контроль (без удобрений); 2. $N_{30}K_{40}$; 3. $N_{60}K_{80}$; 4. $N_{90}K_{120}$; 5. подкормка некорневая (п. некорневая) раствором мочевины (1%) и сульфата калия

(0,3%); 6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая; 7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая; 8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая. Повторность опыта четырехкратная, в каждой по пять деревьев. Расположение вариантов систематическое. [13]

Смешанные пробы плодов отбирали с каждой деланки опыта при учете урожая. Снимали плоды в конце августа — начале сентября. Химический состав определяли согласно общепринятым методикам. [9, 11]

Содержание растворимых сухих веществ (РСВ) осуществляли рефрактометрическим методом с помощью цифрового рефрактометра PAL-3 (АТАГО) (ГОСТ ISO 2173-2013); суммы сахаров — методом Бертрана (ГОСТ 8756.13-87); титруемых (органических) кислот — методом титрования вытяжек 0,1 н. раствором гидроксида натрия (ГОСТ 25555.0-08); фенольных соединений (катехинов) — фотометрическим методом на фотометре ФЭК КФК-3-01-«ЗОМЗ». Был рассчитан сахарокислотный индекс (СКИ) — соотношение общего содержания сахаров и органических (титруемые) кислот.

Результаты исследований статистически обрабатывали с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидротермические условия вегетационного периода изучаемых лет и среднесезонные данные представлены в таблице 1.

Среднемесячная температура вегетационного периода была выше среднесезонной в 2018, 2020, 2021 и 2022 годах. Сумма осадков значительно отличалась от среднесезонных значений. Наиболее увлажненным был 2017 год (291,7 мм), сухим — 2023 (162,6 мм). Недостаточное количество влаги в период созревания плодов (август) наблюдали в 2020–2022 годах, оптимальное — в 2019 (54,7 мм) и 2023 (57,2 мм). Избыточное увлажнение отмечено в августе 2017 года — 100,8 мм (ГТК — 1,70). В августе 2018 — засуха, сумма осадков — 11,2 мм (ГТК — 0,20).

Таблица 1.
Метеоусловия вегетационного периода по годам

Месяц	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Среднесезонные значения
Среднемесячная температура, °С								
Май	12,3	16,4	15,6	11,3	14,0	11,0	12,3	13,0
Июнь	16,0	17,0	20,5	19,9	19,7	18,4	15,9	16,9
Июль	18,6	19,9	17,4	19,6	21,8	19,3	18,4	18,5
Август	19,2	18,4	17,1	18,2	20,2	20,4	19,4	17,1
Сумма осадков, мм								
Май	56,3	31,4	85,0	59,1	63,3	38,3	9,0	36,3
Июнь	59,6	18,2	20,7	46,4	99,6	42,6	36,8	65,1
Июль	75,0	119,9	49,8	111,6	37,8	71,9	59,6	88,0
Август	100,8	11,2	54,7	26,0	29,0	30,0	57,2	65,7
Σ	291,7	180,7	210,3	243,1	229,7	182,8	162,6	255,1
ГТК								
Май	0,98	0,62	1,76	1,68	1,46	1,13	0,24	—
Июнь	1,25	0,33	0,34	0,78	1,69	0,74	0,77	—
Июль	1,30	1,95	0,92	1,84	0,56	1,20	1,05	—
Август	1,70	0,20	1,03	0,46	0,46	0,46	0,95	—

К основным веществам, влияющим на вкусовые характеристики плодов и ягод, относятся сахара, органические кислоты и их соотношение. РСВ — косвенный показатель сахаристости плодов.

За 2017–2023 годы содержание РСВ в плодах сорта яблони *Веньяминовское*, в зависимости от года и варианта исследований, варьировало от 11,9 до 15,2% (среднее — 12,3...14,6%) (табл. 2). Благоприятное влияние на накопление РСВ в плодах оказывали погодные условия вегетационного периода. Среднее по опыту значение показателя было достоверно более высоким в 2019 году при оптимальных значениях температуры и количества осадков вегетационного периода, при созревании ГТК (1,03) также находился в оптимально допустимых пределах.

Наименьшее содержание РСВ в плодах отмечено в 2022 году и было достоверно ниже, чем в остальные годы исследований. В зависимости от вносимых доз удобрений достоверных различий по накоплению РСВ в плодах не выявлено.

Содержание суммы сахаров в плодах в зависимости от года и варианта находилось в пределах 9,32...12,86%, в среднем по годам — 9,78...12,27% (табл. 3). Высокие значения суммы сахаров были в 2020 году (12,27%) и 2021 (12,07%) при схожих температурно-влажностных условиях периода созревания плодов обоих лет. Самое низкое содержание суммы сахаров отмечено в 2022 году — 9,78%.

От вносимых доз удобрений достоверных различий не выявлено, лишь в 2023 году в варианте с внесением в почву азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$) совместно с некорневой подкормкой достоверно снизилось содержание суммы сахаров, по сравнению с контролем.

Важный показатель, оказывающий сильное влияние на вкусовые качества яблок, — кислотность. Причем не общее содержание кислот, а титруемая кислотность, обусловленная наличием свободных кислот. В плодах яблони — это яблочная кислота. Под влиянием метеорологических условий вегетационного периода и места произрастания титруемая кислотность изменяется в более широких пределах.

Среднее содержание титруемых кислот в плодах сорта *Веньяминовское* варьировало в значительной степени — в зависимости от варианта и года исследования от 0,36 до 0,87% и в среднем по годам от 0,41 до 0,60% (табл. 4).

Наибольшее содержание титруемых кислот (0,60%) наблюдали в 2022 и 2023 годы и это достоверно выше, чем в 2017–2020. В среднем за семь лет исследований отмечено достоверное увеличение содержания титруемых кислот в варианте с внесением в почву высокой дозы азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$), по сравнению с контролем. В 2021 году увеличилось содержание титруемых кислот в варианте 8 (в 1,5 раза выше, чем в контроле).

Вкусовые качества плодов обусловлены не отдельным накоплением сахаров и титруемых (органические) кислот, а их соотношением (СКИ). Наибольшую гармоничность вкуса имеют яблоки при сахарокислотном индексе 15...25 у.е. [6]

За годы исследования СКИ плодов сорта *Веньяминовское* варьировал в зависимости от варианта и года исследования в значительной степени — от 13,8 до 35,4 у.е. (среднее по годам — 14,3...29,3) (табл. 5).

Таблица 2.
Содержание растворимых сухих веществ в плодах яблони
***Веньяминовское* при внесении удобрений по годам, %**

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Средние А
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Контроль	12,8	12,8	14,5	13,9	13,3	12,4	13,7	13,3
2. $N_{30}K_{40}$	13,1	13,7	14,2	14,6	13,9	12,2	12,9	13,5
3. $N_{60}K_{80}$	13,6	13,2	14,3	13,3	13,9	12,6	13,2	13,4
4. $N_{90}K_{120}$	13,3	12,8	14,7	13,4	13,7	12,0	13,0	13,3
5. Контроль + п. некорневая	13,2	12,6	14,9	13,7	13,7	12,4	13,8	13,5
6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая	13,2	13,2	15,2	13,2	14,4	12,7	13,1	13,6
7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая	13,2	13,0	14,7	13,2	13,9	11,9	12,8	13,2
8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая	13,8	13,1	14,3	13,5	13,2	12,3	12,5	13,2
Средние В	13,3	13,1	14,6	13,6	13,8	12,3	13,1	
$HCP_{0,5} A=0,47 HCP_{0,5} B=0,44 HCP_{0,5} AB=1,26$								

Таблица 3.
Содержание суммы сахаров в плодах яблони *Веньяминовское*
при внесении удобрений по годам, %

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Средние А
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Контроль	10,58	11,74	11,81	12,49	11,41	10,01	12,32	11,48
2. $N_{30}K_{40}$	11,30	11,67	10,99	12,81	12,24	9,32	11,43	11,39
3. $N_{60}K_{80}$	11,63	11,09	11,95	11,89	12,13	9,62	11,85	11,45
4. $N_{90}K_{120}$	11,05	11,40	12,08	11,90	12,35	9,41	11,28	11,35
5. Контроль + п. некорневая	11,08	11,86	11,45	12,86	11,69	9,32	11,97	11,46
6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая	10,93	12,38	12,88	11,95	12,25	10,31	11,15	11,69
7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая	11,53	10,81	11,86	12,16	12,57	9,99	11,14	11,44
8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая	11,65	11,66	11,71	12,09	11,89	10,23	10,12	11,34
Средние В	11,22	11,58	11,84	12,27	12,07	9,78	11,41	
$HCP_{0,5} A=0,62 HCP_{0,5} B=0,58 HCP_{0,5} AB=1,65$								

Таблица 4.
Содержание титруемых кислот в плодах яблони
***Веньяминовское* при внесении удобрений по годам, %**

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Средние А
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Контроль	0,76	0,55	0,42	0,42	0,45	0,56	0,62	0,54
2. $N_{30}K_{40}$	0,78	0,42	0,36	0,44	0,56	0,56	0,55	0,52
3. $N_{60}K_{80}$	0,79	0,47	0,39	0,47	0,49	0,57	0,58	0,54
4. $N_{90}K_{120}$	0,87	0,58	0,46	0,53	0,59	0,67	0,56	0,61
5. Контроль + п. некорневая	0,75	0,52	0,42	0,47	0,57	0,59	0,58	0,56
6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая	0,78	0,47	0,37	0,48	0,61	0,54	0,66	0,56
7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая	0,69	0,46	0,50	0,49	0,58	0,61	0,67	0,57
8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая	0,68	0,50	0,38	0,44	0,68	0,68	0,61	0,57
Средние В	0,50	0,50	0,41	0,47	0,57	0,60	0,60	
$HCP_{0,5} A=0,07 HCP_{0,5} B=0,06 HCP_{0,5} AB=0,17$								

Максимальное значение СКИ (29,3 у.е.) отмечено в 2019 году, минимальное (14,3 у.е.) — в 2017 и было достоверно ниже, чем в последующие годы, кроме 2022.

В 2020 году было достоверное снижение СКИ в плодах: с внесением в почву высоких доз азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$), а также совместного внесения в почву с некорневыми подкормками ($N_{60}K_{80}$ и $N_{90}K_{120}$). В 2021 году установлено достоверное снижение этого показателя в варианте 5 только с применением некорневой подкормки мочевиной и сульфатом калия.

За весь период исследований были достоверно низкие значения СКИ, по сравнению с контролем в вариантах как с почвенным внесением максимальной дозы азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$), так и с такой же дозой вместе с некорневыми подкормками.

За время многолетнего изучения биохимического состава плодов сорта *Веньяминовское* не выделялся по накоплению аскорбиновой кислоты (в среднем — 5,2 мг/100 г). [6] Этот показатель варьировал в зависимости от года и варианта — 2,6...10,6 мг/100 г, в среднем по годам — 2,8...6,1 мг/100 г (табл. 6).

Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты в плодах (6,1 мг/100 г) наблюдали в 2017, 2018 и 2021 годах, минимальное (2,8 мг/100 г) в 2023 и оно было достоверно ниже, чем в 2017, 2018, 2021 и 2022. Период созревания плодов 2023 года был комфортным, сумма осадков на уровне среднегодовых показателей и значение ГТК приближалось к оптимальному. Повышенное содержание аскорбиновой кислоты было в 2017, 2018, 2021 годах с экстремальными погодными условиями периода созревания плодов: в 2017 избыток осадков — 100,8 мм (ГТК — 1,7), в 2018 и 2021 — засуха, сумма осадков в августе — 11,2 и 29,0 мм (ГТК — 0,20 и 0,46 соответственно), что говорит об испытываемом растениями стрессе и накоплении в плодах большего количества аскорбиновой кислоты для его преодоления.

Отмечено достоверное увеличение содержания аскорбиновой кислоты в вариантах совместного внесения в почву минеральных удобрений с некорневыми подкормками мочевиной и сульфатом калия в дозах $N_{30}K_{40}$ (2020 год) и $N_{60}K_{80}$ (2021). В остальные годы исследования достоверного влияния минеральных удобрений на накопление аскорбиновой кислоты у сорта *Веньяминовское* не выявлено.

В среднем за семь лет эксперимента содержание аскорбиновой кислоты в плодах было достоверно выше, по сравнению с контролем в варианте с внесением в почву максимальных доз азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$), а также с почвенным внесением ($N_{30}K_{40}$ и $N_{60}K_{80}$) совместно с некорневыми подкормками.

Наибольшей Р-витаминной активностью обладают катехины, содержащиеся в нативном состоянии в плодах и ягодах. Содержание катехинов в плодах у сорта *Веньяминовское* за весь период изучения варьировало от 59,3 до 252,0 мг/100 г в зависимости от года и варианта исследований и от 89,2 до 151,8 мг/100 г — в среднем по годам (табл. 7).

Максимальное содержание катехинов в плодах выявлено в 2021 году — (151,8 мг/100 г), минимальное (89,2 мг/100 г) в 2022, достоверно высокие значения исследуемого компонента были также в 2017, 2019.

В 2021 году было статистически значимое отрицательное влияние почвенного и фолиарного применения

Таблица 5.
Сахарокислотный индекс (условные единицы) плодов сорта
***Веньяминовское* при внесении удобрений по годам**

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Средние А
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Контроль	13,9	21,4	29,1	30,9	27,9	18,3	20,3	23,1
2. $N_{30}K_{40}$	14,6	27,9	30,6	29,1	21,9	16,8	21,1	23,1
3. $N_{60}K_{80}$	14,8	24,1	31,0	25,6	24,8	16,9	20,6	22,5
4. $N_{90}K_{120}$	12,8	19,8	26,3	23,5	21,1	14,2	20,3	19,7
5. Контроль + п. некорневая	14,8	24,7	27,7	27,7	20,6	15,80	20,8	21,7
6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая	14,0	27,2	35,4	24,9	21,2	18,4	20,3	23,1
7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая	13,9	21,2	30,3	23,1	22,7	16,8	19,7	21,1
8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая	15,8	21,3	24,1	17,4	20,9	13,8	16,3	18,5
Средние В	14,3	23,5	29,3	25,3	22,6	16,4	19,9	
НСР _{0,5} А=2,72 НСР _{0,5} В=2,54 НСР _{0,5} АВ=7,19								

Таблица 6.
Содержание аскорбиновой кислоты в плодах сорта
***Веньяминовское* при внесении удобрений по годам, мг/100 г**

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Средние А
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Контроль	6,0	5,3	2,6	3,1	4,9	3,6	2,2	3,9
2. $N_{30}K_{40}$	6,0	3,1	3,5	3,1	6,2	3,1	2,7	3,9
3. $N_{60}K_{80}$	6,6	5,8	2,6	3,9	2,7	5,8	1,8	4,2
4. $N_{90}K_{120}$	7,7	7,1	4,4	2,7	7,9	4,4	2,2	5,2
5. Контроль + п. некорневая	6,6	5,3	2,6	3,9	4,9	3,9	2,2	4,2
6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая	4,9	5,8	3,9	7,1	6,2	3,1	4,9	5,1
7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая	6,5	6,2	4,4	3,1	10,6	5,3	2,7	5,5
8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая	4,7	3,5	4,4	3,5	5,3	5,3	3,9	4,4
Средние В	6,1	5,3	3,6	3,8	6,1	4,3	2,8	
НСР _{0,5} А=1,21 НСР _{0,5} В=1,13 НСР _{0,5} АВ=3,20								

Таблица 7.
Содержание катехинов в плодах сорта *Веньяминовское*
при внесении удобрений по годам, мг/100 г

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Средние А
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Контроль	83,1	120,9	101,8	92,3	252,0	90,8	176,5	131,1
2. $N_{30}K_{40}$	112,4	86,2	136,0	108,1	137,5	115,8	159,8	122,3
3. $N_{60}K_{80}$	126,0	129,3	120,5	176,1	103,3	94,3	93,3	120,4
4. $N_{90}K_{120}$	183,8	136,2	172,0	117,0	245,3	93,8	88,3	148,1
5. Контроль + п. некорневая	132,1	134,1	135,3	112,9	92,8	108,8	129,9	120,8
6. $N_{30}K_{40}$ + п. некорневая	155,9	105,8	142,5	132,8	74,9	59,3	70,0	105,9
7. $N_{60}K_{80}$ + п. некорневая	151,7	122,5	165,1	144,7	124,6	77,9	65,8	121,8
8. $N_{90}K_{120}$ + п. некорневая	140,4	87,0	148,7	130,8	184,0	73,2	103,3	123,9
Средние В	135,7	115,3	140,2	126,8	151,8	89,2	110,9	
НСР _{0,5} А=40,62 НСР _{0,5} В=38,0 НСР _{0,5} АВ=107,48								

азотных и калийных удобрений на накопление катехинов в плодах *Веньяминовское*, по сравнению с контролем. В этом же году установлено повышенное содержание катехинов в плодах на уровне контроля в варианте $N_{90}K_{120}$. В 2023 году достоверно низкое содержание катехинов в плодах отмечено также в варианте 7.

Выводы. Таким образом, основное влияние на биохимический состав плодов яблони сорта *Веньяминовское* оказывали погодные условия вегетационного периода. Для накопления РСВ, сахаров и органических кислот благоприятным был 2019 год с оптимальными гидротермическими условиями периода за месяц до уборки урожая (ГТК — 1,03), что соответственно положительно отразилось на сахарокислотном индексе. Повышенное содержание аскорбиновой кислоты было в годы с экстремальными погодными условиями периода созревания плодов: 2017 — избыток осадков, 2018 и 2021 — засуха, что говорит об испытываемом растениями стрессе и накоплении в плодах большего количества аскорбиновой кислоты для его преодоления. Действие гидротермических условий на накопление Р-активных катехинов не установлено.

Четкой закономерности от применения почвенного и foliarного внесения азотных и калийных удобрений на биохимический состав плодов не выявлено. В отдельных вариантах опыта при определенных метеоусловиях вегетационного периода наблюдали достоверные результаты. Существенное превышение содержания аскорбиновой кислоты в плодах, по сравнению с контролем, наблюдали при почвенном внесении азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$), а также совместно с некорневыми подкормками в дозах: $N_{30}K_{40}$ и $N_{60}K_{80}$. Достоверное повышение содержания титруемых (органические) кислот в плодах отмечено при внесении максимальных доз удобрений ($N_{90}K_{120}$), что влечет за собой негативное последствие, так как повышенная титруемая кислотность отрицательно влияет на вкусовые качества яблок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Абраменко Н.А., Медеяева А.Ю., Лисова Е.Н. Изучение влияния различных схем внесения минеральных удобрений на урожайность и качество Синапа орловского // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 3. С. 302.
- Акимов М.Ю. Новые селекционно-технологические критерии оценки плодовой и ягодной продукции для индустрии здорового и диетического питания // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 244–254. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10057>
- Ветрова О.А., Макаркина М.А., Леонтьева Л.И. Влияние минеральных удобрений на вкусовые показатели плодов яблони // Садоводство и виноградарство. 2023. № 2. С. 28–35. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2023-2-28-35>
- Ветрова О.А., Макаркина М.А., Леонтьева Л.И. Влияние минерального питания на некоторые биохимические показатели качества плодов яблони // Плодородие. 2023. № 2(131). С. 43–47. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.131.10>
- Дубовицкий А.А., Климентова Э.А., Григорьева Л.В. Анализ современного состояния отрасли садоводства в России и перспективы развития на основе реализации рыночного потенциала // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 4(75). С. 124–138. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_124
- Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А. Методические подходы к формированию структурно-параметрических моделей нормативного управления устойчивостью воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 6. С. 4–8. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/4-8>
- Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И. и др. Влияние некорневых подкормок на содержание калия, кальция и магния в плодах двух сортов яблони // Агрохимия. 2018. № 8. С. 22–33. <https://doi.org/10.1134/S0002188118080094>
- Макаркина М.А., Седов Е.Н., Ветрова О.А. Оценка и отбор сортов яблони для селекции на повышенное содержание фенольных соединений в плодах // Современное садоводство. 2023. № 4. С. 23–35. https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0403
- Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
- Ожерельева З.Е., Прудников П.С., Никитин А.Л. и др. Урожайность и качество плодов *Malus domestica* Borkh. под влиянием новых органоминеральных удобрений // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 5. С. 902–914. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.5.902rus>
- Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 606 с.
- Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А., Макаркина М.А. Создание российских адаптивных сортов яблони (*Malus × domestica* Borkh.) ВНИИСПК — смена задач и развитие методов селекции (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 5. С. 897–910. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.897rus>
- Столяров М.Е., Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И. Влияние корневого и некорневого удобрения на качество плодов яблони двух сортов // Агрохимический вестник. 2020. № 6. С. 59–67. <https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10087>
- Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Тармаева И.Ю. Формирование общероссийской системы образования в области здорового питания населения // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 10. С. 1012–1018. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-10-1012-10181>
- Ayba L., Kunina V., Platonova N. et al. Biochemical composition of apple fruits when treated with growth-stimulating agrochemicals // E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). 2023. Vol. 392. P. 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339201007>
- Bondonno N.P., Bondonno C.P., Ward N.C. et al. The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds // Trends in Food Science & Technology. 2017. Vol. P. 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.012>
- Kuzin A.I., Kashirskaia N.Ya., Kochkina A.M., Kushntr A.V. Correction of potassium fertigation rate of apple tree (*Malus domestica* borkh.) in central russia during the growing season // Plants. 2020. Vol. 9. No. 10. PP. 1–21. <https://doi.org/10.3390/plants9101366>
- Lavic D., Radovi M., Alima J. et al. Influence of cultivar and fertilization treatment on bioactive content of some apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2023. Vol. 47. No. 3. PP. 345–356. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3091>

19. Mignard P., Beguería S., Giménez R. et al. Effect of genetics and climate on apple sugars and organic acids profiles // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(4). P. 827. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040827>
 20. Milošević T., Milošević N., Mladenović J. The influence of organic, organo-mineral and mineral fertilizers on tree growth, yielding, fruit quality and leaf nutrient composition of apple cv. 'Golden Delicious Reinders' // *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 297. P. 110978. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110978>
- REFERENCES**
1. Abramenko N.A., Medelyaeva A.Yu., Lisova E.N. Izuchenie vliyaniya razlichnykh skhem vneseniya mineral'nykh udobrenij na urozhajnost' i kachestvo Sinapa orlovskogo // *Nauka i Obrazovanie*. 2020. T. 3. № 3. S. 302.
 2. Akimov M.Yu. Novye selekcionno-tekhnologicheskie kriterii ocenki plodovoy i yagodnoy produkcii dlya industrii zdorovogo i dieticheskogo pitaniya // *Voprosy pitaniya*. 2020. T. 89. № 4. S. 244–254. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10057>
 3. Vetrova O.A., Makarkina M.A., Leont'eva L.I. Vliyanie mineral'nykh udobrenij na vkusovye pokazateli plodov yabloni // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2023. № 2. S. 28–35. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2023-2-28-35>
 4. Vetrova O.A., Makarkina M.A., Leont'eva L.I. Vliyanie mineral'nogo pitaniya na nekotorye biohimicheskie pokazateli kachestva plodov yabloni // *Plodorodie*. 2023. № 2(131). S. 43–47. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.131.10>
 5. Dubovickij A.A., Klimentova E.A., Grigor'eva L.V. Analiz sovremennogo sostoyaniya otrasli sadovodstva v Rossii i perspektivy razvitiya na osnove realizacii rynochnogo potentsiala // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. T. 15. № 4(75). S. 124–138. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_124
 6. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Koch'yan G.A. Metodicheskie podhody k formirovaniyu strukturno-parametricheskikh modelej normativnogo upravleniya ustojchivost'yu vosproizvodstvennykh processov v mnogoletnih agrocenozah // *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2023. № 6. S. 4–8. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/4-8>
 7. Leonicheva E.V., Roeva T.A., Leont'eva L.I. i dr. Vliyanie nekornevnykh podkormok na sodержanie kaliya, kal'ciya i magniya v plodah dvuh sortov yabloni // *Agrohimiya*. 2018. № 8. S. 22–33. <https://doi.org/10.1134/S0002188118080094>
 8. Makarkina M.A., Sedov E.N., Vetrova O.A. Ocenka i otborsortov yabloni dlya selekcii na povyshennoe sodержanie fenol'nykh soedinenij v plodah // *Sovremennoe sadovodstvo*. 2023. № 4. S. 23–35. https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0403
 9. Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij / pod red. A.I. Ermakova. L.: Agropromizdat, 1987. 430 s.
 10. Ozherel'eva Z.E., Prudnikov P.S., Nikitin A.L. i dr. Urozhajnost' i kachestvo plodov *Malus domestica* Borkh. pod vliyaniem novykh organomineral'nykh udobrenij // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*. 2023. T. 58. № 5. S. 902–914. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.5.902rus>
 11. Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur / pod obshch. red. E.N. Sedova, T.P. Ogo'covej. Orel: VNIISPK, 1999. 606 s.
 12. Sedov E.N., Yanchuk T.V., Korneeva S.A., Makarkina M.A. Sozdanie rossijskikh adaptivnykh sortov yabloni (*Malus* × *domestica* Borkh.) VNIISPK – smena zadach i razvitie metodov selekcii (obzor) // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*. 2022. T. 57. № 5. S. 897–910. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.897rus>
 13. Stolyarov M.E., Leonicheva E.V., Roeva T.A., Lent'eva L.I. Vliyanie korneвого i nekorneвого udobreniya na kachestvo plodov yabloni dvuh sortov // *Agrohimicheskij vestnik*. 2020. № 6. S. 59–67. <https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10087>
 14. Tutel'yan V.A., Nikityuk D.B., Tarmaeva I.Yu. Formirovanie obshcherossijskoj sistemy obrazovaniya v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya // *Gigiena i sanitariya*. 2023. T. 102. № 10. S. 1012–1018. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-10-1012-10181>
 15. Ayba L., Kunina V., Platonova N. et al. Biochemical composition of apple fruits when treated with growth-stimulating agrochemicals // *E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. 2023. Vol. 392. P. 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339201007>
 16. Bondonno N.P., Bondonno C.P., Ward N.C. et al. The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. P. 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.012>
 17. Kuzin A.I., Kashirskaya N.Ya., Kochkina A.M., Kushntr A.V. Correction of potassium fertigation rate of apple tree (*Malus domestica* Borkh.) in central Russia during the growing season // *Plants*. 2020. Vol. 9. No. 10. PP. 1–21. <https://doi.org/10.3390/plants9101366>
 18. Lavic D., Radovi M., Alima J. et al. Influence of cultivar and fertilization treatment on bioactive content of some apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2023. Vol. 47. No. 3. PP. 345–356. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3091>
 19. Mignard P., Beguería S., Giménez R. et al. Effect of genetics and climate on apple sugars and organic acids profiles // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(4). P. 827. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040827>
 20. Milošević T., Milošević N., Mladenović J. The influence of organic, organo-mineral and mineral fertilizers on tree growth, yielding, fruit quality and leaf nutrient composition of apple cv. 'Golden Delicious Reinders' // *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 297. P. 110978. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110978>

Поступила в редакцию 29.07.2024

Принята к публикации 12.08.2024

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВЕСЕННИМ ЗАМОРОЗКАМ ЯБЛОНИ*

Зоя Евгеньевна Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук

Павел Сергеевич Прудников, кандидат биологических наук

Анна Юрьевна Ступина, младший научный сотрудник

Ангелика Олеговна Болгова, аспирант, младший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская обл., Россия

E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Аннотация. В статье представлены результаты испытания нового препарата ПРК «Белый Жемчуг Универсальный Антифриз» на яблоне. Цель работы — исследовать влияние органоминерального удобрения на физиолого-биохимические показатели устойчивости к весенним заморозкам яблони. Объект изучения — сорт из биоресурсной коллекции ВНИИСПК Синап орловский. Схема опыта: 1. контроль (без обработки); 2. некорневая обработка 1%-м раствором ПРК «Белый Жемчуг Универсальный Антифриз»; 3. некорневая обработка 3%-м раствором ПРК «Белый Жемчуг Универсальный Антифриз». Повторность трехкратная, по пять учетных деревьев. Трехкратная некорневая обработка способствовала повышению на 34,3% связанной воды. На фоне увеличения активности суммарной амилазы 1% и 3% растворы препарата, по сравнению с контролем, увеличили количество сахарозы на 23,1 и 55,6% в плодовых почках. Препарат ПРК «БЖУ Антифриз» ускорял белковый обмен в плодовых почках. Уровень пролина под влиянием 3%-го раствора препарата ПРК «БЖУ Антифриз» уменьшился в 8,0 и 9,2 раза в варианте с 1%-м раствором, в контроле — 7,8 раза. По результатам полевых и лабораторных наблюдений выявили положительное влияние препарата ПРК «БЖУ Антифриз» на устойчивость цветков и бутонов. Полученные данные позволяют сделать вывод, что применение препарата приводит к повышению устойчивости к низкотемпературному стрессу в весенний период из-за оптимизации водного режима, улучшения углеводно-белкового, энергетического и окислительно-восстановительного обмена.

Ключевые слова: яблоня, Синап орловский, некорневые обработки, ПРК «Белый Жемчуг Универсальный Антифриз», устойчивость к весенним заморозкам

STUDY OF THE INFLUENCE OF ORGANOMINERAL FERTILIZER ON THE RESISTANCE TO SPRING FROST OF APPLE TREE

Z.E. Ozherelieva, *PhD in Agricultural Sciences*

P.S. Prudnikov, *PhD in Biological Sciences*

A.Yu. Stupina, *Junior Researcher*

A.O. Bolgova, *PhD Student, Junior Researcher*

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina, Orel region, Russia

E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Abstract. This article presents the preliminary results of testing a new drug NPC “White Pearl Universal Antifreeze” on apple. The purpose of the research was to study the effect of organomineral fertilizer on the physiological and biochemical parameters of apple trees resistance to spring frosts. Sinap Orlovsky, an apple cultivar from the bioresource collection of VNIISPK, served as an object of the study. The experiment was based on three variants. The experiment variants were: 1 — control (without treatments); 2 — foliar treatment with 1% solution of NPC “White Pearl Universal Antifreeze”; 3 — foliar treatment with 3% solution of NPC “White Pearl Universal Antifreeze”. There were 3 repetitions in each experiment with 5 accounting trees. Three-fold non-root treatment in the experimental versions contributed to a 34.3% increase in bound water. Against the background of an increase in the activity of total amylase, 1% and 3% solutions of the drug increased the amount of sugars in fruit buds by 23.1% and 55.6%, respectively, compared with the control. At the same time, the NPC “White Pearl Universal Antifreeze” contributed to the acceleration of protein metabolism in fruit buds. Thus, the level of proline under the influence of a 3% solution of the NPC “White Pearl Universal Antifreeze” decreased by 8.0 times and by 9.2 times in the variant with 1% solution, whereas in the control it decreased by 7.8 times. According to the results of field and laboratory observations, the positive effect of the drug NPC “White Pearl Universal Antifreeze” on the stability of flowers and buds was revealed. The preliminary data make it possible to conclude that the treatment with NPC “White Pearl Universal Antifreeze” can increase resistance to low-temperature stress in the spring period by optimizing the water regime, improving carbohydrate-protein, energy and redox metabolism.

Keywords: apple, Sinap Orlovsky, foliar treatments, NPC “White Pearl Universal Antifreeze”, resistance to spring frosts

Одна из причин снижения урожая плодовых культур, в частности яблони, — повреждение цветков и бутонов весенними заморозками. Наблюдается тенденция ухудшения в средней зоне плодоводства погодных условий при цветении садовых культур. В Орловской

области в период цветения яблони пониженные положительные температуры и утренние заморозки случаются почти ежегодно. В мае 1999 года был заморозок до минус 3°C, в 2000 и 2017 годах температура воздуха снизилась до минус 2°C. При этом отметили силь-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00041, <https://rscf.ru/project/24-26-00041/>. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-26-00041, <https://rscf.ru/project/24-26-00041/>

ное повреждение цветков у большинства сортов. [10] Один из наиболее перспективных методов повышения устойчивости сельскохозяйственных растений к неблагоприятным факторам среды — использование биопрепаратов. [6, 14, 15] К ним относятся органические и неорганические соединения, которые в малых дозах стимулируют физиолого-биохимические процессы, улучшают доступность питательных веществ и их усвоение. [2, 7–9, 11, 13, 16] Приоритет заключается в применении адаптогенных препаратов, действие которых связано не только с увеличением урожая, но и с повышением устойчивости растений к абиотическим факторам. Поэтому начаты исследования повышения устойчивости к весенним заморозкам яблони с использованием нового адаптогенного препарата ПРК «БЖУ Антифриз».

Цель работы — изучить влияние органоминерального удобрения ПРК «Белый Жемчуг Универсальный Антифриз» на физиолого-биохимические показатели устойчивости яблони к весенним заморозкам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений ФГБНУ ВНИИСПК проводят испытания Природного Растительного Комплекса (ПРК) «Белый Жемчуг Универсальный (БЖУ) Антифриз».

ПРК «БЖУ Антифриз» — адаптогенный препарат, который выполняет роль фитомодулятора, представляет собой суспензию минералов природного происхождения с концентратом экстрактов хвои ели, сосны, сибирской пихты. В составе: SiO_2 — 5,6%; N (общий) — 2...6% — 1,0%; CaO — 5000 ppm, MgO — 7000, K_2O B-130, Zn — 150, Mo — 200; Al_2O_3 — 1600 ppm; витамины — A (каротин, лютеин), D (фитостерины), E, K, B1, B2, B6, PP, H; эфирные масла, хлорофилл, флавоноиды, сахара, белки, аминокислоты.

Опыт был заложен в двух вариантах на участке с темно-серыми лесными почвами, содержание гумуса — 3...4%, мощность гумусового горизонта — 30...35 см. Объект изучения — сорт яблони селекции ВНИИСПК *Синап орловский*, растущий на полукарликовом подвое 54-118. Год посадки — 2013, схема — 6×3 м, повторность трехкратная, в каждой по пять учетных деревьев. Агротехника общепринятая.

Схема опыта: 1. контроль (без обработки); 2. некорневая обработка 1%-м раствором ПРК «БЖУ Антифриз»; 3. некорневая обработка 3%-м раствором ПРК «БЖУ Антифриз».

Фракционный состав воды в тканях однолетних побегов и плодовых почках яблони определяли методом Окунцова-Маринчик. [3] Концентрацию сахарозы в растворе устанавливали рефрактометрически (PAL-1), ее содержание — на основе резорцинового реактива при длине волны 520 нм. Содержание этого дисахарида рассчитали с помощью калибровочной кривой, построенной для чистой сахарозы. [5]

Количество пролина определили реакцией с реагентом нингидрина. [4] Содержание аминокислоты рассчитали с использованием калибровочной кривой, построенной для чистого пролина при длине волны 520 нм на спектрофотометре (BioRad SmartSpec Plus).

Устанавливали активность каталазы по методике. [4] Навеску растительного материала (100 мг) растирали в ступке со стекляннным порошком. Для умень-

шения кислотности к растертой пробе добавляли на кончике шпателя CaCO_3 , после еще 10 мл 3% перекиси водорода и 10 мл 3% раствора йодистого калия в 50% ацетоне. Смесь фильтровали, центрифугировали и спектрофотометрировали при 440 нм.

Активность пероксидазы определили методом Бояркина. [1] Субстрат — бензидин. Измеряли на ФЭКе при длине волны 670 нм.

Активность амилазы устанавливали колориметрическим методом учета количества негидролизованного амилазой крахмала. [1] Метод основан на расчете количества расщепленного амилазой крахмала при λ — 670 нм после обработки 0,3% раствором йода.

С учетом многолетних метеоданных весеннего периода были выбраны критические температуры для цветков и бутонов яблони. Моделировали весенние заморозки (минус 3,0 и минус 4,0°C) в климатической камере PSL-2КРН. Экспозиция промораживания — 3 ч. Скорость снижения температуры — 1°C/ч.

Экспериментальные данные обрабатывали дисперсионным методом (ANOVA) с использованием пакета MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате некорневой обработки в начале весны (спящая почка-серебряный конус) было повышение на 5,7 и 5,0% оводненности тканей однолетних побегов у обработанных деревьев 1%-м и 3%-м раствором ПРК «БЖУ Антифриз» соответственно, по сравнению с контролем. В обоих вариантах наблюдали повышение в 2,7...2,8 раза содержания свободной воды и понижение в 1,2 раза связанной (рис. 1 а). Предположительно адаптогенный препарат ПРК «БЖУ Антифриз» способствовал оптимизации водного режима сорта яблони *Синап орловский* и, как следствие этого, повысилась интенсивность обменных процессов. Данный вывод подтверждается полученными результатами биохимических исследований, которые представлены далее в статье.

После второй обработки 1%-м и 3%-м растворами препарата в фазе мышиное ушко содержание свободной воды значительно не изменилось, по сравнению с контролем. При этом доля связанной воды в тканях однолетних побегов опытных растений было меньше на 4,7 (1%-й раствор) и 6,8% (3%-й раствор). В плодовых почках опытного сорта после некорневой обработки 1%-м ПРК «БЖУ Антифриз» отметили понижение на 4,0% доли свободной воды и повышение на 2,6% связанной, по сравнению с контролем. В другом варианте (3%-й раствор) содержание свободной воды в плодовых почках было ниже контроля на 2,2%, а связанной выше на 1,1% (рис. 1 б). При этом в плодовых почках отметили более интенсивный переход свободной воды в связанную в варианте опыта с некорневой обработкой 1%-м раствором препарата.

В фазе закрытое соцветие выявили в плодовых почках повышение количества свободной воды во всех вариантах опыта (контроль — на 8,2%; 1%-й раствор — 6,1; 3%-й раствор — 1,8%), по сравнению с предыдущим сроком обработки (рис. 1 в). Для нормального функционирования растений при цветении им необходима свободная вода, которая определяет активность обменных процессов, поставляя питательные вещества в органы растений. Следует отметить, что некорневая обработка в обоих вариантах опыта способствовала

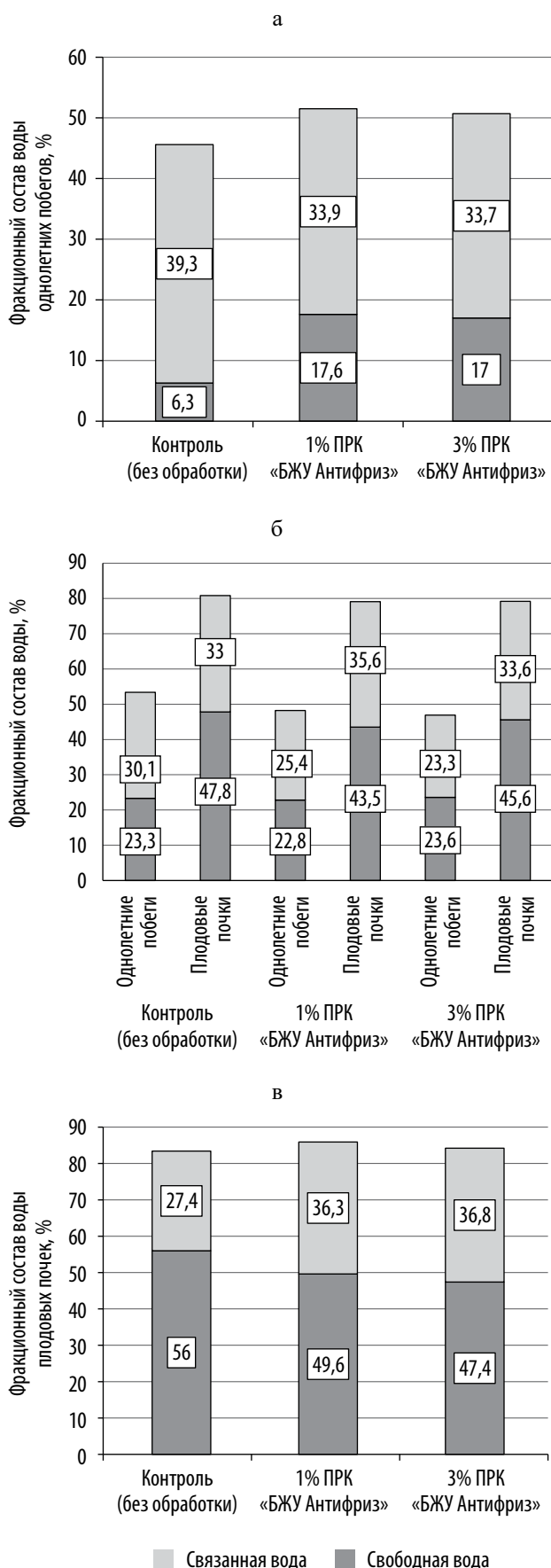


Рис. 1. Фракционный состав воды в однолетних побегах и плодовых почках сорта яблони *Синап орловский* в фазах: а — спящая почка-серебряный конус, б — мышиное ушко, в — закрытое соцветие, %.

повышению на 34,3% доли связанной воды в плодовых почках, что предположительно будет снижать риск повреждения цветков весенними заморозками, так как связанная имеет сниженную температуру замерзания, по сравнению со свободной.

В условиях отрицательной температуры свободный пролин и сахара играют ключевую роль в защите клетки от образования внутриклеточного льда за счет связывания воды и увеличивая концентрацию клеточного сока. Определение в коре однолетних побегов и плодовых почках сахарозы показало, что под действием некорневых обработок ПРК «БЖУ Антифриз» повышается углеводов. Обработка растворами ПРК «БЖУ Антифриз» способствовала увеличению этого дисахарида в тканях коры. После первой обработки уровень сахаров вырос на 16,9 и 25,3% соответственно для вариантов с 1%-й и 3%-й концентрацией раствора препарата, по сравнению с контролем (табл. 1). При этом активность суммарной амилазы, помогающей гидролизу крахмала до моносахаров, в этих вариантах была выше контроля на 39,0 и 80,5% (табл. 2). В плодовых почках повышенный уровень сахарозы отмечали в варианте с обработкой 1%-м раствором ПРК «БЖУ Антифриз» на фоне 30% увеличения активности суммарной амилазы. При обработке 3%-м раствором препарата в цветковых почках количество сахарозы на 20% было меньше контроля, что совпадает с падением на 29,5% активности

Таблица 1.
Влияние ПРК «БЖУ Антифриз» на содержание в тканях коры однолетних побегов и плодовых почках сахарозы, мг/г сухой массы

Вариант	Фаза плодовых почек		
	спящая почка – серебряный конус	мышиное ушко	закрытое соцветие
Однолетние побеги			
Контроль (без обработки)	0,83 ± 0,04	0,76 ± 0,04	0,68 ± 0,03
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,97 ± 0,05	0,86 ± 0,04	0,67 ± 0,03
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	1,04 ± 0,06	0,73 ± 0,04	0,87 ± 0,04
Плодовые почки			
Контроль (без обработки)	0,18 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,01
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,20 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,16 ± 0,01
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,15 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,14 ± 0,01

Таблица 2.
Влияние ПРК «БЖУ Антифриз» на активность суммарной амилазы в тканях коры однолетних побегов и плодовых почках, мг крахмала/ч-г

Вариант	Фаза плодовых почек		
	спящая почка – серебряный конус	мышиное ушко	закрытое соцветие
Однолетние побеги			
Контроль (без обработки)	85,2 ± 4,2	333,9 ± 13,3	206,5 ± 10,3
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	118,4 ± 4,7	301,3 ± 12,0	318,5 ± 12,7
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	153,8 ± 6,1	292,9 ± 14,6	312,6 ± 12,5
Плодовые почки			
Контроль (без обработки)	10,1 ± 0,6	114,6 ± 6,8	197,1 ± 11,8
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	13,1 ± 0,6	198,3 ± 9,9	378,3 ± 15,1
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	7,8 ± 0,4	214,6 ± 8,5	357,1 ± 14,2

суммарной амилазы. После второй обработки (мышинное ушко) количество сахарозы в тканях коры достоверно уменьшилось на 42,5%, по сравнению с первой датой обработок только в варианте с 3%-м раствором препарата. Отмечено максимальное снижение уровня дисахарида и в тканях плодовых почках на 67,0% при увеличении активности амилазы в 27,5 раза, что может указывать на рост потребления сахаров в качестве субстрата для дыхания и биосинтеза пластических эквивалентов (белки), необходимых для ростовых процессов. С увеличением активности суммарной амилазы в коре и плодовых почках под действием третьей обработки (закрытое соцветие), 1%-й и 3%-й растворы препарата, по сравнению с контролем, повысили количество сахарозы в плодовых почках на 23,1 и 55,6% соответственно, в отличие от предыдущей фазы, что согласуется с результатами исследований водного режима. В этот период значительно повышается в плодовых почках связанная вода. Поэтому уровень сахарозы в цветковых почках в вариантах с обработкой 1%-м и 3%-м раствором препарата ПРК «БЖУ Антифриз» на 45,5 и 27,3% превосходили контроль, что очень важно при низкотемпературном стрессе.

Анализ активности антиоксидантного фермента на примере каталазы показал, что обработка препаратом ПРК «БЖУ Антифриз» после первой обработки 1%-м и 3%-м раствором увеличила активность фермента в 1,5 раза как в коре, так и плодовых почках (табл. 3). Однако после второй обработки активность работы каталазы увеличилась, по сравнению с данными после первой обработки в 1,9 и 2,9 раза, тогда как в контроле в 3,4 раза для тканей коры и в 4,5 и 2,3 раза против 4,8 раз — для плодовых почек. После третьей обработки (закрытое соцветие) активность антиоксидантного фермента каталазы как в коре, так и цветковых почках была ниже контроля на 9,0...66,8%. Низкая интенсификация антиоксидантного фермента каталазы может быть связана с протекторным действием проведенных обработок вследствие предотвращения развития окислительного стресса в результате понижения температуры воздуха.

Определение другого антиоксидантного фермента (пероксидазы) показало, что после первой обработки (спящая почка-серебряный конус) в коре активность разложения перекиси водорода ферментом увеличилась на 15,8...26,3%, но было на уровне контроля в плодовых почках. После второй обработки (мышинное ушко), по сравнению с первой, активность фермен-

та в коре в большей степени уменьшилось при обработке 1%-м раствором препарата — на 20% (табл. 4). В плодовых почках под действием вторых обработок активность пероксидазы уменьшилась в 2,0...2,8 раза, в контроле — 3,3 раза. В фазе закрытое соцветие участие пероксидазы в процессе дыхания и образования пластических и энергетических эквивалентов в коре и плодовых почках во всех вариантах опыта существенно снижается и остается ее антиоксидантная роль, которая имеет конкурентные взаимоотношения с каталазой за субстрат (перекись водорода). Активность пероксидазы под действием обработок достоверно не отличается от контроля по всем вариантам опыта.

Для оценки эффективности испытуемого препарата на устойчивость яблони к весенним заморозкам провели искусственное промораживание цветков и бутонов сорта *Синап орловский*. При температуре минус 3°C у обработанных деревьев 1%-м и 3%-м растворами препарата отметили меньше на 19,7 и 27,0% погибших цветков и 13,9...15,1% бутонов соответственно, по сравнению с контролем (рис. 2 а). При температуре минус 4°C доля погибших цветков и бутонов была меньше на 9,8 и 9,0% и 9,1 и 10,5% соответственно после обработок 1%-м и 3%-м растворами препарата (рис. 2 б). Таким образом, в контролируемых условиях органоминеральные удобрения ПРК «БЖУ Антифриз» положительно повлияли на устойчивость цветков и бутонов яблони к весенним заморозкам на фоне повышения связанной воды и интенсивности углеводно-белкового обмена.

Важно отметить, что весной 2024 года сложились экстремальные погодные условия для плодовых культур. В мае (массовое цветение яблони) наблюдали продолжительное похолодание с периодически повторяющимися заморозками. Минимальная температура воздуха впервые за последние 50 лет понизилась до отметки минус 6°C (данные метеопоста ВНИИСПК). Потеря урожая у большинства сортов яблони составила 70...80%. При этом выявили положительное влияние препарата ПРК «БЖУ Антифриз» на устойчивость цветков и бутонов яблони, что подтверждает результаты искусственного промораживания. В контроле доля погибших цветков — 78,2%. Действие 1%-м и 3%-м растворами препарата снизило количество подмерзших цветков на 15,1 и 11,4% соответственно, по сравнению с контролем. Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами проведенных ранее исследований. [2, 12]

Таблица 3.
Влияние ПРК «БЖУ Антифриз» на активность каталазы в коре побегов и плодовых почках, мл O₂/мин.

Вариант	Фаза плодовых почек		
	спящая почка – серебряный конус	мышинное ушко	закрытое соцветие
Однолетние побеги			
Контроль (без обработки)	2,2 ± 0,1	7,5 ± 0,3	36,2 ± 1,8
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	3,4 ± 0,2	6,6 ± 0,2	30,0 ± 1,8
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	3,2 ± 0,1	9,4 ± 0,3	21,7 ± 1,3
Плодовые почки			
Контроль (без обработки)	12,8 ± 0,6	22,2 ± 1,1	82,0 ± 4,1
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	18,5 ± 0,9	23,4 ± 0,9	72,4 ± 3,6
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	19,0 ± 0,7	23,6 ± 1,1	75,2 ± 3,0

Таблица 4.
Влияние ПРК «БЖУ Антифриз» на активность пероксидазы в тканях коры однолетних побегов и плодовых почках, усл. ед.

Вариант	Фаза плодовых почек		
	спящая почка – серебряный конус	мышинное ушко	закрытое соцветие
Однолетние побеги			
Контроль (без обработки)	0,19 ± 0,011	0,18 ± 0,010	0,08 ± 0,005
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,24 ± 0,014	0,20 ± 0,012	0,09 ± 0,005
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,22 ± 0,013	0,21 ± 0,012	0,09 ± 0,005
Плодовые почки			
Контроль (без обработки)	0,10 ± 0,006	0,03 ± 0,001	0,04 ± 0,002
1%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,10 ± 0,006	0,05 ± 0,002	0,03 ± 0,001
3%-й ПРК «БЖУ Антифриз»	0,11 ± 0,006	0,04 ± 0,002	0,03 ± 0,001

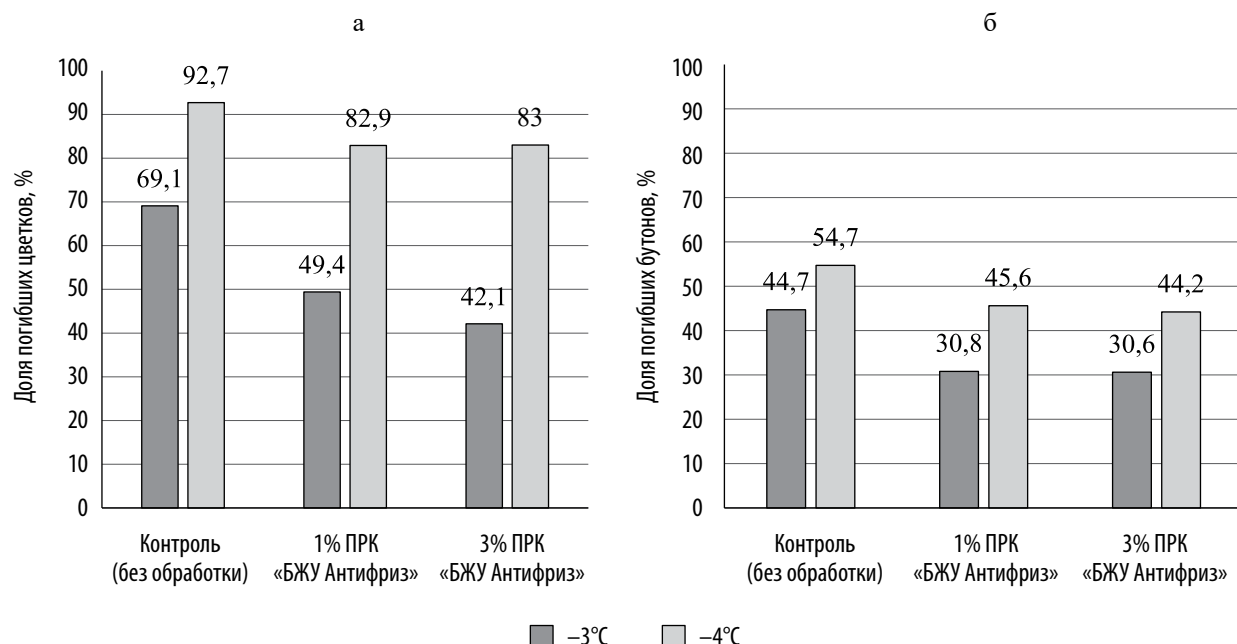


Рис. 2. Доля погибших цветков (а) и бутонов (б) сорта *Синап орловский* в контролируемых условиях, %.

Таким образом, адаптогенный препарат ПРК «БЖУ Антифриз» способен повысить устойчивость генеративных почек яблони сорта *Синап орловский* к весенним заморозкам из-за улучшения водного, углеводно-белкового, энергетического и окислительно-восстановительного обмена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Ермаков А.И. Методы биохимических исследований растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
- Ожерельева З.Е., Прудников П.С. Влияние биопрепаратов ПРК «Белый Жемчуг» линии В-PLUS на устойчивость к весенним заморозкам, урожайность и качество плодов яблони // Садоводство и виноградарство. 2022. № 6. С. 24–32. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-6-24-32>
- Ожерельева З.Е., Прудников П.С., Зубкова М.И. и др. Определение морозостойкости земляники садовой в контролируемых условиях. Орел, 2019. 25 с.
- Прудников П.С., Ожерельева З.Е. Физиолого-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии. Орел: ВНИИСПК, 2019. 46 с.
- Туркина М.В., Соколова С.В. Изучение мембранного транспорта сахарозы в растительной ткани // Физиология растений. 1972. Т. 19. № 5. С. 912–919.
- Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production // Plants. 2021. № 10. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions // Agronomy. 2017. V. 9. № 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>.
- Franzoni G., Bulgari R., Ferrante A. Maceration time affects the efficacy of borage extracts as potential biostimulant on rocket salad // Agronomy. 2021. № 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112182>
- Franzoni G., Cocetta G., Prinsi B. et al. Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions // Horticulturae. 2022. V. 8. № 3. 189. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>

- Krasova N., Ozherelieva Z., Galasheva A. et al. Gene pool assessment in terms of apple tree generative organs resistance of different ploidy to spring frost // E3S Web of Conferences. 2020. V. 176. 03017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017603017>
- Lau S.E., Teo W.F.A., Teoh E.Y., Tan B.C. Microbiome engineering and plant biostimulants for sustainable crop improvement and mitigation of biotic and abiotic stresses // Discover Food. 2022. № 2. <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00009-5>
- Ozherelieva Z., Prudnikov P., Nikitin A. et al. Adaptogenic Preparations Enhance the Tolerance to Spring Frosts, Yield and Quality of Apple Fruits // Horticulturae. 2023. V. 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050591>
- Rouphael Y., De Micco V., Raimondi G. et al. Effect of Ecklonia maxima seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions // Journal of Applied Phycology. 2017. V. 29. P. 459–470. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0937-x>
- Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in agriculture // Frontiers in Plant Science. 2020. V. 11. № 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Sangiorgio D., Cellini A., Donati I. et al. Facing climate change: Application of microbial biostimulants to mitigate stress in horticultural crops // Agronomy. 2020. V. 10. № 6. P. 794. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060794>
- Zulficar F., Casadesús A., Brockman H., Munné-Bosch S. An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts // Plant Science. 2020. V. 295. 110194. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>

REFERENCES

- Ermakov A.I. Metody biokhimicheskikh issledovaniy rastenij. L.: Agropromizdat, 1987. 430 s.
- Ozherel'eva Z.E., Prudnikov P.S. Vliyanie biopreparatov PRK «Belyj Zhemchug» linii B-PLUS na ustojchivost' k vesennim zamorozkam, urozhajnost' i kachestvo plodov yabloni // Sa-dovodstvo i vinogradarstvo. 2022. № 6. 24–32. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-6-24-32>

3. Ozherel'eva Z.E., Prudnikov P.S., Zubkova M.I. i dr. Opre-
delenie morozostojkosti zemlyaniki sadovoj v kontroliruemyh
usloviyah. Orel, 2019. 25 s.
4. Prudnikov P.S., Ozherel'eva Z.E. Fiziologo-biohimicheskie
metody diagnostiki ustojchivosti plodovyh kul'tur k zasuhe i
gipertermii. Orel: VNIISPK, 2019. 46 s.
5. Turkina M.V., Sokolova C.B. Izuchenie membrannogo trans-
porta saharozy v rastitel'noj tkani // Fiziologiya rastenij. 1972.
T. 19. № 5. S. 912–919.
6. Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties
of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable
crop production // Plants. 2021. № 10.
<https://doi.org/10.3390/plants10030531>
7. Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A. Biostimulants applica-
tion in horticultural crops under abiotic stress conditions // *Agronomy*. 2017. V. 9. № 6.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
8. Franzoni G., Bulgari R., Ferrante A. Maceration time affects
the efficacy of borage extracts as potential biostimulant on
rocket salad // *Agronomy*. 2021. № 11.
<https://doi.org/10.3390/agronomy1111218>.
9. Franzoni G., Cocetta G., Prinsi B. et al. Biostimulants on
crops: Their impact under abiotic stress conditions // *Horti-
culturae*. 2022. V. 8. № 3. 189.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
10. Krasova N., Ozherelieva Z., Galasheva A. et al. Gene pool as-
sessment in terms of apple tree generative organs resistance of
different ploidy to spring frost // *E3S Web of Conferences*. 2020.
V. 176. 03017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017603017>
11. Lau S.E., Teo W.F.A., Teoh E.Y., Tan B.C. Microbiome engi-
neering and plant biostimulants for sustainable crop improve-
ment and mitigation of biotic and abiotic stresses // *Discover
Food*. 2022. № 2. <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00009-5>
12. Ozherelieva Z., Prudnikov P., Nikitin A. et al. Adaptogenic
Preparations Enhance the Tolerance to Spring Frosts, Yield
and Quality of Apple Fruits // *Horticulturae*. 2023. V. 9.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9050591>
13. Rouphael Y., De Micco V., Raimondi G. et al. Effect of Eck-
lonia maxima seaweed extract on yield, mineral composition,
gas exchange and leaf anatomy of zucchini squash grown under
saline conditions // *Journal of Applied Phycology*. 2017. V. 29.
P. 459–470. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0937-x>
14. Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in agricul-
ture // *Frontiers in Plant Science*. 2020. V. 11. № 40.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
15. Sangiorgio D., Cellini A., Donati I. et al. Facing climate change:
Application of microbial biostimulants to mitigate stress in hor-
ticultural crops // *Agronomy*. 2020. V. 10. № 6. 794.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10060794>
16. Zulfiqar F., Casadesús A., Brockman H., Munné-Bosch S.
An overview of plant-based natural biostimulants for sustain-
able horticulture with a particular focus on moringa leaf ex-
tracts // *Plant Science*. 2020. V. 295. 110194.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>

Поступила в редакцию 25.07.2024
Принята к публикации 08.08.2024

УДК 634.72:581.143.6

DOI: 10.31857/S2500208225010057, EDN: CTZWCM

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДИКИ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ СМОРОДИНЫ КРАСНОЙ (*RIBES RUBRUM* L.) С УЧЕТОМ ГЕНОТИПИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Нелли Васильевна Ряго, аспирант

Татьяна Михайловна Хромова, кандидат биологических наук

Лариса Владимировна Ташматова, кандидат сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,

д. Жилина, Орловская обл., Россия

E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Аннотация. В статье рассмотрена эффективность микроклонального размножения смородины красной в зависимости от срока изоляции меристем, генотипических особенностей сортов и органического состава питательной среды на различных этапах культивирования. Исследования проводили в 2022–2023 годах на базе лаборатории биотехнологии ФГБНУ ВНИИСПК. Объект изучения – сорта селекции ВНИИСПК (Валентиновка, Вика, Газель). Изоляцию меристем осуществляли в два периода – апрель и июнь. Испытаны три среды на основе макро- и микросолей Murashige – Skoog с добавлением 0,2 мг/л 6-БАП, 10 мг/л аскорбиновой кислоты, тройного содержания хелата железа и разного содержания витаминов: 1) B_1 (0,5 мг/л), B_6 (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) (контроль, MS); 2) B_1 (0,1 мг/л), B_6 (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) (MS₁); 3) B_1 (10,0 мг/л), B_6 (10,0 мг/л), PP (5,0 мг/л) (MS₂). Наиболее существенное влияние на результат введения в культуру *in vitro* оказали сроки изоляции эксплантов и соответствующие им климатические условия, а также генотипические особенности сортов. Более высокую приживаемость при введении в апреле имели экспланты сортов Газель и Вика. Летний период введения для всех изучаемых сортов характеризовался ростом доли некроза и заражения эксплантов, вплоть до их гибели (Валентиновка). Изменение концентрации витаминов не существенно помогло приживаемости эксплантов на этапе инициации в культуре *in vitro*, культивированию микрорастений смородины красной на питательных средах, содержащих 6-БАП 0,8 мг/л (MS₃) и 6-БАП 0,5 мг/л, ИМК 0,1 мг/л, ГК 0,1 мг/л (MS₄) – на коэффициент размножения. Добавление в состав питательной среды низких концентраций цитокининов, ауксинов и гибберелловой кислоты способствовало увеличению высоты микроростков смородины красной Газель.

Ключевые слова: витамины, приживаемость, контаминация, некроз, сроки введения, стимулятор роста

OPTIMIZATION OF THE CLONAL MICROPROPAGATION METHODOLOGY ELEMENTS OF RED CURRANT (*RIBES RUBRUM* L.) TAKING INTO ACCOUNT GENOTYPIC FEATURES

N.V. Ryago, PhD Student

T.M. Khromova, PhD in Biological Sciences

L.V. Tashmatova, PhD in Agricultural Sciences

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina, Oryol region, Russia

E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Abstract. The purpose of the research is to study the effectiveness of microclonal reproduction of red currant depending on the period of isolation of meristems, genotypic characteristics of varieties and the organic composition of the nutrient medium at various stages of cultivation. The studies were conducted in 2022–2023 at the Biotechnology Laboratory of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. The following varieties bred by the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding were selected as the objects of the research. Meristems were isolated in two periods: April and June. Three media were tested based on Murashige – Skoog macro- and microsalts with the addition of 0.2 mg/l 6-BAP, 10 mg/l ascorbic acid, triple iron chelate content and different vitamin content: 1) B₁ (0.5 mg/l), B₆ (0.5 mg/l), PP (0.5 mg/l) (control, MS); 2) B₁ (0.1 mg/l), B₆ (0.5 mg/l), PP (0.5 mg/l) (MS); 3) B₁ (10.0 mg/l), B₆ (10.0 mg/l), PP (5.0 mg/l) (MS). The most significant effect on the result of introduction into *in vitro* culture was exerted by the terms of explant isolation and the corresponding climatic conditions, as well as the genotypic characteristics of the varieties. Explants of the Gazel and Vika varieties had a higher survival rate when introduced in April. The summer period of introduction for all the studied varieties was characterized by an increase in the proportion of necrosis and infection of explants, up to their death (Valentinovka variety). Changing the concentration of vitamins did not have a significant effect on the survival rate of explants at the initiation stage in *in vitro* culture. Cultivation of red currant microplants on nutrient media containing 6-BAP 0.8 mg/l (MS) and 6-BAP 0.5 mg/l, IMC 0.1 mg/l, GA 0.1 mg/l (MS) did not have a significant effect on the multiplication coefficient. Addition of low concentrations of cytokinins, auxins and gibberellic acid to the nutrient medium contributed to an increase in the height of red currant microshoots of the Gazel variety.

Keywords: vitamins, survival rate, contamination, necrosis, timing of administration, growth stimulator

Производство конкурентоспособного посадочного материала сельскохозяйственных культур в промышленных масштабах затруднительно без применения метода микроклонального размножения. Успешность технологии связана с физиологическими особенностями исходного материала, генотипом, минеральным составом питательной среды, содержанием витаминов. [19]

Выбор срока введения в культуру *in vitro* остается открытым, поскольку нет единого мнения о том, какой период может обеспечить наиболее высокий процент выхода стерильных жизнеспособных растений. Важно учитывать сезонность ростовых процессов в растениях, поэтому стоит корректировать сроки извлечения меристем для каждого вида и сорта индивидуально. [1, 17] Для многих ягодных культур эффективная регенерация эксплантов отмечается при введении в фазе активного роста. [4, 15] Некоторые исследователи выбирают фазу вынужденного покоя со спящими почками или почки в осенний период, когда ростовые процессы замедляются. [6, 9, 10, 15]

Питательная среда служит основным источником минералов, витаминов и других компонентов для функционирования микрорастений в культуре *in vitro*. Асептическая изоляция и культивирование ограничивает пути получения нужных растениям нутриентов, поэтому культуральная среда должна включать все необходимое для полноценного развития экспланта.

Минеральную основу среды подбирают индивидуально для вида и сорта растения, по этой причине не стоит исключать влияние генотипа. Специфическая реакция на состав среды может быть связана с генетическим контролем метаболизма гормонов в растении. [17] Каждый вид имеет свой состав элементов, поэтому его можно использовать для подбора среды и перекрытия дефицита тех или иных соединений. [16] В качестве минеральной основы применяют среду по прописи Murashige-Skoog (MS) (1962), модифицируя ее в зависимости от этапа культивирования. Сравне-

ние среды MS с элементным составом побегов хорошо растущих растений показало низкое содержание катионов Ca²⁺, Cu²⁺, P⁵⁺, Mg²⁺ и высокое анионов Cl⁻ и Mo⁶⁺. Большое количество неорганического азота в данной питательной среде способствовало формированию органов микрорастения. Помимо среды MS, существуют опыты с применением других минеральных основ для культивирования *in vitro*: McCown (WPM) (1981), Anderson (1984), Lee и de Fossard, Quorin–Lepoivre (1977) и другие.

Приживаемость и рост эксплантов зависит не только от солевого состава питательной среды, но и регуляторов роста, в основном цитокинов и ауксинов. [2] Наиболее подходящие условия для получения высоких побегов смородины красной были созданы на MS с минеральным составом 1/2 концентрации и содержанием БАП 0,4 мг/л, ИМК 0,02 мг/л и ГК 0,2 мг/л. [19]

Преодолеть критические моменты при воспроизводстве микрорастений помогает использование биологически активных веществ. [8] Витамины вместе с другими составляющими среды влияют на онтогенез растения, включая образование корней, формирование и рост каллуса, способность адаптироваться к стрессовым условиям. [12, 18] Доказано, что витамины работают как индукторы устойчивости к болезням, что привлекает внимание производителей из-за безопасности и экономической эффективности при их применении. [13] Дефицит витаминов, передозировка или дисбаланс — проблема для растений. [20]

В исследованиях по микроклональному размножению нет точных данных о концентрации витаминов в среде, которая бы обеспечила эксплантам полноценное развитие. В большинстве опытов по культивированию *in vitro* в состав питательной среды вносят витамины группы В (B₁, B₆, B₈, B₁₂), аскорбиновую кислоту (витамин С), никотиновую кислоту (PP). [7, 11]

Цель работы — изучение эффективности микроклонального размножения смородины красной в за-

висимости от срока изоляции меристем, генотипических особенностей сортов и органического состава питательной среды на различных этапах культивирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2022–2023 годах согласно общепринятым методикам на базе лаборатории биотехнологии ВНИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК). [3, 6, 15]

Объект изучения – сорта смородины красной селекции ВНИИСПК (табл. 1).

Выводили в культуру *in vitro* в два периода – апрель и июнь. Характеристику климатических условий осуществляли с использованием данных метеонаблюдений с января 2022 года по декабрь 2023, полученных на метеорологической станции ВНИИСПК (рис. 1).

Исходный материал в весенний период (выход из покоя) – почки однолетних одревесневших побегов. Для стимуляции процесса выхода из состояния покоя побеги помещали в сосуд с водой и выдерживали при температуре 22...24°C до появления зеленого конуса. В летний период источниками эксплантов служили почки растущих зеленых побегов.

Перед введением в культуру *in vitro* была ступенчатая стерилизация растительного материала с применением ртути двухлористой (HgCl₂) в концентрации 0,1% с экспозицией 10 мин. [9]

Для культивирования полученных из почек меристематических верхушек использовали варианты питательной среды MS с разным соотношением биологических активных веществ, дополненные аскорбиновой кислотой (10 мг/л) и тройным количеством хелата железа:

1) этап инициации культуры: MS + 6-БАП (0,2 мг/л) + витамины B₁ (0,5 мг/л), B₆ (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) – контроль (MS); MS₁ + 6-БАП (0,2 мг/л) + витамины B₁ (0,1 мг/л), B₆ (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) (MS₁); MS₂ + 6-БАП (0,2 мг/л) + витамины B₁ (10,0 мг/л), B₆ (10,0 мг/л), PP (5,0 мг/л) (MS₂).

2) этап размножения: MS + 6-БАП 0,8 мг/л (MS₃); MS + 6-БАП 0,5 мг/л, ИМК 0,1мг/л, ГК 0,1мг/л (MS₄) (варианты сред на фоне витаминов B₁ (0,5 мг/л), B₆ (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л).

Степень влияния сорта, климатических условий периода введения на физиологическое состояние исходного материала, состава питательной среды на результативность инициации культуры *in vitro* оценивали с использованием коэффициента вариации показателя (CV): ≤ 10% – слабая вариабельность; при 10%...20% – средняя; более 20% – высокая. Для оценки уровня значимости показателя применяли t-критерий Стьюдента (Student's t-tests, T) при P ≤ 0,05. [4]

Результаты статистически обрабатывали с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффективность введения эксплантов в культуру *in vitro* определяется в большей степени сроками их получения. При изоляции меристем в апреле доля прижившихся эксплантов зависит от генотипических особенностей сорта и метеоусловий в период образования растительного материала. Число жизнеспособных эксплантов сортов среднераннего срока созревания (*Газель*, *Вика*) было больше, чем у позднего *Валентиновка*, что объясняется их более ранним выходом из состояния глубокого покоя (рис. 2).

Таблица 1.
Объекты исследования и их характеристика

Сорт	Происхождение	
	генетическое	видовое
<i>Валентиновка</i>	<i>Rote Spatlese</i> × <i>Jonkheer Van Tets</i>	<i>R. rubrum</i> L. <i>R. multiflorum</i> Kit.
<i>Вика</i>	<i>Чулковская</i> × <i>Red Lake</i>	<i>R. vulgare</i> Lam.
<i>Газель</i>	<i>Чулковская</i> × <i>Maarses Prominent</i>	<i>R. vulgare</i> Lam.

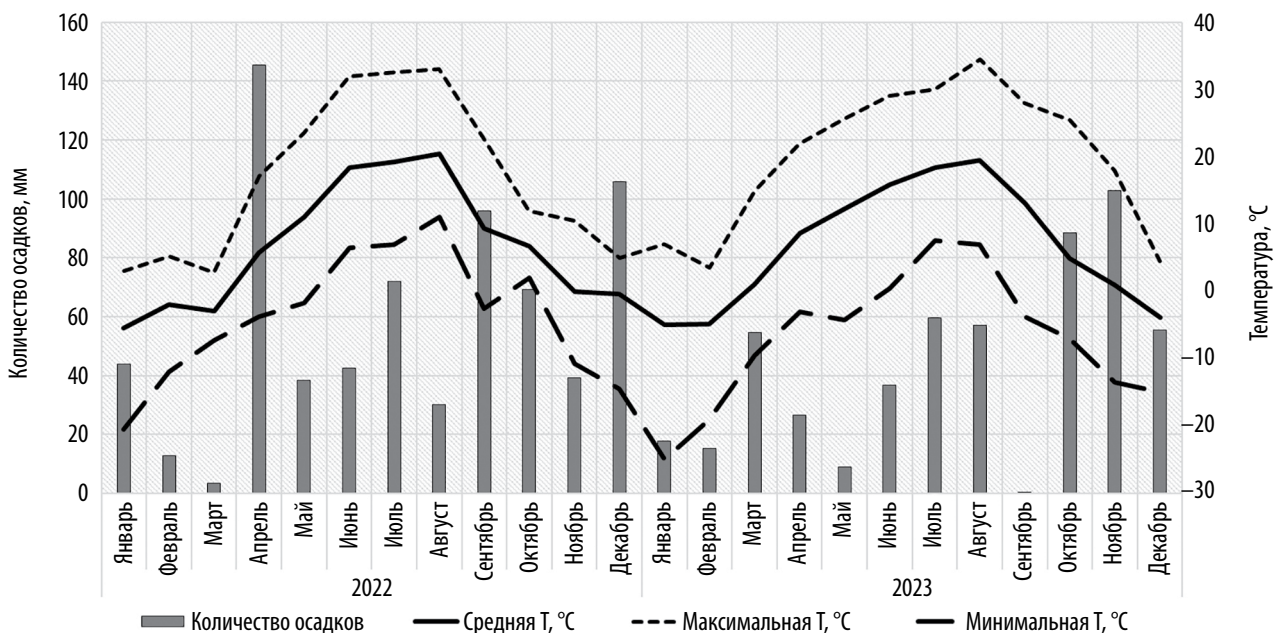


Рис. 1. Климатические условия в годы проведения исследований.

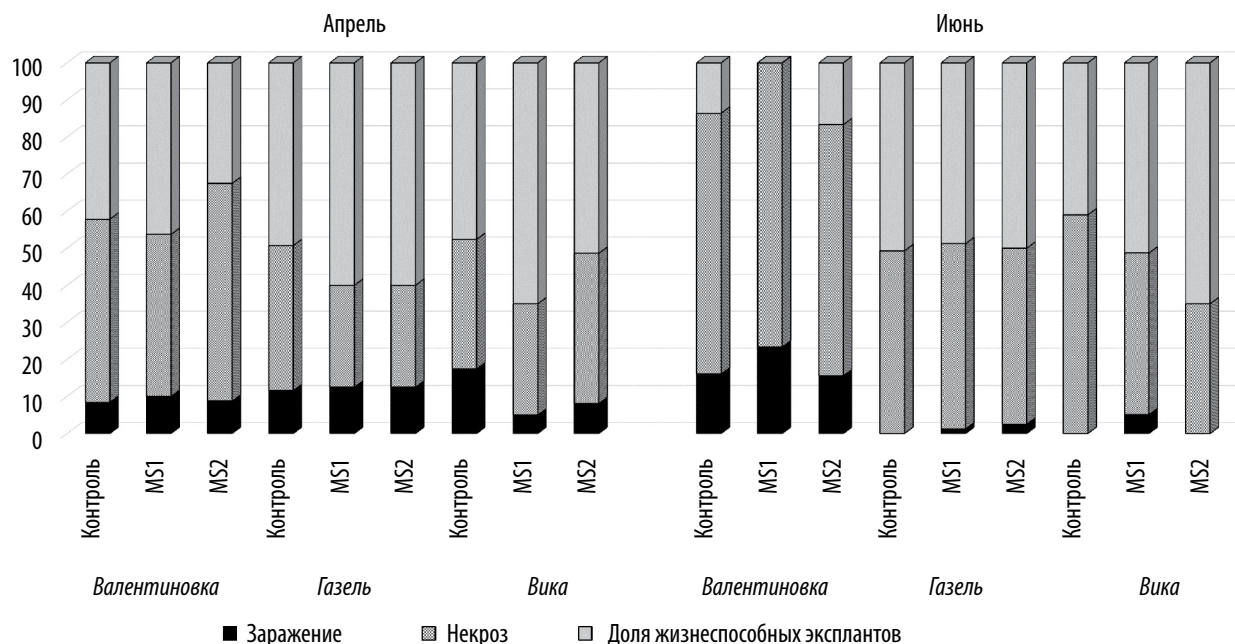


Рис. 2. Показатели жизнеспособности эксплантов смородины красной на этапе инициации культуры *in vitro*.

Таблица 2.

Показатели жизнеспособности эксплантов смородины красной на этапе инициации культуры

Год	Питательная среда	Показатели жизнеспособности (% общего числа введенных меристем)			Год	Питательная среда	Показатели жизнеспособности (% общего числа введенных меристем)		
		зараже- ние	некроз*	доля жизнеспособных эксплантов**			зараже- ние	некроз*	доля жизнеспособных эксплантов**
Апрель					Июнь				
Валентиновка					Валентиновка				
2022	MS (контроль)	5,41	78,38	16,22	2022	MS (контроль)	20,00	80,00	0
	MS ₁	17,50	55,00	27,50		MS ₁	30,00	70,00	0
	MS ₂	12,50	87,50	0		MS ₂	18,00	82,00	0
Газель					Газель				
	MS (контроль)	30,43	69,57	0		MS (контроль)	0	45,00	55,00
	MS ₁	20,00	22,50	57,50		MS ₁	0	45,00	55,00
	MS ₂	20,00	25,00	55,00		MS ₂	2,50	47,50	50,00
Вика					Вика				
	MS (контроль)	27,78	43,48	69,57		MS (контроль)	0	57,50	42,50
	MS ₁	—***	—	—		MS ₁	5,00	45,00	50,00
	MS ₂	14,71	12,50	60,00		MS ₂	0	25,00	75,00
Валентиновка					Валентиновка				
2023	MS (контроль)	10,87	26,09	63,04	2023	MS (контроль)	9,68	54,84	35,48
	MS ₁	2,50	32,50	65,00		MS ₁	15,00	85,00	0
	MS ₂	5,00	30,00	65,00		MS ₂	12,50	50,00	37,50
Газель					Газель				
	MS (контроль)	2,17	23,91	73,91		MS (контроль)	0	54,84	45,16
	MS ₁	5,00	32,50	62,50		MS ₁	2,50	55,00	42,50
	MS ₂	5,00	30,00	65,00		MS ₂	2,50	47,50	50,00
Вика					Вика				
	MS (контроль)	3,70	26,09	30,43		MS (контроль)	0,00	74,19	48,39
	MS ₁	5,00	30,00	65,00		MS ₁	5,26	40,00	50,00
	MS ₂	2,50	62,50	35,00		MS ₂	0	45,00	55,00
CV, Валентиновка		7,46	12,22	14,31	CV, Валентиновка		19,42	5,21	71,81
% Газель		3,50	17,47	8,96	% Газель		81,65	2,15	1,62
% Вика		51,97	12,25	13,67	% Вика		141,42	21,63	18,73
Т (для показателя 1)		T _{MSконтр.–MS1} = 1,1	T _{MSконтр.–MS2} = 0,1	T _{MS1–MS2} = 0,8	Т (для показателя 1)		T _{MSконтр.–MS1} = 0,2	T _{MSконтр.–MS2} = 0,5	T _{MS1–MS2} = 0,8
Т (для показателя 2)		T _{MSконтр.–MS1} = 1,8	T _{MSконтр.–MS2} = 0,9	T _{MS1–MS2} = 0,2	Т (для показателя 2)		T _{MSконтр.–MS1} = 0,1	T _{MSконтр.–MS2} = 0,5	T _{MS1–MS2} = 0,5

Примечание. * Показатель 1, ** Показатель 2, *** — нет данных.

Показатели приживаемости эксплантов сортов *Газель* и *Вика* по годам (43,66 и 67,46%, 57,14 и 50,47% соответственно) не имели достоверных отличий. Для *Валентиновки* более высокие положительные температуры в марте и плавный ход температур зимой 2023 года определили более ранний выход почек из состояния покоя и, как следствие, лучшую приживаемость меристем (64,29%), чем в 2022 (14,53%) (рис. 1). Дифференциация почек по цветочному типу и небольшие размеры меристем у всех сортов затруднили выделение меристематических верхушек и определили высокий процент погибших эксплантов.

В летний период приживаемость сортов *Газель* и *Вика* была ниже, чем весной. Существенного различия между показателями приживаемости меристем по годам (53,33 и 45,95%, 55,83 и 49,14% соответственно) при этом не отмечено. Приживаемость меристем сорта *Валентиновка* в 2023 году была низкой, в 2022 экспланты полностью погибли (рис. 2). Низкая приживаемость меристем при введении в культуру в июне связана с большой долей отмерших и зараженных побегов, что может быть вызвано более активным развитием сапрофитной микрофлоры в летний период и токсичным воздействием стерилизующего агента на ткани экспланта.

В исследованиях для культивирования полученных из почек меристематических верхушек использовали три варианта питательной среды с разным соотношением фитогормонов. Установлено, что изменение состава питательной среды не оказывало существенного влияния на приживаемость эксплантов на этапе инициации культуры *in vitro* (табл. 2). Таким образом, экспланты смородины красной неотзывчивы на изменения концентрации гормонов и для их культивирования при введении в культуру подходят все варианты питательной среды.

На этапе пролиферации было два варианта питательных сред (MS_3 , MS_4). Объект изучения — сорта *Газель* и *Вика*. В связи с гибелью большей части эксплантов сорта *Валентиновка* его исключили из опыта.

Отметили влияние генотипа на параметры развития эксплантов. Изменение гормонального состава питательной среды не оказало существенного влияния на пролиферативную активность эксплантов сорта *Вика*. Введение в питательную среду комплекса гормонов разной направленности действия и снижение концентрации цитокинина привело к снижению коэффициента размножения эксплантов сорта *Газель*, вместе с тем доля микрорастений высотой менее 5 мм снизилась почти в два раза. Количество микропобегов,

образующих дополнительные почки, уменьшилось в три раза, по сравнению со средой MS_3 (табл. 3).

Выводы. Из исследуемых факторов культивирования при введении в культуру *in vitro* смородины красной наиболее сильное воздействие оказывают сроки изоляции эксплантов и соответствующие им климатические условия, а также генотипические особенности сортов. Благоприятный период для изоляции меристем смородины красной — весна (апрель). Изменение состава питательной среды, в частности, концентрации витаминов, не сильно повлияло на приживаемость эксплантов на этапе введения в культуру *in vitro*. При микроразмножении проявлялась сортоспецифичная реакция на внесение в состав питательной среды цитокининов, ауксинов и гибберелловой кислоты в низких концентрациях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бунцевич Л.Л., Беседина Е.Н., Костюк М.А., Макаркина М.В. Разработка составов питательных сред для интродукции в культуру *in vitro* эксплантов сортов малины и крыжовника // Плодоводство и виноградарство юга России. 2014. № 28(04). С. 46–55.
- Гусева К.Ю. Клональное микроразмножение смородины черной (*Ribes nigrum* L.) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. № 19 (2). С. 5–10. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020064>
- Джигадло Е.Н., Джигадло М.И., Голышкина Л.В. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами. Орел: ВНИИСПК, 2005. 51 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) // М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Кузьмина Т.И., Кузнецова А.П., Федорович С.В. Повышение экономической эффективности клонального микроразмножения плодовых культур путём оптимизации периода интродукции *in vitro* эксплантов // Вестник Университета Российской академии образования. 2020. № 5. С. 51–58.
- Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенас С.Э. и др. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro*. Минск: Беларуская навука, 2016. 208 с.
- Тимофеева С.Н., Смолькина Ю.В., Апанасова Н.В., Юдакова О.И. Технологии микроразмножения *in vitro*: учебно-методическое пособие. Саратов: СГУ имени Н.Г. Чернышевского, 2016. 38 с.
- Усков А.И. Воспроизводство оздоровленного исходного материала для семеноводства картофеля: 3. Размножение исходных растений // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 12. С. 17–20.
- Хромова Т.М., Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Шахов В.В. Некоторые аспекты введения в культуру *in vitro* сортов смородины черной селекции ВНИИСПК // Вестник аграрной науки. 2020. № 4 (85). С. 31–36.
- Шахов В.В., Ташматова Л.В., Мацнева О.В. Сравнительная характеристика сроков введения эксплантов черной смородины (*Ribes nigrum* L.) в культуру *in vitro* // Современное садоводство. 2017. № 4 (24). С. 102–105.
- Abrahamian P., Kantharajah A. Effect of vitamins on *in vitro* organogenesis of plant // American journal of plant Sciences. 2011. Vol. 2. No. 05. P. 669–674. <https://doi.org/10.4236/ajps.2011.25080>
- Asensi-Fabado M.A., Munné-Bosch S. Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function // Trends in plant science. 2010. Vol. 15. No. 10. P. 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.07.003>

Таблица 3.
Результаты культивирования микропобегов сортов смородины красной на питательных средах с различным гормональным составом

Сорт	Коэффициент размножения		Число, %			
			пролиферирующих эксплантов		микропобегов менее 5 мм	
	MS_3	MS_4	MS_3	MS_4	MS_3	MS_4
<i>Газель</i>	$2,0 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$	90,0	27,2	88,0	42,8
<i>Вика</i>	$1,4 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	31,0	25,4	77,8	76,4
НСР ₀₅	1,17	0,18	1,62	8,04	7,9	10,2
	$F_\phi < F_{0,5}$	$F_\phi < F_{0,5}$	$F_\phi > F_{0,5}$	$F_\phi < F_{0,5}$	$F_\phi > F_{0,5}$	$F_\phi > F_{0,5}$

13. Boubakri H., Gargouri M., Mliki A. et al. Vitamins for enhancing plant resistance // *Planta*. 2016. Vol. 244. P. 529–543. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>
14. Cárdenas M. J.S. Adaptación de protocolos de establecimiento in vitro de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L. y *Ribes uva-crispa* L. Doctoral dissertation. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2016. 41 p.
15. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp. // *Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants*. 2013. P. 149–160. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_11
16. George E.F., Hall M.A., Klerk G.J.D. The components of plant tissue culture media II: organic additions, osmotic and pH effects, and support systems. In *Plant propagation by tissue culture: vol. 1. The background*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. P. 115–173.
17. Isroilova S.J. Особенности микрклонального размножения плодовых культур в условиях in vitro // *Theoretical & Applied Science*. 2019. No. 5 (73). С. 531–535.
18. Pitzschke A., Fraundorfer A., Guggemos M., Fuchs N. Antioxidative responses during germination in quinoa grown in vitamin B-rich medium // *Food Science & Nutrition*. 2015. Vol. 3. No. 3. P. 242–251. <https://doi.org/10.1002/fsn3.211>
19. Ryago N.V. Features of micro clone reproduction of some currant representatives of the genus *Ribes* spp.: review // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. Vol. 23. No. 10. P. 69–80. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-69-80>
20. Smith A.G., Croft M.T., Moulin M., Webb M.E. Plants need their vitamins too // *Current opinion in plant biology*. 2007. Vol. 10. No. 3. P. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.009>
7. Timofeeva S.N., Smol'kina Yu.V., Apanasova N.V., Yudakova O.I. *Tekhnologii mikrorazmnozheniya in vitro: uchebno-metodicheskoe posobie*. Saratov: SGU imeni N. G. Chernyshevskogo, 2016. 38 s.
8. Uskov A.I. *Vosпроизводство ozdorovlennogo iskhodnogo materiala dlya semenovodstva kartofelya: 3. Razmnozhenie iskhodnyh rastenij* // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2009. № 12. S. 17–20.
9. Hromova T.M., Tashmatova L.V., Macneva O.V., Shahov V.V. Nekotorye aspekty vvedeniya v kul'turu in vitro sortov smorodiny chernoy selekcii VNIISPK // *Vestnik agrarnoy nauki*. 2020. № 4 (85). S. 31–36.
10. Shahov V.V., Tashmatova L.V., Macneva O.V. Sravnitel'naya harakteristika srokov vvedeniya eksplantov chernoy smorodiny (*Ribes nigrum* L.) v kul'turu in vitro // *Sovremennoe sadovodstvo*. 2017. № 4 (24). S. 102–105.
11. Abrahamian P., Kantharajah A. Effect of vitamins on in vitro organogenesis of plant // *American journal of plant Sciences*. 2011. Vol. 2. No. 05. P. 669–674. <https://doi.org/10.4236/ajps.2011.25080>
12. Asensi-Fabado M.A., Munné-Bosch S. Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function // *Trends in plant science*. 2010. Vol. 15. No. 10. P. 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.07.003>
13. Boubakri H., Gargouri M., Mliki A. et al. Vitamins for enhancing plant resistance // *Planta*. 2016. Vol. 244. P. 529–543. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>
14. Cárdenas M. J.S. Adaptación de protocolos de establecimiento in vitro de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L. y *Ribes uva-crispa* L. Doctoral dissertation. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2016. 41 p.
15. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp. // *Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants*. 2013. P. 149–160. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_11
16. George E.F., Hall M.A., Klerk G.J.D. The components of plant tissue culture media II: organic additions, osmotic and pH effects, and support systems. In *Plant propagation by tissue culture: vol. 1. The background*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. P. 115–173.
17. Isroilova S.J. Особенности микрклонального размножения плодовых культур в условиях in vitro // *Theoretical & Applied Science*. 2019. № 5 (73). С. 531–535.
18. Pitzschke A., Fraundorfer A., Guggemos M., Fuchs N. Antioxidative responses during germination in quinoa grown in vitamin B-rich medium // *Food Science & Nutrition*. 2015. Vol. 3. No. 3. P. 242–251. <https://doi.org/10.1002/fsn3.211>
19. Ryago N. V. Features of micro clone reproduction of some currant representatives of the genus *Ribes* spp.: review // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. Vol. 23. No. 10. P. 69–80. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-69-80>
20. Smith A.G., Croft M.T., Moulin M., Webb M.E. Plants need their vitamins too // *Current opinion in plant biology*. 2007. Vol. 10. No. 3. P. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.009>

REFERENCES

1. Buncevich L.L., Besedina E.N., Kostyuk M.A., Makarkina M.V. Razrabotka sostavov pitatel'nyh sred dlya introdukcii v kul'turu in vitro eksplantov sortov maliny i kryzhovnika // *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii*. 2014. № 28 (04). S. 46–55.
2. Guseva K.Yu. Klonal'noe mikrorazmnozhenie smorodiny chernoy (*Ribes nigrum* L.) // *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*. 2020. № 19 (2). S. 5–10. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020064>
3. Dzhigadlo E.N., Dzhigadlo M.I., Golyshkina L.V. Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu biotekhnologicheskikh metodov v rabote s plodovymi, yagodnymi i dekorativnymi kul'turami. Orel: VNIISPK, 2005. 51 s.
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) // M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
5. Kuz'mina T.I., Kuznecova A.P., Fedorovich S.V. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti klonal'nogo mikrorazmnozheniya plodovyh kul'tur putyom optimizacii perioda introdukcii in vitro eksplantov // *Vestnik Universiteta Rossijskoy akademii obrazovaniya*. 2020. № 5. S. 51–58.
6. Kuharchik N.V., Kastrickaya M.S., Semenas S.E. i dr. Razmnozhenie plodovyh i yagodnyh rastenij v kul'ture in vitro. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016. 208 s.

Поступила в редакцию 07.11.2024

Принята к публикации 21.11.2024

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В ЯБЛОНЕВЫХ САДАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАО «15 ЛЕТ ОКТЯБРЯ» ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Вячеслав Леонидович Захаров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Роман Викторович Щучка, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Владимир Александрович Кравченко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Борис Александрович Сотников, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Валентина Андреевна Гулидова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», г. Елец, Липецкая обл., Россия

E-mail: zacharov7979@mail.ru

Аннотация. В монокультуре слаборослой яблони почвоутомление чернозема выщелоченного проявляется в 20–24-летнем возрасте деревьев. Разработана методика оценки степени деградации почв в яблоневых садах. Ее апробация на примере чернозема выщелоченного показала, что в наибольшей степени деградировали содержание подвижного фосфора и обменного калия в слое 30–60 см, целлюлолитическая активность — 10–100 см, количество бактерий — 0–40 см, обеспеченность общим азотом в листьях биоиндикатора (ячмень) в фазе кущения. Самая слабая степень деградации чернозема выщелоченного отмечена по толщине гумусового горизонта, общей пористости в слое 10–70 см, коэффициенту структурности — 0–40 см, гигроскопичности — 0–70 см, максимальной гигроскопической влажности — 0–30 см, наименьшей влагоемкости — 0–30 см, капиллярной влагоемкости — 0–60 см, гидролитической кислотности — 10–60 см, сумме обменных оснований — 0–60 см, содержанию азота нитратного — 0–60 см, кальция обменного — 20–60 см, магния обменного — 10–70 см, pH сол — 30–60 см и численности дрожжей — 0–40 см. Почвенные параметры, которые изменились в наименьшей степени, можно считать слагающими компонентами буферности чернозема выщелоченного. Степень его деградации в 24-летних слаборослых яблоневых садах на подвое 62-396 при содержании междурядий под черным паром в условиях ЗАО «15 лет Октября» Липецкой области в 2014–2022 годах была низкой. В данном хозяйстве рекомендуется увеличить количество вносимых под яблоню фосфорно-калийных, органических или зеленых удобрений.

Ключевые слова: яблоневые сады, трансформация почвы, деградация почвы, оценка плодородия почвы

TESTING THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEACHED CHERNOZEM DEGRADATION DEGREE IN APPLE ORCHARDS USING THE EXAMPLE OF CJSC “15 YEARS OF OCTOBER” IN LIPETSK REGION

V.L. Zakharov, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

R.V. Shchuchka, *PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor*

V.A. Kravchenko, *PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor*

B.A. Sotnikov, *PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor*

V.A. Gulidova, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk region, Russia

E-mail: zacharov7979@mail.ru

Abstract. In the monoculture of a low-growing apple tree, soil fatigue of leached chernozem manifests itself at the age of 20–24 years of trees. A methodology for assessing the degree of soil degradation in apple orchards has been developed. Its approbation on the example of leached chernozem showed that the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium in the 30–60 cm layer, cellulolytic activity in the 10–100 cm layer, the number of bacteria in the 0–40 cm layer, and the provision of total nitrogen in the leaves of the bioindicator (barley) in the tillering phase degraded to the greatest extent. The weakest degree of degradation of leached chernozem is noted by the thickness of the humus horizon, total porosity in a layer of 10–70 cm, structural coefficient in a layer of 0–40 cm, hygroscopicity in a layer of 0–70 cm, maximum hygroscopic humidity in a layer of 0–30 cm, the lowest moisture capacity of a layer of 0–30 cm, capillary moisture capacity in a layer of 0–60 cm, hydrolytic acidity in a layer of 10–60 cm, the sum of the exchange bases in a layer of 0–60 cm, the content of nitrate nitrogen in a layer of 0–60 cm, calcium exchange in a layer of 20–60 cm, magnesium exchange in a layer of 10–70 cm, The pH of the salt extract in the layer is 30–60 cm and the number of yeast in the layer is 0–40 cm. The soil parameters that have changed to the least extent can be considered as composing components of the buffering of leached chernozem. The degree of degradation of leached chernozem in 24-year-old low-growing apple orchards on rootstock 62-396 with row spacing under black steam in the conditions of CJSC 15 years of October in the Lipetsk region in 2014–2022 was low. Based on the degradation structure in this farm, it is recommended to increase the amount of phosphorus-potassium, organic or green fertilizers applied under the apple tree.

Keywords: apple orchards, soil transformation, soil degradation, soil fertility assessment

В результате анализа отечественных подходов к оценке степени деградации почв были предложены эталоны по некоторым видам деградации (дегумификация, переуплотнение, подкисление, агроистощение и другое) и сделаны дополнения, уточнения существующих

диагностических признаков определения их степени (эрозия, дефляция, деградация почв из-за наноса неплодородного породного материала, переувлажнение, заболачивание и другие). [7] Картографирование деградации почв с помощью дистанционного зонди-

рования играет важную роль в понимании пространственных масштабов и темпов распространения этой проблемы. [18] Эрозионную деградацию определяют по среднему соотношению энергий фракции и гумуса. [10] Создана база данных GASEMT, позволяющая прогнозировать эрозию почв. [15] Биологическую деградацию почв чаще всего оценивают по снижению биологической активности, в том числе численности лигнолитических грибов, бактерий. [13, 17] Вторая по распространенности форма деградации после эрозионной — химическая. Ее анализируют по изменению уровня азота, фосфора, калия и гумуса, микроэлементного состава, степени и типа засоления, скорости закисления. [2, 9, 14] В результате корректируют систему удобрения, оценивают эколого-экономический ущерб. [1, 11] Физическая деградация почв заключается в разрушении структуры почвы, рассеивании ее частиц, закупорке пор и увеличении плотности. [12, 16] Обоснованы критерии, базирующиеся на дистанционных измерениях радиоизлучательных характеристик почв и позволяющие фиксировать происходящие изменения водно-физических и других свойств, что необходимо при установлении процессов деградации на ранних стадиях. [8] В литературе описан алгоритм оценки степени деградации почв с использованием аэрокосмических изображений. [3]

В полеводстве применяют трехуровневую шкалу степени деградации многих типов и подтипов почв (дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы выщелоченные, обыкновенные, типичные, южные, каштановые почвы и бурые пустынно-степные) по рНсол, гумусу, нитратному азоту, подвижному фосфору, обменному калию и соотношению органического вещества гуминовых и фульвокислот. [6] В России также популярна пятиуровневая оценка степени деградации почв.

Установлено, что в монокультуре слаборослой яблони почвоутомление черноземов выщелоченных проявляется в 20–24-летнем возрасте деревьев. [4]

Цель работы — апробировать разработанную нами ранее и запатентованную методику оценки степени деградации почв в яблоневых садах (на примере чернозема выщелоченного).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили с 2014 по 2022 год в яблоневом слаборослом саду (заложен в 1998 году по схеме 5×3 м на подвое 62-396) ЗАО «15 лет Октября» Лебедянского района Липецкой области. Система содержания междурядий — черный пар: весеннее зубовое боронование на 3...5 см и пяти-шестикратная обработка на 10...12 см в течение лета, заключающаяся в чередовании культиваций и дисковых боронований. Сорта — *Северный Синап*, *Лобо*, *Уэлси*, *Спартан*, *Мелба*, *Жигулевское*. Почва — чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Один раз в четыре года осуществляли осеннюю отвальную вспашку на глубину 30...40 см. Средняя урожайность плодов яблони — 90,0 ц/га при рентабельности производства 207 %. Пользуясь методикой, мы сопоставляли свойства почв в приствольных полосах и междурядьях, отбирая пробы почвы в указанных точках. Было 24 учетных дерева (по 6 в блоке). Количество блоков (повторения) — 4, расположение — рендомизированное. Интенсивность деструкции клетчатки определяли аппликационным методом,

гигроскопичность — термостатно-весовым, наименьшую влагоемкость — с помощью гипсовых слепков и заливки площадок, капиллярную — цилиндром с сетчатым дном, общую пористость — по плотности почвы и твердой фазы, плотность почвы — методом режущих цилиндров, твердой фазы — пикнометрическим методом, структурный анализ — методом сухого просеивания. Агрохимические анализы почвы проводили по инструкции Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания сельского хозяйства. Количество микроорганизмов в почве устанавливали посевом на питательные среды, биоиндикацию почвы — с помощью вегетационного опыта. Содержание общего азота в листьях растения-биоиндикатора (ячмень) находили методом мокрого озоления. ГТК в годы исследований — 0,9...1,3.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании детального изучения почвоутомления в садах яблони мы разработали и запатентовали методику оценки степени деградации почв по разности в свойствах почвы между двумя зонами сада: 1 — на удалении 130 см от штамба в приствольной полосе, 2 — середине междурядий. [5] Степень деградации оценивали в баллах по величине отклонения зоны 1 от зоны 2 (очень низкая — 0,8, низкая — 1,6, средняя — 2,4, повышенная — 3,2, высокая — 4).

Сопоставляя свойства почвы можно увидеть по некоторым параметрам математическую разницу. Чем она больше, тем выше балл деградации. Установлено, что к 24-летнему возрасту деревьев яблони в результате эксплуатации чернозема выщелоченного некоторые его физические параметры деградировали в разной степени. Очень низкая степень деградации выявлена по толщине гумусового горизонта (плоскостная эрозия из-за выноса почвы с обрабатывающими орудиями при обработках ранее физической спелости почвы), общей пористости в слое 10...70 см (уплотнение техникой), коэффициенту структурности — 0...40 см (частые обработки на одну и ту же глубину), гигроскопичности — 0...70 см и максимальной гигроскопичности — 0...30 см (снижение количества кальция и органического вещества), наименьшей влагоемкости — 0...30 см (уменьшение органического вещества) и капиллярной влагоемкости — 0...60 см (разрушение капиллярных связей). По этим параметрам почву можно считать буферной (табл. 1).

Низкая степень деградации чернозема выщелоченного установлена по содержанию водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм в слое 0...30 см и по скорости капиллярного подъема воды у агрегатов диаметром 0,25...5,0 мм в 0...10 см (вследствие распыляющего действия частых дисковых боронований на одну и ту же глубину в течение вегетационного сезона).

Из агрохимических показателей чернозема выщелоченного в средней степени деградировали содержание фосфора подвижного и калия обменного, низкой — количество азота легкогидролизуемого в слое 10...60 см и гумуса — 30...60 см, в очень низкой: гидролитическая кислотность в слое 10...60 см, сумма обменных оснований — 0...60 см, азот нитратный — 0...60 см, кальций обменный — 20...60 см, магний обменный — 10...70 см и рНсол — 30...60 см. По этим параметрам почву можно считать буферной.

Таблица 1.

**Степень деградации физических параметров
чернозема выщелоченного**

Параметр, по которому есть отклонение между двумя зонами сада	Степень деградации, балл				
	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
Толщина гумусового горизонта (А), см	10				
Общая пористость в 10...70 см, %	4,0				
Коэффициент структурности в 0...40 см	1				
Содержание водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм в 0...30 см, %	10				
Гигроскопичность в 0...70 см, %	0,8				
Максимальная гигроскопическая влажность в 0...30 см, %	1,6				
Наименьшая влагоемкость в 0...30 см, %	4,4				
Капиллярная влагоемкость в 0...60 см, %	3,4				
Скорость капиллярного подъема воды у агрегатов 0,25...5 мм в 0...10 см, мм/мин.	30				

Самая высокая степень деградации отмечена по подвижному фосфору и обменному калию, что объясняется изначальным лимитом фосфора в черноземных почвах, а также поглотительной деятельностью корней в корнеобитаемом слое 30...60 см яблони как калие-любивой культуры. Эти параметры свидетельствуют о необходимости увеличения внесения фосфорно-калийных удобрений под яблоню в данном хозяйстве на черноземе выщелоченном (табл. 2).

Из биологических параметров чернозема выщелоченного больше изменилось (средняя степень деградации) содержание бактерий в слое 0...40 см, что сигнализирует об увеличении количества вносимых органических или зеленых удобрений под яблоню.

Наблюдали среднюю степень деструкции клетчатки в слое 10...100 см. Этот параметр — дополнительный сигнализатор необходимости увеличения биологической активности чернозема выщелоченного с помощью органических удобрений. О средней степени деградации почвы свидетельствует также уровень общего азота в листьях растения-биоиндикатора (ячмень) в фазе кущения, выращенного на этой почве. В низкой степени деградировало количество плесне-

вых грибов в слое 0...40 см и надземная зеленая масса растения-биоиндикатора. Наименьшее изменение (очень низкая степень деградации) произошло в содержании дрожжей в 0...40 см (табл. 3).

По физическим параметрам сумма баллов деградации составила 8,8, агрохимическим — 12,8, биологическим — 15,6.

В своей методике мы предлагаем пятиуровневую шкалу оценки степени деградации почв в садах яблони: 0...20 баллов — очень низкая, 20...40 — низкая, 40...60 — средняя, 60...80 — повышенная, 80...100 — высокая.

Суммируя баллы деградации по каждому из 25 показателей, получили 37,2 балла, что соответствует низкой степени деградации.

Таким образом, в 24-летних слаброслых яблоневых садах ЗАО «15 лет Октября» на подвое 62-396 при содержании междурядий под черным паром степень деградации чернозема выщелоченного низкая или средняя. Эту оценку можно использовать не только как показатель буферности, но и как характеристику уровня агротехники в хозяйстве.

Выводы. При содержании чернозема выщелоченного под черным паром к 24-летнему возрасту деревьев яблони в наибольшей степени деградировали: содержание подвижного фосфора и обменного калия в слое 30...60 см, целлюлозолитическая активность — 10...100 см, количество бактерий — 0...40 см, обеспеченность общим азотом в листьях биоиндикатора (ячмень) в фазе кущения.

Самая слабая степень деградации отмечена по толщине гумусового горизонта, общей пористости в слое 10...70 см, коэффициенту структурности — 0...40 см, гигроскопичности — 0...70 см, максимальной гигроскопической влажности — 0...30 см, наименьшей влагоемкости — 0...30 см, капиллярной влагоемкости — 0...60 см, гидролитической кислотности — 10...60 см, сумме обменных оснований — 0...60 см, содержанию азота нитратного — 0...60 см, кальция обменного — 20...60 см, магния обменного — 10...70 см, pH_{сол} — 30...60 см и численности дрожжей — 0...40 см.

Почвенные параметры, которые изменились в наименьшей степени можно считать слагающими компонентами буферности чернозема выщелоченного.

Таблица 2.

**Степень деградации агрохимических свойств
чернозема выщелоченного**

Параметр, по которому есть отклонение между двумя зонами сада	Степень деградации, балл				
	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
Гидролитическая кислотность в 10...60 см, мг-экв/100 г почвы	2,6				
Сумма обменных оснований в 0...60 см, мг-экв/100 г почвы	2,8				
Азот легкогидролизуемый в 10...60 см, мг/100 г почвы	1,1				
NO ₃ в 0...60 см, мг/100 г	2,8				
P ₂ O ₅ подвижный в 30...60 см, мг/100 г почвы	6,0				
K ₂ O обменный в 30...60 см, мг/100 г почвы	8,0				
Ca обменный в 20...60 см, мг-экв/100 г почвы	1,3				
Mg обменный в 10...70 см, мг-экв/100 г почвы	0,5				
Гумус в 30...60 см, %	1,0				
pH _{кд} в 30...60 см	0,3				

Таблица 3.

**Степень деградации биологических параметров
чернозема выщелоченного**

Параметр, по которому есть отклонение между двумя зонами сада	Степень деградации, балл				
	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
Целлюлозолитическая активность в 10...100 см, %	25,0				
Количество бактерий в 0...40 см, тыс. КОЕ/г почвы	9,0				
Количество дрожжей в 0...40 см, млн. КОЕ/г почвы	5,2				
Количество плесневых грибов в 0...40 см, тыс. КОЕ/г почвы	412,0				
Надземная зеленая масса озимого тритикале, выращенного на почвах двух зон, г/сосуд	2,0				
Общий азот в листьях ячменя в фазе куще- ния, выращенного на почвах двух зон, %	0,8				

Степень деградации чернозема выщелоченного в 24-летних слаборослых яблоневых садах на подвое 62-396 при содержании междурядий под черным паром в 2014–2022 годах в условиях ЗАО «15 лет Октября» Липецкой области – низкая.

Исходя из структуры деградации в данном хозяйстве необходимо увеличить количество вносимых под яблоню фосфорно-калийных, органических или зеленых удобрений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В., Матыченков Д.В. Методика оценки эколого-экономического ущерба от деградации осушенных органогенных почв различной степени антропогенной трансформации // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сб. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. 26–28 апреля 2023 года. Курск, 2023. С. 5–9.
2. Байдюсен У.Ж., Сатова К.М. Оценка степени химической деградации почв Целиноградского района Акмолинской области по их микроэлементному составу // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2016. № 2(89). С. 103–110.
3. Бондур В.Г., Мурынин А.Б., Рихтер А.А., Шахрамьян М.А. Разработка алгоритма оценки степени деградации почвы по мультиспектральным изображениям // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 6(131). С. 130–134.
4. Захаров В.Л. Комплексная оценка садопригодности почв Тамбовской равнины на основе их устойчивости к садовой агротехнике: монография. Елец: ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 2019. 330 с.
5. Захаров В.Л. Способ оценки деградации почв и времени их износа в промышленных насаждениях яблони // Патент на изобретение № 2737393 от 18.02.2020.
6. Лентяева Е.А., Кирейчева Л.В., Безбородов Ю.Г. К вопросу оценки степени деградации зонально-провинциальных почв // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: Мат. Межд. науч.-практ. конф., 29–30 марта 2016 года. Т. I. М., 2016. С. 306–315.
7. Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Яковлев А.С. и др. Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1394.
8. Романов А.Н. Дистанционная оценка степени деградации почв по их радиоизлучательным свойствам // Почвоведение. 2009. № 3. С. 355–363.
9. Саидова М.Э., Гафурова Л.А., Мазиров М.А. Оценка степени деградации орошаемых почв аридных зон на основе информативных показателей // Владимирский земледелец. 2019. № 3(89). С. 20–24.
10. Сергеев В.Т., Черныш А.Ф., Юхновец А.В., Цырибко В.Б. Количественная оценка степени эрозийной деградации почв по их внутренней энергии // Двадцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозийных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения, 08–10 октября 2013 года. Пермь, 2013. С. 155–157.
11. Слабунова А.В., Арискина Ю.Ю. Оценка степени деградации почв на примере сельскохозяйственных земель Куйбышевского района Ростовской области // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4. № 1. С. 14–31.
12. Трофимова Т.А., Коржов С.И., Гулевский В.А., Образцов В.Н. Оценка степени физической деградации и пригодности черноземов к минимизации основной обработки почвы // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1125–1131.
13. Фарниев А.Т. Биологическая активность почв в зависимости от степени их деградации // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: Мат. V Межд. симпозиума, 09–14 июня 2003 г. Т. 3. Пушкино, 2003. С. 234–236.
14. Чекаев Н.П., Блинохватова Ю.В., Кузнецов А.Ю. и др. Оценка степени деградации почв на земельных участках сельскохозяйственного назначения в результате антропогенного воздействия // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2018. № 4(24). С. 51–61.
15. Borrelli P. et al. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis // Science of the total environment. 2021. Vol. 780. PP. 146494.
16. Osman K.T. Physical Deterioration of Soil // Soil Degradation, Conservation and Remediation. Springer, Dordrecht. 2013. PP. 45–67.
17. Sekhohola L.M., Igbinigie E.E., Cowan A.K. Biological degradation and solubilisation of coal // Biodegradation. 2013. Vol. 24. PP. 305–318.
18. Shoshany M., Goldshleger N., Chudnovsky A. Monitoring of agricultural soil degradation by remote-sensing methods: A review // International Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 34. No. 17. PP. 6152–6181.

REFERENCES

1. Azarenok T.N., Matychenkova O.V., Dydyshko S.V., Matychenkov D.V. Metodika ocenki ekologo-ekonomicheskogo ushcherba ot degradacii osushennyh organogennyh pochv razlichnoj stepeni antropogennoj transformacii // Aktual'nye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya: Sb. dokl. XVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 26–28 aprelya 2023 goda. Kursk, 2023. S. 5–9.
2. Bajdyusen U.Zh., Satova K.M. Ocenka stepeni himicheskoy degradacii pochv Celinogradskogo rajona Akmolinskoj oblasti po ih mikroelementnomu sostavu // Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina. 2016. № 2(89). S. 103–110.
3. Bondur V.G., Murynin A.B., Rihter A.A., Shahraman'yan M.A. Razrabotka algoritma ocenki stepeni degradacii pochvy po mul'tispektral'nym izobrazheniyam // Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2012. № 6(131). S. 130–134.
4. Zaharov V.L. Kompleksnaya ocenka sadoprigodnosti pochv Tambovskoj ravniny na osnove ih ustojchivosti k sadovoj agrotekhnike: monografiya. Elec: FGBOU VO "Eleckij gosudarstvennyj universitet im. I.A. Bunina", 2019. 330 s.
5. Zaharov V.L. Sposob ocenki degradacii pochv i vremeni ih iznosa v promyshlennyh nasazhdeniyah yabloni // Patent na izobretenie № 2737393 ot 18.02.2020.
6. Lentyaeva E.A., Kirejcheva L.V., Bezborodov Yu.G. K voprosu ocenki stepeni degradacii zonal'no- provincial'nyh pochv // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo: problemy i puti resheniya: Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf., 29–30 marta 2016 goda. T. I. M., 2016. S. 306–315.
7. Molchanov E.N., Savin I.Yu., Yakovlev A.S. i dr. Otechestvennye podhody k ocenke stepeni degradacii pochv i zemel' // Pochvovedenie. 2015. № 11. S. 1394.
8. Romanov A.N. Distancionnaya ocenka stepeni degradacii pochv po ih radioizluchatel'nym svojstvam // Pochvovedenie. 2009. № 3. S. 355–363.
9. Saidova M.E., Gafurova L.A., Mazirow M.A. Ocenka stepeni degradacii oroshaemyh pochv aridnyh zon na osnove informa-

- tivnyh pokazatelej // Vladimirskij zemledec. 2019. № 3(89). S. 20–24.
10. Sergeenko V.T., Chernysh A.F., Yuhnovec A.V., Cyribko V.B. Kolichestvennaya ocenka stepeni erozionnoj degradacii pochv po ih vnutrennej energii // Dvadcat' vos'moe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshchanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov: doklady i kratkie soobshcheniya, 08–10 oktyabrya 2013 goda. Perm', 2013. S. 155–157.
 11. Slabunova A.V., Ariskina Yu.Yu. Ocenka stepeni degradacii pochv na primere sel'skohozyajstvennyh zemel' Kujbyshevskogo rajona Rostovskoj oblasti // Ekologiya i vodnoe hozyajstvo. 2022. T. 4. № 1. S. 14–31.
 12. Trofimova T.A., Korzhov S.I., Gulevskij V.A., Obrazcov V.N. Ocenka stepeni fizicheskoy degradacii i prigodnosti chernoze-mov k minimizacii osnovnoj obrabotki pochvy // Pochvovedenie. 2018. № 9. S. 1125–1131.
 13. Farniev A.T. Biologicheskaya aktivnost' pochv v zavisimosti ot stepeni ih degradacii // Novye i netradicionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya: Mat. V Mezhd. simpoziuma, 09–14 iyunya 2003 g. T. 3. Pushchino, 2003. S. 234–236.
 14. Chekaev N.P., Blinohvatova Yu.V., Kuznecov A.Yu. i dr. Ocenka stepeni degradacii pochv na zemel'nyh uchastkah sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v rezul'tate antropogennogo vozdejstviya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki. 2018. № 4(24). S. 51–61.
 15. Borrelli P. et al. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis // Science of the total environment. 2021. Vol. 780. PP. 146494.
 16. Osman K.T. Physical Deterioration of Soil // Soil Degradation, Conservation and Remediation. Springer, Dordrecht. 2013. PP. 45–67.
 17. Sekhohola L.M., Igbinigie E.E., Cowan A.K. Biological degradation and solubilisation of coal // Biodegradation. 2013. Vol. 24. PP. 305–318.
 18. Shoshany M., Goldshleger N., Chudnovsky A. Monitoring of agricultural soil degradation by remote-sensing methods: A review // International Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 34. No. 17. PP. 6152–6181.

Поступила в редакцию 25.07.2024

Принята к публикации 08.08.2024

УДК 631.527/53.02

DOI: 10.31857/S2500208225010073, EDN: CTTUEL

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ДАГЕСТАНА*

Асеф Зилфикарович Шихмуратов, доктор биологических наук

Дагестанская ОС ФГБНУ «ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»,

Дербентский р-н, Республика Дагестан, Россия

E-mail: asef121263@mail.ru

Аннотация. В 2023–2024 годах на Дагестанской ОС – филиал ВИР в условиях орошения при озимом посеве изучили 1916 образцов яровой мягкой пшеницы из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) по комплексу селекционно ценных признаков. Полевые и лабораторные исследования провели согласно методическим указаниям ВИР. Выделены образцы с комплексом селекционно ценных признаков и высокой продуктивностью зерна. Наибольший интерес для селекции представляют сочетающие устойчивость к болезням (мучнистая роса, бурая и желтая ржавчина) с высокой продуктивностью: к-16554 (Тунис), к-45177 (Алжир), к-20619 (Испания), к-19643 (Италия), к-48218 (Зимбабве).

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, грибные болезни, колошение, урожайность

STUDY OF SPRING SOFT WHEAT COLLECTION MATERIAL FOR ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN DAGESTAN

A.Z. Shikhmuradov, *Grand PhD in Biological Sciences*

Dagestan ES FSBSI “FRS of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov”,

Derbent district, Republic of Dagestan, Russia

E-mail: asef121263@mail.ru

Abstract. In 2023–2024, at the Dagestan Experimental station – All Russian Institute of crop production branch, 1916 samples of spring soft wheat from the world collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) were studied under irrigation conditions during winter sowing for a set of valuable breeding traits. Field and laboratory assessments were carried out according to VIR guidelines. As a result of the field study, accessions of spring soft wheat with a set of valuable breeding traits and combining high grain productivity were identified. The most valuable for selection are samples that combine resistance to a complex of diseases (powdery mildew, brown rust and yellow rust) with high productivity: These are samples from Tunisia – k-16554, from Algeria – k-45177, from Spain – k-20619, from Italy – k-19643 and from Zimbabwe – k-48218.

Keywords: spring soft wheat, fungal diseases, heading, productivity

* Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР FGEM-2022-0009 / The work was performed within the framework of the state assignment of the FGEM-2022-0009 VIR.

Яровая пшеница — одна из основных продовольственных культур. Ее зерно характеризуется высоким содержанием белка (18...24%), клейковины (28...40%), в нем 53...70% крахмала, 1,7 жировых веществ, 1,6 золы (соли), около 2% клетчатки, обладает отличными хлебопекарными качествами. Из крахмала вырабатывают спирт, из зародышей или ростков зерна — масло. Союмо используют на корм животным, как органическое удобрение и в бумажной промышленности. Польза и незаменимость яровой пшеницы заключена в адаптации к любым условиям, ее применяют в качестве подсева, когда часть озимых всходов погибает. Возделывание культуры можно рассматривать, как основу национальной продовольственной безопасности из-за огромной потребности на рынке сельхозпроизводителей в высококачественном сырье для хлебопекарной и пищевой промышленности. [1–3, 7]

Изучение коллекционного материала яровой мягкой пшеницы на устойчивость к грибным болезням в условиях Южного Дагестана — важный резерв повышения урожая. Большинство возделываемых в нашей стране сортов яровой мягкой пшеницы неустойчивы к поражению видами грибных возбудителей. Ежегодные потери урожая от неблагоприятного влияния этих факторов — от 5 до 30, а иногда и до 50%.

Цель работы — изучить набор сортообразцов яровой мягкой пшеницы разного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ВИР и выделить источники по комплексу хозяйственно ценных признаков для дальнейшего использования в селекционных программах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на Дагестанской опытной станции — филиал ВИР (2023–2024 годы). Объект изучения — 1916 образцов яровой мягкой пшеницы из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Коллекционные образцы размещали после овощных культур. Обработка почвы соответствовала общепринятой для данной зоны. Каждый образец высевали вручную на делянке площадью 1 м², ширина междурядья — 15 см, длина — 1 м, расстояние между делянками — 30 см. Стандарт — высокоурожайный сорт яровой мягкой пшеницы *Siete Cerros* (Мексика). Убирали и обмолачивали растения вручную. Результаты исследований статистически обрабатывали по Б.А. Доспе-

хову. [4] Наблюдения, учеты, оценки и анализы проводили согласно методическим указаниям изучения пшеницы ВИР. [5, 6]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении коллекции яровой мягкой пшеницы наблюдали за продолжительностью отдельных межфазных периодов и всей вегетации. В условиях ДОС ВИР наиболее четкая дифференциация образцов была в фазе колошения. Установлено, что на 20...25 дн. раньше стандарта выколосились образцы: к-59689 (Индия), к-65856 (Афганистан), к-45589 (Япония), к-45808 (Кения), к-46341 (Зимбабве), к-47679, к-47680 (Израиль) (табл. 1).

Из грибных болезней в условиях Южного Дагестана мучнистая роса на пшенице паразитирует с появлением всходов до созревания. Высокой устойчивостью к этой болезни (7...9 баллов) в годы изучения характеризовались образцы: к-41093, к-43052, к-44721, к-45045 (Италия), к-5567, к-5568 (Индия), к-21288, к-45816 (Испания), к-40621 (Узбекистан), к-14500 (Турция) (табл. 2).

В Южном Дагестане огромный вред посевам пшеницы наносит желтая ржавчина. Ее развитие часто носит эпифитотийный характер. В годы изучения (2023–2024) высокоустойчивыми к ней были образцы: к-41093, к-43052, к-44721 (Италия), к-40621 (Узбекистан), к-21288 (Испания).

По продуктивности зерна выделились пять образцов (табл. 3).

Наиболее урожайными были образцы из Туниса и Алжира — к-16554 (520 г/м²) и к-45177 (510 г/м²) соответственно. Урожайность к-48218 (Зимбабве), к-19643 (Италия), к-20619 (Испания) — 470...500 г/м², всех остальных, представленных в таблице 3 — намного выше стандарта (к-47115) сорта *Siete Cerros*.

Ценность для селекции представляют образцы, сочетающие устойчивость к комплексу болезней (мучнистая роса, бурая и желтая ржавчина) с высокой продуктивностью (табл. 4).

Таким образом, образцы яровой мягкой пшеницы из Туниса — к-16554, Алжира — к-45177, Испании — к-20619, Италии — к-19643 и Зимбабве — к-48218 с комплексом селекционно ценных признаков и высокой продуктивностью зерна могут быть использованы как источники в селекции для создания новых сортов.

Таблица 1.

Образцы яровой мягкой пшеницы с ранним сроком колошения

№ каталога ВИР	Происхождение	Сорт	Разновидность	Дата колошения	Полегание	Масса 1000 зерен, г
59689	Индия	<i>WH 283</i>	<i>graecum</i>	10.04	9	47,9
65856	Афганистан	<i>Rana 96</i>	<i>graecum</i>	12.04	9	41,9
45589	Япония	<i>Nourin 61</i>	<i>ferrugineum</i>	13.04	5	31,4
45808	Кения	<i>Romany</i>	<i>ferrugineum</i>	13.04	9	43,0
46341	Зимбабве	<i>H 123 A 1</i>	<i>albidum</i> Al.	13.04	7	48,2
47679	Израиль	<i>N 81</i>	<i>ferrugineum</i>	13.04	9	36,9
47680	Израиль	<i>M-544</i>	<i>milturum</i>	13.04	7	40,3
47115	Мексика (st)	<i>Siete Cerros</i>	<i>erythroleucum</i>	10.05	7	32,4

Таблица 2.

Образцы яровой мягкой пшеницы, выделенные по устойчивости к грибным болезням

№ каталога ВИР	Происхождение	Сорт	Разновидность	Дата колошения	Устойчивость, балл		
					мучнистая роса	бурая ржавчина	желтая ржавчина
45816	Испания	<i>Ye.Lanzarote</i>	<i>erythrospermum</i>	02.05	7	9	9
5567	Индия	—	<i>delfii</i>	23.04	7	9	7
5568	Индия	—	<i>pyrothrix</i>	18.04	7	9	7
14500	Турция	—	<i>erythrospermum</i>	02.04	7	7	7
45045	Италия	<i>Rondine</i>	<i>lutescens</i>	19.04	7	7	7
21288	Испания	—	<i>suberythrospermum</i>	02.05	9	9	9
40621	Узбекистан	<i>Местная</i>	<i>caesium</i>	02.05	9	9	9
41093	Италия	<i>Falcone</i>	<i>meridionale</i>	19.04	9	9	9
43052	Италия	<i>Produttore</i>	<i>lutescens</i>	30.04	9	9	9
44721	Италия	<i>Argelato</i>	<i>lutescens</i>	25.04	9	9	9

Таблица 3.

Образцы яровой мягкой пшеницы, выделившиеся по продуктивности

№ каталога ВИР	Происхождение	Сорт	Разновидность	Дата колошения	Длина колоса	Число колосков	Число зерен	Масса зерна с одного колоса	Масса 1000 зерен	Масса зерна с деланки 1 м ²
48218	Зимбабве	<i>Olesens Dwarf</i>	<i>graecum</i>	25.04	5,9	10,5	23,8	1,32	55,5	470
51049	Алжир	<i>N 588</i>	<i>graecum</i>	25.04	6,9	12,3	26,3	1,51	57,4	400
19643	Италия	<i>Manna</i>	<i>ferrugineum</i>	02.05	7,8	14,7	21,1	1,14	54	490
16554	Тунис	<i>Barletta</i>	<i>albidum Al.</i>	02.05	8,8	15,8	28,4	1,49	52,5	520
25455	Йеменская Арабская Республика	—	<i>hostianum</i>	25.04	7,2	13,5	30,6	1,6	52,3	380
45177	Алжир	<i>Mahon × Demias 23827</i>	<i>graecum</i>	25.04	6,6	11,7	25,5	1,33	52,2	510
18508	Италия	<i>Rieti</i>	<i>lutescens</i>	02.05	9,1	15,4	20,3	1,05	51,7	370
20619	Испания	<i>Villafranca</i>	<i>albidum Al.</i>	10.05	8,7	15,3	29,3	1,508	51,5	500
25545	Австралия	—	<i>albirubrum</i>	19.04	7,4	14,6	32,4	1,66	51,2	370
19638	Эфиопия	—	<i>albidum Al</i>	02.05	7,4	15,9	25,5	1,60	62,7	430
20529	Испания	—	<i>erythrospermum</i>	10.05	8,3	15,4	27,4	1,64	59,9	400
47115	Мексика (st)	<i>Siete Cerros</i>	<i>erythroleucum</i>	10.05	7,4	14,3	20,4	1,07	48,2	340

Таблица 4.

Образцы яровой мягкой пшеницы, выделившиеся по комплексу селекционно ценных признаков

№ каталога ВИР	Происхождение	Устойчивость, балл			Дата колошения	Длина колоса	Число колосков	Число зерен	Масса зерна с одного колоса	Масса 1000 зерен	Масса зерна с деланки 1 м ²
		мучнистая роса	бурая ржавчина	желтая ржавчина							
48218	Зимбабве	7	9	7	25.04	5,9	10,5	23,8	1,32	55,5	470
19643	Италия	7	9	7	02.05	7,8	14,7	21,1	1,14	54	490
16554	Тунис	7	9	7	02.05	8,8	15,8	28,4	1,49	52,5	520
45177	Алжир	7	9	7	25.04	6,6	11,7	25,5	1,33	52,2	510
20619	Испания	7	9	7	10.05	8,7	15,3	29,3	1,508	51,5	500
47115	Мексика (st)	5	7	5	10.05	7,4	14,3	20,4	1,07	48,2	340

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Айдарбекова Т.Ж., Сыздыкова Г.Т., Малицкая Н.В. и др. Сравнительная оценка линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Степной зоне Северо-Казахстанской области // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 1. С. 66–80.
- Амунова О.С., Волкова Л.В., Мамаева А.В. Результаты изучения образцов мягкой пшеницы из коллекции ВИР по адаптивно значимым и хозяйственно ценным признакам // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 2(30). С. 8–21.
- Барковская Т.А., Гладышева О.В., Кокорева В.Г. Высокопродуктивный сорт яровой мягкой пшеницы Маэстро для Центрального Нечерноземья // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 2. С. 21–24.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Зуев, Е.В., Брыкова А.Н., Кудрявцева Е.Ю. Яровая мягкая пшеница. Источники селекционно-ценных признаков в условиях Тамбовской области // Каталог ВИР. Вып. 840. СПб: ВИР, 2017. 37 с.

6. Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале (методические указания). СПб: ВИР, 1999. 81 с.
7. Стасюк А.И., Леонова И.Н., Пономарева М.Л. и др. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 78–91.
3. Barkovskaya T.A., Gladysheva O.V., Kokoreva V.G. Vysokoproduktivnyj sort yarovoj myagkoj pshenicy Maestro dlya Central'nogo Nechernozem'ya // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2022. № 2. S. 21–24.
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
5. Zuev, E.V., Brykova A.N., Kudryavceva E.Yu. Yarovaya myagkaya pshenica. Istochniki selekcionno-cennyh priznakov v usloviyah Tambovskoj oblasti // Katalog VIR. Vyp. 840. SPb: VIR, 2017. 37 s.
6. Merezko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V. i dr. Popolnenie, sohranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoj kolekcii pshenicy, egilopsa i tritikale (metodicheskie ukazaniya). SPb: VIR, 1999. 81 s.
7. Stasyuk A.I., Leonova I.N., Ponomareva M.L. i dr. Fenotipicheskaya izmenchivost' selekcionnyh linij myagkoj pshenicy po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyah Zapadnoj Sibiri i Tatarstana // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2021. T. 56. № 1. S. 78–91.

REFERENCES

Поступила в редакцию 25.11.2024
Принята к публикации 09.12.2024

УДК 35.25:631.522

DOI: 10.31857/S2500208225010084, EDN: CTJERE

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ЛУКА РЕПЧАТОГО (*ALLIUM CEPA* L.) В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Мария Ильинична Черкашина^{1,2}, аспирант

Раиль Рафикович Алимгафаров¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Игорь Юрьевич Кузнецов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Анна Георгиевна Черкашина², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Башкирский государственный аграрный университет, факультет агротехнологий и лесного комплекса,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

²Арктический государственный агротехнологический университет, агротехнологический факультет,
г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

E-mail: 703210@internet.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения формирования урожая различных сортов лука репчатого при внесении минеральных удобрений и регуляторов роста в условиях Южной лесостепи Республики Башкортостан. Исследования проводили в 2021–2023 годах на опытных полях кафедры растениеводства, селекции растений и биотехнологии Учебно-научного центра Башкирского государственного аграрного университета. Почва – чернозем выщелоченный, содержание азота по Кьельдалю – 0,33%, фосфора – 0,12%, подвижного (по Чирикову) – 100 мг/кг, калия – 1,3%, подвижного – 330 мг/кг почвы. Мощность гумусового горизонта достигает 45...50 см. Наибольшая урожайность (61,7 т/га) получена на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин у сорта Ред Барон при средней по опыту 48,2 т/га, наименьшая – Стригуновский местный ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + Эпин-Экстра) – 38,4 т/га при средней – 39,7 т/га, но наибольшее количество сухого вещества на фоне Контроль (без удобрений) + Эпин-Экстра – 18,89%, среднее – 16,73%. Наибольшее количество сахарозы установлено на фоне Контроль (без удобрений) + Эпин-Экстра сорта Ред Барон – 2,60%, среднее – 1,88%, наименьшее – у Стригуновского местного при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Контроль (вода) – 1,34%, среднее – 1,57%. Витамина С накоплено в сорте лука репчатого Ред Барон на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин – 19,9 мг%, среднее – 13,6 мг%, наименьшее на фоне Контроль (без удобрений) + Контроль (вода) у того же сорта, среднее – 11,4 мг%.

Ключевые слова: Республика Башкортостан, лук репчатый, *Allium cepa* L., овощная культура, урожайность, минеральные удобрения, регуляторы роста

FORMATION OF THE ONION CROP (*ALLIUM CEPA* L.) IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF THE BASHKORTOSTAN REPUBLIC

M.I. Cherkashina^{1,2}, PhD Student

R.R. Alimgapharov¹, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

I.Yu. Kuznetsov¹, Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor

A.G. Cherkashina², Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor

¹Bashkir State Agrarian University, Faculty of Agricultural Technologies and Forestry Complex,
Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

²Arctic State Agrotechnological University, Faculty of Agricultural Technology, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia
E-mail: 703210@internet.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the yield formation of various onion varieties with the mineral fertilizers application and growth regulators in the Southern forest-steppe the conditions of the Bashkortostan Republic. The studies were carried out in 2021-2023 in the experimental fields of the Plant Growing Department, Plant Breeding and Biotechnology of the Educational and Scientific Center of the Bashkir State Agrarian University. Soil is leached chernozem, nitrogen content according to Kjeldahl — 0.33%, phosphorus — 0.12%, mobile (according to Chirikov) — 100 mg/kg, potassium — 1.3%, mobile — 330 mg/kg of soil. The humus horizon thickness reaches 45...50 cm. The highest yield (61.7 t/ha) was obtained against the background of $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Heteroauxin in the Red Baron variety with an average of 48.2 t/ha in the experiment, the lowest — in Strigunovsky local ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + Epin-Extra) — 38.4 t/ha with an average of 39.7 t/ha, but the highest amount of dry matter was against the background of the Control nutrition (without fertilizers) + Epin-Extra 18.89%, average — 16.73%. The highest amount of sucrose was established against the background of the Control (without fertilizers) + Epin-Extra variety Red Baron — 2.60%, average — 1.88%, the lowest — in Strigunovsky local with $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Control (water) — 1.34%, average — 1.57%. Vitamin C accumulated in the Red Baron onion variety against the background of $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Heteroauxin is 19.9 mg%, average is 13.6 mg%, the lowest against the background of Control (without fertilizers) + Control (water) in the same variety, average is 11.4 mg%.

Keywords: Republic of Bashkortostan, onion, *Allium cepa* L., vegetable crop, yield, mineral fertilizers, growth regulators

Лук репчатый — одна из древнейших культур. [11] Принадлежит к семейству луковых (*Alliaceae*). В мире насчитывается около 400 видов луковых, более 200 из них произрастает на территории Российской Федерации. [14]

Норма потребления лука репчатого на человека, по рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации, составляет около 10 кг/год, однако производство его еще не достигло необходимого уровня. [12]

Вкус и запах лука репчатого определяются содержанием эфирных масел, питательная ценность — количеством в нем сахарозы, белков, жира. [11, 14] Лук богат витаминами A, B₁, B₂, C, PP, особенно C, присутствуют соли кальция, калия, фосфора, железа, а также цинка, алюминия, меди и других элементов.

Весной перед посадкой сева закрывают влагу с помощью трактора МТЗ-52 или ДТ-75Д, дискового лущильника гидрофицированного ЛДГ-15, в зависимости от механического состава почвы и видов сорняков на обрабатываемых участках. Затем вносят минеральные удобрения. [13]

Последующая обработка почвы связана с подготовкой к посадке лука. Чтобы к начинающим самостоятельно функционировать корням луковицы был доступ кислорода, питательных веществ и влаги, пахотный слой почвы должен быть рыхлым. Для этого на уплотнившихся за зиму легких почвах проводят глубокую культивацию (10...12 см), тяжелых — перепашку зяби на глубину 18...20 см. Иногда применяют дискование тяжелой дисковой бороной в двух направлениях с одновременным боронованием. Хорошие результаты дает фрезирование.

Подготавливают посадочный материал для калибровки и очищения от нежелательных примесей. При сортировании сева удаляют больные, механически поврежденные, щуплые луковицы и опавшие с них сухие чешуи. Для получения высокого урожая лука репчатого нужно высевать сортовой кондиционный севок. Его посевные качества определены ГОСТ 7002-65 «Лук-севок и лук-выборок. Посевные качества», согласно которому он должен быть вызревшим, здоровым, хорошо очищенным (шейка сухая, длина — 3...5 мм) и правильно раскалиброванным. К первому классу относится севок, если количество

луковиц с отклонением от установленного размера не более 3% и общий отход — 3...4% по весу, ко второму — не более 5%, отход — 5...7%. [4]

Выход сева первой и второй посевных групп обычно составляет 67...89%, в зависимости от нормы посева семян и погодных условий. Севок всех сортов лука имеет округлую или слегка удлинённую форму, его легко разделить по наибольшему поперечному диаметру. [14]

Калибровка сева — ответственный этап его подготовки к посеву. Выверенный по диаметру севок необходим для хорошей работы посадочной машины и установления на ней нормы посева. С величиной сева связаны основные биологические и хозяйственные признаки лука. [12]

От размера сева зависят величина урожая лука и его товарность. Лучшим посадочным материалом считается севок диаметром 1,5...2,25 см, при использовании более мелкого урожайность снижается. [11]

В хозяйствах Башкирии лук размещают по удобренной озимой ржи или бобовым культурам. Эти предшественники рано освобождают поле и дают возможность вовремя провести его лущение, что способствует очищению поля от сорняков, а также своевременному проведению зяблевой вспашки. Лущение верхнего слоя проводят сразу же после уборки предшественника на глубину 4...6 см.

Качество лука репчатого при длительном хранении обеспечивается при соблюдении оптимального режима хранения для данной культуры. В условиях овощехранилища Башкирского государственного аграрного университета интенсивность дыхания, испарение влаги, потеря питательных веществ минимальные. [2, 3] Повышение температуры при хранении приводит к усилению дыхания лука репчатого и его прорастанию (увеличение расхода питательных веществ и влаги), а также развитию микроорганизмов и увеличению потерь от заболеваний. Снижение температуры может вызвать гибель лука от подмораживания. Поддержание в хранилищах требуемой влажности воздуха предотвращает лук от увядания и поражения болезнями.

Цель работы — изучить формирование урожая различных сортов лука репчатого при внесении минеральных удобрений и регуляторов роста в условиях Южной лесостепи Республики Башкортостан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2021–2023 годах на опытных полях кафедры растениеводства, селекции растений и биотехнологии Учебно-научного центра Башкирского государственного аграрного университета.

Почва — чернозем выщелоченный, содержание азота (по Кьельдалю) — 0,33%, фосфора — 0,12%, подвижного (по Чирикову) — 100 мг/кг, калия — 1,3%, подвижного — 330 мг/кг почвы. [1] Мощность гумусового горизонта достигает 45...50 см. Объект исследований — сорта лука репчатого *Стригуновский местный*, *Иглинский 2* и *Ред Барон*. Площадь делянки — 25 м², повторность трехкратная, предшественник — картофель.

Стригуновский местный (st) — раннеспелый сорт. Форма луковицы округлая. Встречаются промежуточные формы, севок удлиненной. Сорт малозачатковый — 1...2 луковицы в гнезде. Среднее количество семенных стрелок на растение — 3,5, высота растений — 120 см, диаметр соцветий — 7...8 см. Основная окраска сухих чешуй желтая, сочных — иногда с розовым или светло-серым оттенком. Средний вес луковиц — 80...100 г, отдельных — 55...80 г. [9]

Иглинский 2 — среднеспелый. Форма луковицы округлая и удлиненно-овальная. Встречаются промежуточные формы — от плоскорепчатой до длинной. Севек в основном удлиненной формы. Сорт малозачатковый — 1...2 луковицы в гнезде. Среднее количество семенных стрелок на растение — 3,1. В основном формирует 2...3 цветочные стрелки, варьирование — 1...8. Средняя высота семенных растений — 81 см, соцветий — 5,2 см (2,4...9,1). Основная окраска сухих чешуй желтая, сочных — белая, различных оттенков, с преобладанием снежно-белого. Луковица округлая, плотная. Средний вес луковицы — 85...105 г, встречаются по 245...275 г. [14]

Ред Барон — среднеранний, пленчатый. Луковицы округлой, выровненной, слегка приплюснутой формы. Средний вес каждой — 80...150 г. Чешуйки плотно прилегающие. Сухие наружные — фиолетовые, внутренние — насыщенно-красные. Отделяются трудно. Листья трубчатые, темно-зеленые, с небольшим восковым налетом. [14]

Закладку полевого опыта и сопутствующие наблюдения проводили по общепринятым методикам. Результаты экспериментов обрабатывали по общепринятым методикам, лабораторные исследования по

определению сухого вещества — ГОСТ 29031-91, сахара — ГОСТ 8756.13-87, витамина С — ГОСТ 24556-89, нитратов ГОСТ 29270-95. [5–10]

РЕЗУЛЬТАТЫ

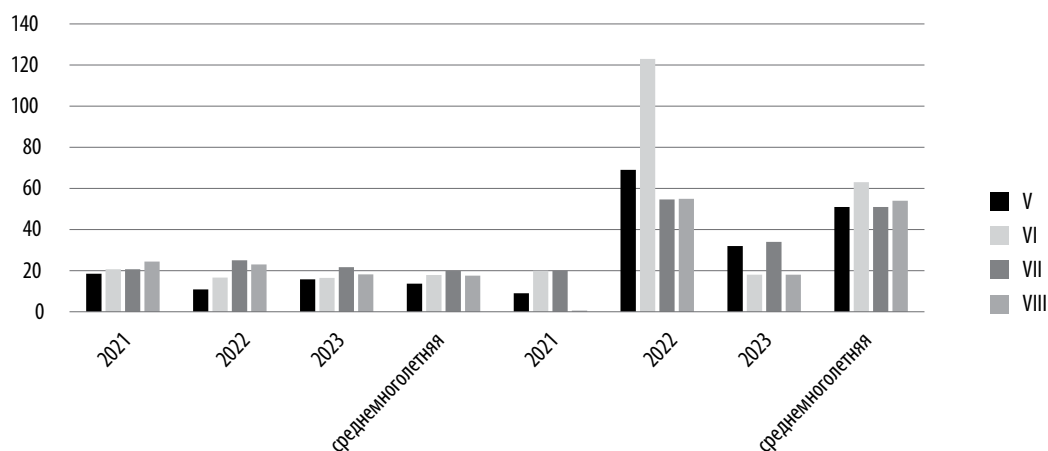
Погодные условия вегетационного периода 2021–2023 годов на территории УНЦ Башкирского ГАУ Республики Башкортостан характеризовались повышенными среднемесячными температурами, по сравнению со средними многолетними: в мае превышение нормы составило 13°C, июне-августе — 15,2...26,9°C. Сумма выпавших осадков — 42...69% нормы. В августе эта тенденция сохранилась — температура была выше средней многолетней на 6,8...7,2°C, сумма осадков — 0,6...1,2 мм (1...2% нормы).

Максимальная сумма осадков составила 98 мм в июне (среднемноголетняя — 63 мм), минимальная в августе — 19,5 мм, при среднемноголетней — 54 мм (см. рисунок).

У сорта лука репчатого *Стригуновский местный* на фоне питания $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Контроль (вода) урожайность была меньше, чем в Контроле (без удобрений) + Контроль (вода) на 6,5 т/га. В варианте Эпин-Экстра при $N_{90}P_{90}K_{90}$ наблюдали большую урожайность на 6,2 т/га, чем с Эпин-Экстра на фоне Контроль (вода). При сравнении фонов питания $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин и Контроль (без удобрений) + Контроль (вода) урожайность составила 4 т/га. Средняя по опыту с $N_{90}P_{90}K_{90}$ — 43,9 т/га и Контроль (без удобрений) — 38,3 т/га соответственно.

На фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Контроль (вода) урожайность лука репчатого *Иглинский 2* была больше на 4,9 т/га, чем в Контроле (без удобрений) + Контроль (вода), с $N_{90}P_{90}K_{90}$ и регулятором роста Эпин-Экстра — на 2,5 т/га больше, чем в Контроле (без удобрений) + Эпин-Экстра. При внесении регулятора роста растений Гетероауксин на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ урожайность за три года оказалась больше на 2 т/га, по сравнению с Контролем (без удобрений) + Контроль (вода). Средняя по опыту у сорта *Иглинский 2* на фоне питания $N_{90}P_{90}K_{90}$ — 51,7 т/га, Контроле (без удобрений) — 48,5 т/га.

При изучении фонов питания $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин и Контроль (без удобрений) + Гетероауксин разница составила 12,4 т/га. Среднее значение по опыту на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ — 53,7 т/га, Контроле (без удобрений) — 44,1 т/га (табл. 1).



Метеорологические условия в период проведения опытов, среднее за 2021–2023 годы (по данным Уфа-Дема).

Таблица 1.

Урожайность различных сортов лука репчатого,
средняя за 2021–2023 годы

Фон питания	Вариант	Урожайность, т/га
<i>Стригуновский местный (st)</i>		
Контроль (без удобрений)	Контроль (вода)	32,2
	Эпин-Экстра	38,4
	Гетероауксин	44,5
	Среднее по опыту	38,3
$N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль (вода)	38,7
	Эпин-Экстра	44,6
	Гетероауксин	48,5
	Среднее по опыту	43,9
<i>Иглинский 2</i>		
Контроль (без удобрений)	Контроль (вода)	39,1
	Эпин-Экстра	52,8
	Гетероауксин	53,8
	Среднее по опыту	48,5
$N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль (вода)	44
	Эпин-Экстра	55,3
	Гетероауксин	55,8
	Среднее по опыту	51,7
<i>Ред Барон</i>		
Контроль (без удобрений)	Контроль (вода)	40,5
	Эпин-Экстра	42,5
	Гетероауксин	49,3
	Среднее по опыту	44,1
$N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль (вода)	43,3
	Эпин-Экстра	56,2
	Гетероауксин	61,7
	Среднее по опыту	53,7

Мы провели лабораторные исследования по определению биохимического состава лукович сортов лука репчатого (табл. 2).

Наибольшее содержание сухого вещества установлено на фоне питания Контроль (без удобрений) + Эпин-Экстра в сортах *Стригуновский местный*, *Иглинский 2* и с $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Эпин-Экстра – *Иглинский 2*. Минимальное количество сухого вещества обнаружено в сорте *Ред Барон* при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин. Наибольшее количество сахарозы было у *Ред Барона* в варианте Эпин-Экстра без удобрений и у *Иглинского 2* при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Контроль (вода). Наименьшее количество сахарозы содержалось на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Контроль (вода). В Контроле (без удобрений) + Эпин-Экстра и $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин у сортов *Иглинский 2* и *Ред Барон* установлено наибольшее количество аскорбиновой кислоты, наименьшее – у *Стригуновского местного* с Эпин-Экстра без удобрений. Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 34570-2019 Фрукты, овощи и продукты их переработки содержание нитратов в луке репчатом не должно превышать 80 мг/кг. В наших опытах минимальное количество нитратов выявлено в варианте с Эпин-Экстра фона без удобрений у *Стригуновского местного* и максимальное – с $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Эпин-Экстра и Контроль (без удобрений) + Гетероауксин у сортов *Стригуновский местный* и *Иглинский 2* (без удобрений + Гетероауксин).

Выводы. Наибольшая урожайность за 2021–2023 годы получена на фоне питания $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин у *Ред Барона* (61,7 т/га), наименьшая у *Стригуновского местного* фона при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Эпин-Экстра (38,4 т/га).

Таблица 2.

Биохимический состав лукович сортов лука репчатого, среднее за 2021–2023 годы

Фон питания	Вариант	Сухое вещество, %	Сахароза, %	Витамин С, мг%	Нитраты, мг/кг
<i>Стригуновский местный (st)</i>					
Контроль (без удобрений)	Контроль (вода)	15,69	1,17	6,93	73
	Эпин-Экстра	17,25	1,78	8,8	62
	Гетероауксин	15,46	1,34	11,8	76,3
	Среднее по опыту	16,13	1,65	9,17	70,4
$N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль (вода)	16,62	1,34	8,23	74,3
	Эпин-Экстра	16,45	1,86	11,96	76
	Гетероауксин	16,81	1,53	12,8	74,6
	Среднее по опыту	16,62	1,57	10,9	74,9
<i>Иглинский 2</i>					
Контроль (без удобрений)	Контроль (вода)	15,90	1,43	7,33	73
	Эпин-Экстра	18,89	1,84	9,5	73
	Гетероауксин	15,50	1,65	11,6	76
	Среднее по опыту	16,73	1,64	12,7	74
$N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль (вода)	18,13	2,46	8,83	75
	Эпин-Экстра	18,33	2,18	11,2	70,6
	Гетероауксин	14,5	1,63	14,13	74,6
	Среднее по опыту	16,98	2,09	11,3	73,4
<i>Ред Барон</i>					
Контроль (без удобрений)	Контроль (вода)	12,89	1,40	4,77	72,3
	Эпин-Экстра	16,81	2,60	13,1	72
	Гетероауксин	14,21	1,66	16,43	68,6
	Среднее по опыту	14,63	1,88	11,4	70,9
$N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль (вода)	12,96	1,68	6,48	73
	Эпин-Экстра	12,90	2,40	14,43	67,3
	Гетероауксин	12,89	2,03	19,9	73,6
	Среднее по опыту	12,90	2,03	13,6	71,3

Наибольшее количество сухого вещества было на фоне питания Контроль (без удобрений) + Эпин-Экстра у сорта *Иглинский 2* (18,89%), наименьшее – *Ред Барон* ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин) – 12,89%.

Максимальное количество сахарозы на Контроле (без удобрений) + Эпин-Экстра у *Ред Барон* – 2,60%, минимальное у *Стригуновского местного* при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Контроль (вода) – 1,34%.

Содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) в сорте лука репчатого *Ред Барон* на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Гетероауксин – 19,9 мг%, наименьшее – Контроль (без удобрений) + Контроль (вода) у того же сорта.

Количество нитратов не превысило норму (80 мг/кг), на фоне питания Контроль (без удобрений) + Гетероауксин у *Стригуновского местного* составило 76,3 мг%, наименьшее по опыту – 67,3 мг% при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Эпин-Экстра у *Ред Барона*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абдуллоев В.Х. Сравнительная оценка продуктивности и кормовых качеств зерновых и озимого зерна в южной лесостепи Республики Башкортостан: специальность 06.01.01 «Общее землеустройство, растениеводство»: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, 2021. 153 с.
2. Благородова Е.Н. Влияние гуминовых препаратов на формирование урожая короткодневного лука репчатого // Современные векторы развития науки: Сб. статей по мат. ежег. науч.-практ. конф. преподавателей по итогам НИР за 2023 год, Краснодар, 6 февраля 2024 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. С. 405–406.
3. Галицкий Е.А., Благородова Е.Н. Влияние регулятора роста Мелафен на формирование урожая лука репчатого // Энтузиасты аграрной науки: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященная 100-летию со дня рождения ученых агрохимиков Коренькова Дмитрия Александровича и Тонконоженко Евгения Васильевича, Краснодар, 07–08 сентября 2020 года / Отв. за выпуск А.Х. Шеуджен. Вып. 22. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. С. 115–118.
4. ГОСТ 7002-65 Лук-севок и лук-выборки. Посевные качества.
5. ГОСТ 29031-91 Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения сухих веществ, не растворимых в воде.
6. ГОСТ 8756.13-87 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров.
7. ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.
8. ГОСТ 29270-95 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 336 с.
10. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М. 2012. 768 с.
11. Рекомендации по возделыванию лука репчатого в условиях Республики Башкортостан / И.Ю. Кузнецов, И.Г. Асылбаев, Б.Г. Ахияров и др.; Министерство сельского хозяйства Республики Башкортостан; ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет. Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2021. 77 с.
12. Сатункин И.В., Дерябин С.Н., Кузьменко С.С. и др. Влияние фракции посадочного материала лука репчатого

на формирование урожая зеленого пера при выгонке // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию юбилею начала освоения целинных и залежных земель в Оренбургской области, Оренбург, 02 февраля 2024 года. М.: ООО «Издательство “Перо”», 2024. С. 789–792.

13. Sheykhbaglou R., Sedghi M., Mobasser S. Effect of harvest time and height on seed quality and enzyme activity in onion (*Allium cepa* L.) seeds // Iranian Journal of Plant Physiology. 2023. Т. 13. № 3. С. 4609–4616.
14. Yield of different onion varieties depending on the level of mineral nutrition and growth regulators in the conditions of the Southern Forest-steppe of the Republic of Bashkortostan / M. Cherkashina, R. Alimgafarov, I. Kuznetsov, A. Cherkashina // X International Annual Conference “Industrial Technologies and Engineering” (ICITE 2023), Shymkent, Kazakhstan, 09–10 ноября 2023 года. Vol. 474. Les Ulis, 2024. P. 03007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447403007>

REFERENCES

1. Abdulloev V.X. Sravnitel'naya ocenka produktivnosti i kormovykh kachestv zernovykh i ozimogo zerna v yuzhnoy lesostepi Respubliki Bashkortostan: special'nost' 06.01.01 «Obshchee zemleustroystvo, rastenievodstvo»: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata sel'skohozyajstvennykh nauk, 2021. 153 s.
2. Blagorodova E.N. Vliyaniye guminovykh preparatov na formirovaniye urozhaya korotkodnevnoy luka repchatogo // Sovremennyye vektory razvitiya nauki: Sb. statey po mat. ezheg. nauch.-prakt. konf. prepodavateley po itogam NIR za 2023 god, Krasnodar, 06 fevralya 2024 goda. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. I.T. Trubilina, 2024. S. 405–406.
3. Galitskiy E.A., Blagorodova E.N. Vliyaniye regul'yatora rosta Melafen na formirovaniye urozhaya luka repchatogo // Entuziasty agrarnoy nauki: Sbornik statey po materialam Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya uchenykh agrokhimikov Koren'kova Dmitriya Aleksandrovicha i Tonkonozhenko Evgeniya Vasil'evicha, Krasnodar, 07–08 sentyabrya 2020 goda / Otv. za vypusk A.H. Sheudzen. Vyp. 22. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni I.T. Trubilina, 2020. S. 115–118.
4. GOST 7002-65 Luk-sevok i luk-vyborok. Posevnye kachestva.
5. GOST 29031-91 Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metod opredeleniya suhih veshchestv, ne rastvorimyyh v vode.
6. GOST 8756.13-87 Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody opredeleniya saharov.
7. GOST 24556-89 Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody opredeleniya vitamina C.
8. GOST 29270-95 Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody opredeleniya nitratov.
9. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Kolos, 1985. 336 s.
10. Litvinov S.S. Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve. M. 2012. 768 s.
11. Rekomendatsii po vozdel'yvaniyu luka repchatogo v usloviyakh Respubliki Bashkortostan / I.Yu. Kuznecov, I.G. Asylbaev, B.G. Ahiyarov i dr.; Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Respubliki Bashkortostan; FGBOU VO Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Ufa : Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. 77 s.
12. Satunkin I.V., Deryabin S.N., Kuz'menko S.S. i dr. Vliyaniye fraktsii posadochnogo materiala luka repchatogo na

formirovanie urozhaya zelenogo pera pri vygonke // Sovershenstvovanie inzhenerno-tehnicheskogo obespecheniya proizvodstvennykh processov i tekhnologicheskikh sistem: Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 70-letnemu yubileyu nachala osvoiniya celinnykh i zaleznykh zemel' v Orenburgskoy oblasti, Orenburg, 02 fevralya 2024 goda. M.: OOO "Izdatel'stvo "Pero"", 2024. S. 789–792.

13. Sheykhbaglou R., Sedghi M., Mobasser S. Effect of harvest time and height on seed quality and enzyme activity in onion

(Allium cepa L.) seeds // Iranian Journal of Plant Physiology. 2023. T. 13. № 3. С. 4609–4616.

14. Yield of different onion varieties depending on the level of mineral nutrition and growth regulators in the conditions of the Southern Forest-steppe of the Republic of Bashkortostan / M. Cherkashina, R. Alimgafarov, I. Kuznetsov, A. Cherkashina // X International Annual Conference "Industrial Technologies and Engineering" (ICITE 2023), Shymkent, Kazakhstan, 09–10 ноября 2023 года. Vol. 474. Les Ulis, 2024. P. 03007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447403007>

Поступила в редакцию 10.12.2024

Принята к публикации 24.12.2024

УДК 57.043+51-76

DOI: 10.31857/S2500208225010096, EDN: CSUPSW

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АРХИТЕКТОНИКА СТЕБЛЕЙ КАК ИНДИКАТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЛАКОВЫХ РАСТЕНИЙ К ПОЛЕГАНИЮ

Ирина Владимировна Ариничева, доктор биологических наук, профессор
Владимир Георгиевич Григулецкий, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, г. Краснодар, Россия
E-mail: loukianova7@mail.ru

Аннотация. Рост урожайности хлебных злаков — результат современного подхода к процессу выращивания и уборки, внедрения новых приемов селекционной работы, основанных, в том числе, на методах математического моделирования «идеального» сорта (высокоурожайного и устойчивого к различным неблагоприятным факторам). Полегание посевов приводит к значительным потерям урожая, ухудшению его качества. В статье описаны разработанные нами методы определения физико-механических свойств тканей (модуль Юнга, пределы упругости и текучести) и параметров архитектоники злаковых растений (длина стебля, его наружные и внутренние диаметры у корня и колоса или метелки, масса колоса, метелки или початка), которые можно считать статистически достоверными и использовать для построения модели полегания. Полученные многолетние данные полевых, вегетационных и лабораторных опытов рекомендованы при выведении новых сортов и гибридов, устойчивых к полеганию. Междисциплинарные исследования проведены на стыке биологических и математических наук для нахождения особенностей устойчивости к полеганию стеблей озимых и яровых злаков в зависимости от сорта и вида. Построены диаграммы «напряжение-деформация» для всех культур, сортов и гибридов в три фазы вегетации, с помощью которых составлен алгоритм подбора оптимальных параметров устойчивости к полеганию злаковых растений.

Ключевые слова: злаки, полегание, селекция, устойчивость к полеганию, стебель, стержень, изгиб, параметры архитектоники, физико-механические свойства

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND ARCHITECTONICS OF STEMS AS INDICATORS OF CEREAL PLANTS RESISTANCE TO LODGING

I.V. Arinicheva, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*
V.G. Griguletsky, *Grand PhD in Technical Sciences*
FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar, Russia
E-mail: loukianova7@mail.ru

Abstract. The increase in the yield of cereals, the main food product of the planet's population, is the result of a modern approach to the process of growing and harvesting, the introduction of new techniques of breeding work, based, among other things, on the methods of mathematical modeling of the "ideal" variety — high-yielding and resistant to various unfavorable factors. Lodging of crops leads to significant losses of the crop, deterioration of its quality. Since ancient times, famous scientists have tried to describe the behavior of the stem as an elastic rod from the point of view of mathematics and technical mechanics. The article describes the methods we developed for determining the most important physical and mechanical properties of tissues (Young's modulus, elasticity and yield strength limits) and the parameters of the architectonics of cereal plants (stem length, outer and inner diameters of the stem at the root and at the ear or panicle, weight of the ear, panicle or cob), which are statistically reliable and are used to build a lodging model. The obtained long-term data of field, vegetation and laboratory experiments are recommended to be used in breeding new varieties and hybrids resistant to lodging. Interdisciplinary research was conducted at the junction of biological and mathematical sciences to find the features of resistance to lodging of stems of winter and spring cereals depending on the variety and species. Stress-strain diagrams were constructed for all crops, all varieties and hybrids in three phases of vegetation, with the help of which we compiled an algorithm for selecting the optimal parameters of resistance to lodging of cereal plants.

Keywords: cereals, lodging, selection, resistance to lodging, stem, rod, bending, parameters of architectonics, physical and mechanical properties

Зерновые культуры претерпевают многочисленные испытания от всходов до урожая. Одно из самых опасных — полегание, которое может привести к масштабным потерям зерна и его качества, а также большим проблемам при уборке.

Полегание — это смещение стеблей или корней от их вертикального размещения в результате воздействия ветра, дождя или росы, ослабляющих прочность крепления корня растения в почве и плотность ткани стебля. [1] Различают две формы полегания: корневое и стеблевое. Полегание повышает восприимчивость растений к вредителям и болезням, что отрицательно воздействует на развитие урожая (уменьшение количества зерна на 1 м² и средний вес зерна). [3] Оно влияет на все виды злаков и многие другие культуры, например, масличные.

Снизить эти потери можно с помощью селекции, создавая растения пониженной высоты (в основном, интрогрессией генов карликовости). [2, 5] Растения с сильным, прочным стеблем, то есть с увеличенным диаметром их оснований и толстыми стенками, могут быть получены также уменьшением нормы посева или внесением меньшего количества азота.

Попытки повышения урожая прибавкой доз органических и минеральных удобрений, создание оросительных систем и другие крупные мелиоративные мероприятия, направленные на улучшение общего агрофона, очень часто не достигают желаемых результатов и экономически не оправданы. Лишь сорт, обладающий устойчивостью против полегания, наряду с другими хозяйственно ценными признаками, может отвечать возрастающим требованиям современного земледелия. Благоприятное сочетание морфологических, анатомических, физиологических и биохимических свойств в сорте обуславливает его устойчивость против полегания и повышение урожая. [2, 5]

В решении проблемы реализации биологического потенциала хлебного злака в сообществе растений важное место занимают исследования полегания. [6–9] Физиологи единодушны во мнении, что полегание — это реакция на условия роста. [10]

Долгое время ученые пытались описать поведение стебля как упругого стержня с точки зрения математики и технической механики. Такие задачи остаются малоизученными, несмотря на их важность для многих биологических процессов. [11]

Существуют два основных метода для определения механических характеристик ткани стеблей злаков, включая упругость и прочность, такие как пределы упругости и текучести. В них заложены испытания на растяжение и изгиб. Однако тесты на сжатие или кручение, направленные на определение модуля упругости и пределов прочности при сдвиге, не имеют большой практической ценности. Это связано с тем, что такие напряжения в стеблях злаков от внешних факторов, как правило, не приводят к значительным деформациям.

При испытаниях на растяжение возникают технические сложности. Концы образцов необходимо зажимать в патроны, что вызывает их деформацию, влияя на точность результатов. Лабораторные установки для проведения таких испытаний часто дорогостоящие и сложные в использовании. С другой стороны, изгиб — наиболее актуальный вид напряжений

для стеблей злаков, поскольку именно он чаще всего приводит к полеганию растений. Наибольшие деформации обычно происходят у корня (прикорневое полегание).

Таким образом, исследуя упругость и прочность стеблей растений рационально использовать изгиб, представляющий собой сочетание растяжения на одной стороне стебля и сжатия на другой, что позволяет моделировать реальные условия полегания. Для таких испытаний можно применять простое оборудование, включающее штативы с зажимами, нити и линейку для измерения прогиба, что делает процесс исследования доступным и экономически оправданным (рис. 1).

Цель работы — определить физико-механические свойства и параметры архитектоники стеблей злаков, которые можно использовать для построения модели полегания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Многолетние (1997–2020 годы) наблюдения и эксперименты проводили на опытных полях в учхозе «Кубань» ФГБОУ ВО КубГАУ имени И.Т. Трубилина, ФГБНУ «НЦЗ имени П.П. Лукьяненко», ФГБНУ «ФНЦ РИСА», на почвах, соответствующих южной климатической зоне Краснодарского края (слабовыщелоченные и выщелоченные малогумусные черноземы). Растения бамбука рода *Phyllostachys* выращивали в естественных условиях г. Сочи. Климат зоны — умеренно-мягкий. Метеорологические условия были близки к многолетней норме.

В опытах использовали мочевины, аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий, которые вносили стандартными дозами. Растения десяти сортов озимой и яровой пшеницы, тритикале, озимого и ярового ячменя, сорго, десяти гибридов кукурузы, четырех сортов ржи, риса собирали вручную, случайным образом в фазы вегетации, опасные с точки зрения полегания (цветение, молочно-восковая и полная спелость).

На специально сконструированной лабораторной установке при изменяющейся поперечной силе для растений пшеницы сделали 19700 замеров прогибов стеблей, ржи — 2700, тритикале — 9000, ячменя — 18000, кукурузы — 8100, сорго — 3600, бамбука — 2500, риса — 2824 (рис. 1).

Осуществляли замеры «напряжение-деформация» для стеблей злаков, применяя различные расстояния

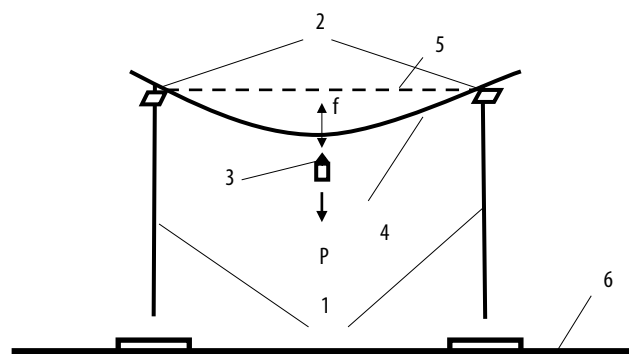


Рис. 1. Установка для определения прогиба пробы стебля:
1 — штативы; 2 — лапки; 3 — груз; 4 — проба стебля; 5 — нить;
6 — стол; f — прогиб пробы стебля в середине под действием силы P.

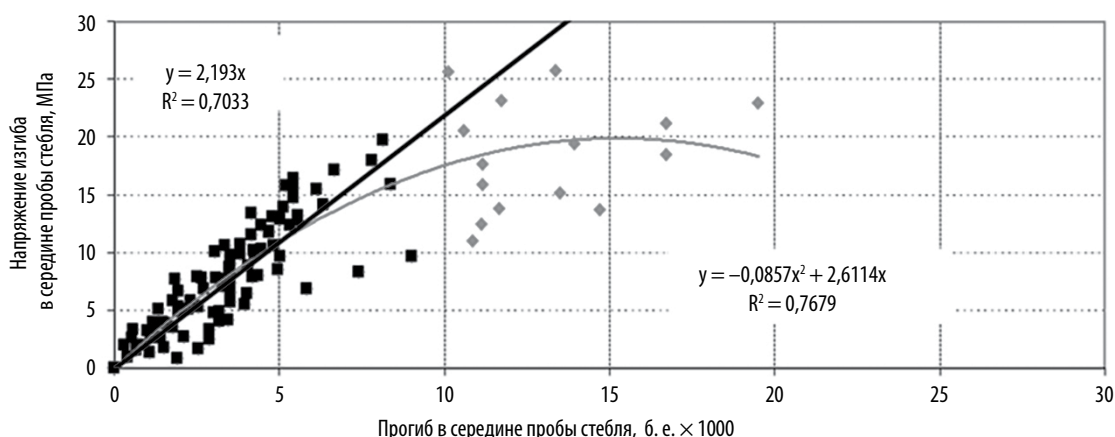


Рис. 2. Общая диаграмма «напряжение-деформация» для стеблей ржи (все фазы, полевой опыт, 2011–2019 годы).

между зажимами штативов (0,2...1,0 м), что обеспечивало отсутствие масштабного эффекта. Повторность — от трех до десяти раз, прогиб в середине стебля, относительно натянутой нити, измеряли штангенциркулем с точностью до миллиметра. Давление на образцы — от 0,1...0,2 Н до 20...40 Н, пробы подвергали нагрузке 10...20 раз.

При подготовке образцов стеблей замеры диаметров концов выполняли с точностью до десятых долей миллиметра. Формулы для вычисления диаметров стебля учитывали средние наружные (D) и внутренние (d) диаметры на концах стебля.

На основании полученных данных были построены диаграммы «напряжение-деформация» для разных культур, сортов и гибридов в различные фазы вегетации. Их использовали для определения важных механических характеристик, таких как модуль Юнга, пределы упругости и текучести. Пробы вырезали из различных частей стебля.

Диаметры проб стебля вычисляли по формулам:

$$D = \sqrt[4]{0,5(D_1^4 + D_2^4)}; \quad d = \sqrt[4]{0,5(d_1^4 + d_2^4)},$$

где D_1 , d_1 и D_2 , d_2 — средние наружные (D) и внутренние (d) диаметры пробы концов стебля.

По результатам строили диаграммы напряжения-деформации для всех культур, сортов и гибридов в три фазы вегетации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализировав диаграммы «напряжение-деформация» была разработана схема оценки устойчивости растений злаков к полеганию. Применение математического моделирования и технической механики помогло объяснить как растения, за исключением кукурузы и риса, сохраняют целостность стеблей при воздействии неблагоприятных природных факторов (ветер, дождь, роса) (рис. 2).

Длина стеблей растений варьирует от 53 см (яровой ячмень) до 187 см (кукуруза). Диаметры корней изменяются от минимального значения у яровой пшеницы (2,5 мм) до максимального у кукурузы (24 мм). Мокрые растения кукурузы, риса и сорго могут сохранять вертикальную устойчивость при заданных параметрах архитектоники, в отличие от ячменя, пшеницы, ржи и тритикале.

Определены изменения, которые необходимы для поддержания вертикальной устойчивости растений. Например, для озимой пшеницы потребуется увеличение диаметра колоса на 8...33% и сокращение длины стебля — 12...21%. Для других злаков (яровая пшеница, рожь, тритикале, ячмень) были рассчитаны аналогичные изменения в параметрах стебля и колоса (рис. 3).

Например, для увеличения массы метелки среднерослых и длинностебельных сортов сорго методами селекции на 50% следует уменьшить длину стебля на 17...28%, увеличивая диаметр стебля у метелки на 4...9%.

Для сохранения устойчивости к полеганию необходимо увеличение диаметра стебля у корня на 10% для кукурузы, в 1,4...1,5 раза предела текучести ткани стебля для риса.

Нами определены, в зависимости от фазы вегетации изменяющиеся величины модуля Юнга, пределы упругости и текучести тканей стеблей растений злаков.

Модуль Юнга: для риса — 1250 МПа, кукурузы, тритикале, ячменя, пшеницы — 1865...2243, ржи и сорго — 2915...3022, бамбука — 14722 МПа. Для древесины бука — 12200 МПа, лиственницы — 14000 МПа, это в 14 раз меньше данного показателя для низколеготной стали (200000 МПа) (рис. 4). Пределы упругости для риса — 4,4 МПа, тритикале, ячменя, кукурузы, пшеницы — 13,3...17,7 ржи, сорго — 19,1...22,7, бамбука — 112,2 МПа. Для древесины бука — 95,3 МПа, лиственницы — 98,7 МПа, в 1,8 раза меньше этого показателя для низколеготной стали (200 МПа).

Пределы текучести по фазам вегетации: у риса — 6,6 МПа, тритикале, ячменя, кукурузы, пшеницы, ржи — 16,1...25,8, сорго — 30,4, бамбука — 138,7 МПа.

Выводы. На основе многолетних исследований растений десяти важнейших культурных злаков, охватывающих 82 контрастных сорта в трех фазах их вегетации и при разных уровнях применения удобрений, определили ключевые параметры их архитектоники и физико-механических свойств. Результаты были получены с использованием научно обоснованных подходов, включая математическое моделирование и методы технической механики.

Ключевыми достижениями стали точные и статистически значимые показатели (модули Юнга, пределы упругости и текучести тканей стеблей). Выявлено, что конструктивные особенности архитектоники растений влияют на обеспечение равномерно-

Некоторые параметры архитектуры и прочности стеблей злаков

Озимая пшеница L = 73...106 см; D ₀ = 3,7...4,0 мм	Яровая пшеница L = 56...83 см; D ₀ = 2,5...2,8 мм	Рожь L = 133...148 см; D ₀ = 4,3...4,7 мм	Тритикале L = 92...123 см; D ₀ = 5,1...5,3 мм	Озимый ячмень L = 70...106 см; D ₀ = 4,1...4,3 мм	Яровой ячмень L = 53...73 см; D ₀ = 2,8...3 мм	Кукуруза L = 170...187 см; D ₀ = 23,6...24 мм	Рис L = 82...89 см; D ₀ = 7,7...8,1 мм	Сорго L = 78...168 см; D ₀ = 13,2...15,3 мм
---	--	--	--	--	---	--	---	--

Сохранение вертикальной устойчивости при существующих параметрах архитектуры в неблагоприятных погодных условиях (ветер, дождь, роса)

Озимая пшеница	Яровая пшеница	Рожь	Тритикале	Озимый ячмень	Яровой ячмень	Кукуруза	Рис	Сорго
Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Да

Необходимые изменения архитектуры для сохранения вертикальной устойчивости растений

Увеличение D на 8...33% Уменьшение L на 12...21%	Увеличение D на 24...50% Уменьшение L на 24...41%	Увеличение D на 40...37% Уменьшение L на 48...36%	Увеличение D на 10...19% Уменьшение L на 19...26%	Увеличение D на 19...40% Уменьшение L на 30...38%	Увеличение D на 32...57% Уменьшение L на 33...40%	Нет, дополнительно можно увеличить на 50% массу стебля с початками	Нет При увеличении массы метелки на 50% нужно увеличить D на 9...12%, уменьшить L на 15...11%	Нет При увеличении массы метелки на 50% для среднерослых и длинностебель- ных сортов нужно увеличить D на 4...9% уменьшить L на 17...28%
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Сохранение целостности стебля при изгибе растений с оптимальными параметрами архитектуры при действии максимальных ветровых нагрузок

Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Да
----	----	----	----	----	----	-----	-----	----

Необходимые изменения архитектуры и прочности стеблей для сохранения устойчивости растений к полеганию

Озимая пшеница	Яровая пшеница	Рожь	Тритикале	Озимый ячмень	Яровой ячмень	Кукуруза	Рис	Сорго
Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Увеличение D ₀ на 10%	Увеличение в 1,4...1,5 раза предела упругости	Нет

Рис. 3. Алгоритм подбора оптимальных параметров устойчивости к полеганию злаковых растений.

L – длина стебля, D₀ – наружный диаметр стебля у корня, D – наружный диаметр стебля у колоса (метелки).

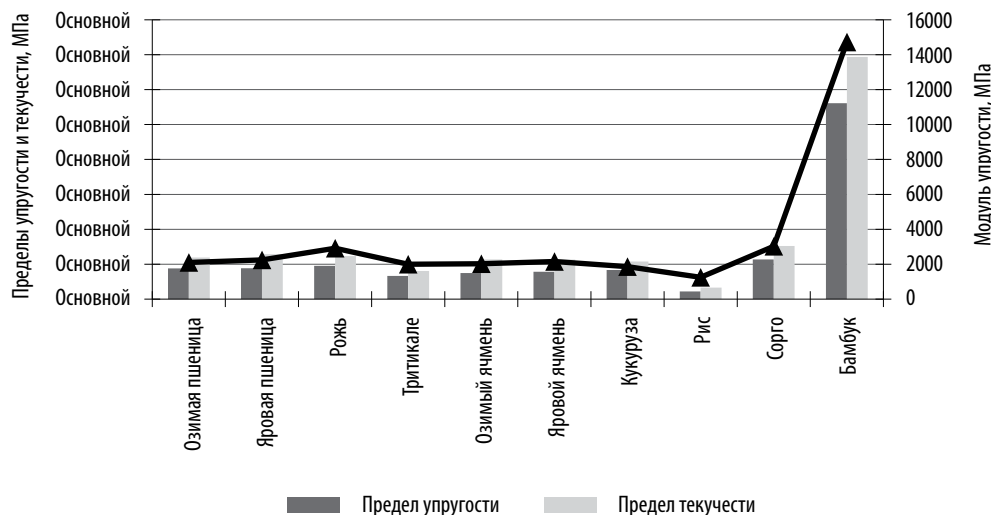


Рис. 4. Средние по фазам вегетации физико-механические свойства ткани стеблей злаковых растений.

го сопротивления стебля воздействию внешних сил и моментов в каждом его сечении. Эти теоретические результаты позволяют не только количественно оценивать действие природных факторов на деформацию и полегание стеблей злаков, но и формулировать перспективные направления их селекции, для улучшения устойчивости к неблагоприятным условиям.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Григулецкий В.Г., Лукьянова И.В. Влияние физико-механических свойств растений на их устойчивость к полеганию // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2000. № 382. С. 39–48.
2. Дивашук М.Г., Васильев А.В., Беспалова Л.А., Карлов Г.И. Идентичность генов короткостебельности RHT-11 и RHT-B1E // Генетика. 2012. Т. 48. № 7. С. 897.

3. Acreche M.M., Slafer G.A. Lodging yield penalties as affected by breeding in Mediterranean wheats // J. Agric. 2010. Sci. 122. PP. 40–48.
4. Berry P.M., Griffin J.M., Sylvester-Bradley R. et al. Controlling plant form through husbandry to minimize lodging in wheat // Field Crops Res. 2000. No. 67. PP. 59–81.
5. Berry P.M., Sterling M., Spink J.H. et al. Understanding and reducing lodging in cereals // Adv Agron. 2004. No. 84. PP. 215–269.
6. Bepalova L.A., Borovik A.N., Miroshnicenko T.Yu Triticale sphaerococcum – a new perspective direction of breeding // 2nd International Conference on Triticale and Wheat Biology, Breeding and Production Book of Abstracts. 2018. PP. 26.
7. Berry P.M., Sterling M., Spink, J.H. et al. Understanding and reducing lodging in cereals // Adv. Agron. 2004. No. 84. PP. 217–271.
8. Dietrich R.C., Bengough A.G., Jones H.G., White P.J. Can root electrical capacitance be used to predict root mass in soil? // Ann. Bot. 2013. No. 112. PP. 457–464.
9. Ellis T.W., Murray W., Paul K. et al. Electrical capacitance as a rapid and non-invasive indicator of root length // Tree Physiol. 2012. No. 33. PP. 3–17.
10. Foulkes M.J., Slafer G.A., Davies W.J. et al. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance // J. Exp. Bot. 2011. No. 62. PP. 469–486.
11. Ookawa T. Inoue K., Matsuoka M. et al. Increased lodging resistance in long-culm, low-lignin gh2 rice for improved feed and bioenergy production // Sci. Rep. 2014. No. 4. PP. 65–67.
2. Divashuk M.G., Vasil'ev A.V., Bepalova L.A., Karlov G.I. Identichnost' genov korotkostebel'nosti RHT-11 i RHT-V1E // Genetika. 2012. T. 48. № 7. S. 897.
3. Acreche M.M., Slafer G.A. Lodging yield penalties as affected by breeding in Mediterranean wheats // J. Agric. 2010. Sci. 122. PP. 40–48.
4. Berry P.M., Griffin J.M., Sylvester-Bradley R. et al. Controlling plant form through husbandry to minimize lodging in wheat // Field Crops Res. 2000. No. 67. PP. 59–81.
5. Berry P.M., Sterling M., Spink J.H. et al. Understanding and reducing lodging in cereals // Adv Agron. 2004. No. 84. PP. 215–269.
6. Bepalova L.A., Borovik A.N., Miroshnicenko T.Yu Triticale sphaerococcum – a new perspective direction of breeding // 2nd International Conference on Triticale and Wheat Biology, Breeding and Production Book of Abstracts. 2018. PP. 26.
7. Berry P.M., Sterling M., Spink, J.H. et al. Understanding and reducing lodging in cereals // Adv. Agron. 2004. No. 84. PP. 217–271.
8. Dietrich R.C., Bengough A.G., Jones H.G., White P.J. Can root electrical capacitance be used to predict root mass in soil? // Ann. Bot. 2013. No. 112. PP. 457–464.
9. Ellis T.W., Murray W., Paul K. et al. Electrical capacitance as a rapid and non-invasive indicator of root length // Tree Physiol. 2012. No. 33. PP. 3–17.
10. Foulkes M.J., Slafer G.A., Davies W.J. et al. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance // J. Exp. Bot. 2011. No. 62. PP. 469–486.
11. Ookawa T. Inoue K., Matsuoka M. et al. Increased lodging resistance in long-culm, low-lignin gh2 rice for improved feed and bioenergy production // Sci. Rep. 2014. No. 4. PP. 65–67.

REFERENCES

1. Griguleckij V.G., Luk'yanova I.V. Vliyanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv rastenij na ih ustojchivost' k poleganiiyu // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2000. № 382. S. 39–48.

*Поступила в редакцию 07.12.2024
Принята к публикации 21.12.2024*

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ АПК БУДУЩЕГО

Виктор Александрович Панфилов, академик РАН

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

E-mail: vap@rgau-msha.ru

Аннотация. Статья посвящена некоторым аспектам создания технологий будущего агропромышленного комплекса России. Рассмотрена проблема организации, функционирования и развития сложной технологической системы производства продовольствия. Обсуждаемые вопросы: понятие сложности технологии АПК; создание синергетических технологических комплексов для производства и переработки сельскохозяйственной продукции в основные продукты питания; архитектура сложной технологической системы; темп развития технологических процессов; синергетические закономерности системных технологических комплексов; параметр порядка сложной технологии; количественные показатели качества ведущих процессов; эффект функционирования сложного синергетического комплекса АПК; диалектический переход от дифференцированного технологического базиса АПК к качественно новому базису технологий в виде интегрированных производств продуктов питания; системообразующие факторы сложных технологий АПК; взаимоусиление соединенных в синергетический комплекс технологий; основы индустриальных технологий растениеводческой и животноводческой продукции; условия роботизированных производств продовольствия; парадигма создания в АПК индустриальных синергетических системных комплексов. Особое внимание уделено диалектике технологий АПК, усложнение которых есть естественный исторический процесс.

Ключевые слова: синергетика, АПК России, продовольственный комплекс, организация, технологическая система, сельскохозяйственная продукция, роботизированное производство, продукты питания

SYNERGISTIC FOUNDATIONS OF FUTURE AGRO-INDUSTRIAL TECHNOLOGIES

V.A. Panfilov, Academician of the RAS

K.A. Timiyazev Russian State Agrarian University — MTAA, Moscow, Russia

E-mail: vap@rgau-msha.ru

Abstract. The article is devoted to some aspects of creating technologies for the future agro-industrial complex of Russia. The problem of organization, functioning and development of a complex technological system of food production is considered. The range of issues discussed are includes: the concept of complexity of agro-industrial complex technology; creation of synergetic technological complexes for production and processing of agricultural products into basic food products; architecture of a complex technological system; rate of technological processes development; synergetic patterns of system technological complexes; order parameter of complex technology; quantitative indicators of the quality leading processes and technology; the effect of functioning of a complex synergetic complex of the agro-industrial complex; dialectical transition from a differentiated technological basis of the agro-industrial complex to a qualitatively new basis of technologies in the form of integrated food production; system-forming factors of complex technologies of the agro-industrial complex; mutual reinforcement of technologies united in a synergetic complex; fundamentals of industrial technologies of crop and livestock products; conditions of robotic food production; paradigm of creation of industrial synergetic system complexes in the agro-industrial complex. Particular attention is paid to the dialectic of agro-industrial complex technologies, the complication of which is a natural historical process.

Keywords: synergetics, Russian agro-industrial complex, food complex, organization, technological system, agricultural products, robotic production, food products

Агропромышленный комплекс нашей страны к середине XX века подошел к пределу экстенсивного производства продуктов питания. Тогда решением вопроса интенсивного развития стало присоединение сырьевой базы к перерабатывающей промышленности и создание в 1985 году Госагропрома СССР.

Это был инновационный процесс в деле совершенствования связей между производителями и переработчиками сельскохозяйственной продукции.

Исторически развитие АПК связано с усложнением технологий, что влечет их обновление. Поэтому нужно постоянно совершенствовать структуру технологических систем, вводить связи соподчинения и кооперации, модернизировать технологии производства сельхозсырья и его переработки.

При создании комплекса технологий АПК зарождается новый стиль научного мышления, поскольку наука переходит к познанию систем упорядоченной сложности. Известно, что при объединении элементов в систему у нее на определенном уровне сложности

возникают свойства, не сводимые к свойствам элементов ее составляющих. [8] Понятие сложности сопряжено с новым научным направлением «Синергетика», включающим такие аспекты, как «эмерджентность», «открытость», «нелинейность», «нестабильность». [1] Сложность технологического комплекса АПК можно определить как результат взаимодействия разнообразных ведущих процессов и их связей во времени. Такой комплекс развивается в направлении роста сложности в соответствии с одним из основных эволюционных принципов диалектики. [4]

Цель работы — показать необходимость создания в АПК России сложных технологических систем в виде комплексов для промышленного производства сельскохозяйственной продукции и основных продуктов питания.

Организация сложной технологической системы. Новая эпоха для науки о производстве продовольствия началась в 1990 году, когда была учреждена Российская академия сельскохозяйственных наук с Отделением

хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Это объединение ученых привело к взламыванию межотраслевых и междисциплинарных перегородок, установлению взаимодействий и связей ведущих процессов синергетического комплекса технологий продуктов питания.

Сегодня мы подходим к созданию синергетических технологий продовольственных комплексов для производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Научно обоснованное объединение технологий АПК становится одним из решающих условий обеспечения продовольственной безопасности России.

Синергетический технологический комплекс необходим для получения существенного прироста эффективности в производстве продовольствия. Комплекс составляет совокупность технологий, состоящих из большого числа разнородных и сложных частей (подсистемы), тесно связанных между собой, которые насыщены машинами, аппаратами, биореакторами, автоматикой, хорошо управляемы. В нашей стране наиболее близок к этим требованиям синергетический технологический комплекс промышленного производства и переработки птицы. Он представляет собой закономерный, но качественно новый этап развития технологических систем, непосредственно связанный с инновационной революцией в АПК.

Обобщенная структура сложной технологии АПК может быть представлена в виде технологического цикла (сборка — разборка — сборка) — технологические системы сборки сельскохозяйственной продукции из соответствующих ресурсов, ее разборки на анатомические части, сборки из них продуктов питания. Они перемежаются с технологическими системами хранения. Синергетический комплекс — результат сближения, соединения, сжатия аграрных, перерабатывающих и пищевых технологий во времени и пространстве. При этом разнообразные биологические, биохимические, химические, физико-химические и физические процессы, ранее удаленные друг от друга и слабо взаимодействующие между собой, сближаются, «спрессовываются» достаточно узкими допусками на величины параметров входа и выхода всех ведущих процессов настолько близко, что начинают непосредственно влиять друг на друга.

Создание синергетических технологических комплексов возможно уже в ближайшем будущем. Требуется уяснить «механизм» возникновения из разрозненных технологических систем очень сложных целостных образований (синергетические технологические комплексы), которые обладают незнакомыми нам свойствами, особенностями и закономерностями, с чем придется столкнуться при их организации, функционировании и развитии. Дialeктика дальнейшего развития антропогенных целостных систем ведет к их усложнению, но упрощает процессы функционирования и повышает эффективность.

Архитектура синергетической технологической системы АПК определяется не столько сложностью отдельных процессов преобразования сред, сколько сложностью разнородных технологий. Такое взаимодействие производящих, перерабатывающих и пищевых технологий порождает эмерджентный эффект, который должен быть положен в основу новой индустриализации АПК.

Первоначальное соединение производящих, перерабатывающих и пищевых технологий приводит к дезорганизованной сложности такой сочлененной системы — ее подсистемы взаимодействуют между собой случайным ничем не детерминированным образом. Дезорганизованная сложность описывается вероятностными и статистическими методами.

Организованная сложность строится на неслучайных взаимоотношениях между частями (подсистемами). Создать систему из трех различных технологий со своими способами хранения невозможно без их частичной перестройки или взаимной адаптации технологических свойств сельхозпродукции и механизмов преобразования сред в ведущих процессах ее переработки.

Основную закономерность организации сложного целого в АПК можно сформулировать следующим образом: синтез отдельных эволюционирующих технологий в одну сложную структуру происходит при установлении общего темпа эволюции. Интенсивности процессов в различных технологиях сложной системы может быть разной. Организация же синергетической сложной технологической системы означает, что в объединяемых технологиях устанавливается одинаковый темп развития процессов, то есть они попадают в одно русло и развиваются с равной скоростью. Тем самым ускоряется развитие тех технологий, которые интегрируются в сложную, и целое развивается быстрее составляющих его частей. Таким образом, технологиям АПК «выгоднее быть» в одной сложной системе. [3]

Функционирование сложной технологической системы. Создание системных синергетических комплексов определяется не столько различием в технологиях, сколько единством и взаимосвязью их частей. Именно в процессах взаимодействия компонентов создаваемой сложной системы раскрываются резервы, изучение которых актуально на нынешнем этапе развития технологий АПК. Поэтому требуется всесторонне учитывать разнообразные синергетические закономерности системных технологических комплексов, развивать их организационную структуру в направлении максимального соединения интересов работников сельского хозяйства и перерабатывающих предприятий. В этом заложен огромный потенциал повышения эффективности производства продовольствия, поскольку одна только перестройка организационных отношений может дать не меньший результат, чем новая техника в сельском хозяйстве и перерабатывающих отраслях. В антропогенных системах, в основе которых лежат механизированные операции преобразования ресурсов в продукты питания, он обусловлен своим системообразующим фактором — стабильностью параметров выходов этих операций по всей технологической цепочке. Это приводит к взаимоусилению технологий, составляющих комплекс. Целое больше суммы своих частей только при стабильности выходов всех ведущих процессов. Обеспечить это необходимое условие в технологическом комплексе возможно лишь при создании эффективной системы управления.

Поскольку комплекс АПК есть иерархическая структура, где конечный результат — продукты питания, то процессы технологий перерабатывающих и пищевых производств обуславливают необходимые технологические требования к сельскохозяйственному сырью растительного и животного происхождения, формирующие синергетический параметр порядка. [5]

При функционировании комплекса важна систематическая количественная оценка качества, входящих в него технологий. Для ведущих процессов той или иной технологии должны количественно определяться качественные показатели их выходов: точность, устойчивость, чувствительность, управляемость, технологическая надежность, а для совокупности процессов необходима оценка ее уровня целостности через измерение стабильности выходов соответствующих подсистем. [7] Сегодня эти показатели процессов и технологий не измеряются, но при функционировании сложных технологических систем-комплексов количественные оценки необходимы.

Синергетический системный технологический комплекс объединяет в единое целое большое число разнородных систем — автономных технологий производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Комплексы обладают совершенно новыми свойствами, не характерными ни для технологий производства растительной и животноводческой продукции, ни для многочисленных технологий ее переработки. Но не всякое объединение сельскохозяйственной и перерабатывающих технологий, может составить синергетический системный технологический комплекс.

Обязательное условие его организации — создание крупных индустриальных агропромышленных предприятий на новой технологической и технической базе, эффект функционирования которых может быть представлен в виде: повышения производительности труда; расширения адресности производства сельскохозяйственной продукции; усиления технологичности свойств сельскохозяйственного сырья; обеспечения прижизненного формирования качества продуктов питания; реализации прослеживаемости безопасности потребления продуктов питания; приближения перерабатывающих и пищевых предприятий к местам производства сельхозсырья; развития кооперативных форм организации труда; повышения технологической дисциплины в сельскохозяйственном производстве, перерабатывающей и пищевой промышленности; создания на перерабатывающих и пищевых предприятиях высокоавтоматизированных и роботизированных производств; развития ресурсосбережения и экологичности процессов по всей технологической цепочке.

Развитие сложной технологической системы. Технологии АПК развиваются через нововведения, которые затрагивают ресурсы, технологии, оборудование, организационную структуру, выпускаемую продукцию. Создание синергетических системных технологических комплексов — следующий этап естественного развития технико-технологической базы аграрных, перерабатывающих и пищевых производств, переход от старого дифференцированного технологического базиса к качественно новому технологий АПК в виде интегрированных производств продуктов питания. [6]

Синергетический подход к созданию исключительно сложных систем позволит по-новому взглянуть на современные технологии АПК и ускорить их качественное преобразование. Синергетика не заменяет базовые научные и инженерные дисциплины, но стимулирует развитие знаний в их рамках, возникают некоторые представления и понятия, которые были введены кибернетикой и общей теорией систем. [2] Прежде всего речь идет о понятии обратной связи,

причем не только отрицательной, отвечающей за процесс поддержания функции объекта, но и положительной, отвечающей за процесс его форсированного развития. Синергетика помогает осознать концепцию совершенствования очень сложных технологических объектов в АПК как открытых нелинейных систем, которые в нестабильном состоянии носят многообразные формы будущей организации. Системный комплекс, находящийся в нестабильном состоянии, чувствителен к внешним воздействиям, согласованным с его собственными свойствами, что приводит к возникновению точек ветвления пути дальнейшего развития комплекса. [9]

Кульминационный момент развития технологий АПК — обстоятельства, при которых формируется целостность системного комплекса, приводящая к сверхэффективности соединенных в единое целое технологий. Эффект самого системного комплекса определяется мерой реализации системообразующих факторов в отдельных технологиях. Таким образом, взаимоусиление соединенных в комплекс технологий — источник эффекта сложных систем.

Перерабатывающая часть синергетического системного комплекса строго организована в технологический поток и функционирует на заводах, фабриках, комбинатах и других перерабатывающих и пищевых предприятиях, что нельзя сказать о части комплекса производящей растительное и животное сырье. По этой причине необходимо организовать производство сельскохозяйственной продукции на промышленной основе. В сельском хозяйстве закономерности, описывающие строение, функционирование и развитие технологических процессов гораздо сложнее, чем в технологических процессах на перерабатывающих и пищевых предприятиях и носят преимущественно вероятностный характер. Это обусловлено особенностями главного средства производства — земли с ее сильно изменяющейся от погодных условий отдачей. Растения и животные также имеют свои биологические особенности роста и развития. Поэтому решение проблемы производства стабильной по качеству и количеству сельскохозяйственной продукции следует искать в создании принципиально новых технологий индустриального типа, что приведет к получению высокоурожайных культур растений и новых высокопродуктивных пород животных.

В основе индустриальных технологий растениеводческой продукции должна лежать организация стройной системы обработки почвы, внесения удобрений, точного посева, механизированного ухода за посевами, борьбы с болезнями и вредителями, уборки урожая и его хранения. Точный посев семян (основной фактор) возможен после их специальной обработки (сортирование, шлифование, калибрование, дражирование).

В основе индустриальных технологий животноводческой продукции должна быть организация автоматизированных процессов содержания животных. Технология приводит к понятию «ферма-завод».

В конце XX века получены важные исходные предпосылки для проектирования агробиозаводов и агрозоофабрик. В полеводстве одно из направлений развития заводской модели — создание мостовых мобильных систем. Это передвижной сельскохозяйственный завод. Заводские тенденции развития свойственны и

промышленному животноводству из-за высокой концентрации производства при его узкой специализации.

На сельскохозяйственных предприятиях заводского и фабричного типа должны быть обеспечены точность, устойчивость, стабильность и технологическая надежность процессов сельскохозяйственного производства. Именно такие процессы могут обусловить необходимое качество связей по всей технологической цепочке синергетического системного комплекса, что позволит на перерабатывающих и пищевых предприятиях организовать роботизированные производства продовольствия с помощью роторных технологий.

Новая парадигма в науке и производстве продуктов питания — идеология создания индустриальных синергетических системных комплексов, приводящих к безусловному положительному эффекту. В этом суть и неизбежность диалектического развития антропогенных систем.

Основные положения парадигмы.

Первое — изменение стиля мышления ученого и инженера, то есть осмысление необходимости процессов анализа и синтеза. В настоящее время складывается впечатление, что в сельскохозяйственной науке процессы дифференциации преобладают над процессами интеграции. Но это впечатление связано с классом решаемых задач. Процедура интеграции уже требует учета внешних возмущающих факторов и взаимовлияния ведущих процессов в сложной технологии. Это ведет к смене математического аппарата и построению синергетической модели объекта.

Второе — рассмотрение технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции как сложных систем процессов. В таких технологиях должен существовать системообразующий фактор, определяющий взаимосвязь подсистем в сложной системе и создающий синергетический эффект, количественная мера уровня организации (целостность) сложной системы, которая должна быть частью (подсистема) охватывающей ее (надсистема).

Третье — процесс развития сложной технологической системы адаптирует технологические свойства сельскохозяйственного сырья к процессам его преобразования и механизмы операций в машинах, аппаратах и биореакторах перерабатывающих производств к технологическим свойствам сырья.

Дальние горизонты технологий АПК должны постоянно просматриваться для соответствующих корректировок планируемых работ на ближайшие годы. Это связано с приближением совершенно новых технологий продуктов питания, определяющих Пятый и Шестой технологические уклады.

Необходимо проанализировать современные технологии АПК России и их техническое сопровождение с точки зрения возможности и целесообразности создания в перспективе синергетических системных технологических комплексов индустриального производства и переработки продукции сельского хозяйства в продукты питания; разработать перспективные программы поисковых, фундаментальных, прикладных и опытно-конструкторских работ с государственным

бюджетным финансированием по сквозным технологиям синергетического системного комплекса на период до второй половины XXI века и далее; организовать опережающую подготовку научных и инженерных кадров, объединяя вузы сельскохозяйственного и пищевого профилей в государственные университеты инженерных технологий продовольствия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баранцев Р.Г. Синергетика в современном естествознании. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 160 с.
2. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика: нелинейность времени и ландшафты коэволюции. М.: КомКнига, 2014. 272 с.
3. Князева Е.Н. Синергетика. Антология. М.; СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2013. 408 с.
4. Крушанов А.А., Мамчур Е.А. Будущее фундаментальной науки: Концептуальные, философские и социальные аспекты проблемы. М.: КРАСАНД, 2011. 288 с.
5. Мегердичев Е.Я. Технологические требования к сортам овощных и плодовых культур, предназначенных для различных видов консервирования. М.: Россельхозакадемия, 2003. 96 с.
6. Панфилов В.А. Диалектика технологий агропромышленного комплекса России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 1. С. 4–9.
7. Панфилов В.А. Теория технологического потока. 3-е изд. М.: ИНФРА-М, 2019. 320 с.
8. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. Пер. с англ. / Под редакцией Ю.Л. Климонтовича. Изд. 4-е. М.: Едиторал УРСС, 2016. 304 с.
9. Пригожин И. Философия нестабильности // Вопросы философии. 1991. № 6. С. 46–57.

REFERENCES

1. Barancev R.G. Sinergetika v sovremennom estestvoznanii. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2009. 160 s.
2. Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P. Sinergetika: nelinejnost' vremeni i landshafty koevolucii. M.: KomKniga, 2014. 272 s.
3. Knyazeva E.N. Sinergetika. Antologiya. M.; SPb.: Centr gumanitarnyh iniciativ, 2013. 408 s.
4. Krushanov A.A., Mamchur E.A. Budushchee fundamental'noj nauki: Konceptual'nye, filosofskie i social'nye aspekty problemy. M.: KRASAND, 2011. 288 s.
5. Megerdichev E.Ya. Tekhnologicheskie trebovaniya k sortam ovoshchnyh i plodovyh kul'tur, prednaznachennyh dlya razlichnyh vidov konservirovaniya. M.: Rossel'hozakademiya, 2003. 96 s.
6. Panfilov V.A. Dialektika tekhnologij agropromyshlennogo kompleksa Rossii // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2023. № 1. S. 4–9.
7. Panfilov V.A. Teoriya tekhnologicheskogo potoka. 3-e izd. M.: INFRA-M, 2019. 320 s.
8. Prigozhin I. Ot sushchestvuyushchego k voznikayushchemu: Vremya i slozhnost' v fizicheskikh naukah. Per. s angl. / Pod redakciej Yu.L. Klimontovicha. Izd. 4-e. M.: Editorial URSS, 2016. 304 s.
9. Prigozhin I. Filosofiya nestabil'nosti // Voprosy filosofii. 1991. № 6. S. 46–57.

Поступила в редакцию 02.09.2024
Принята к публикации 16.09.2024

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛАРВАЛЬНЫХ ЦЕСТОДОЗОВ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ В ЯНАО*

Максим Владимирович Лещёв, кандидат ветеринарных наук
Алёна Александровна Гавричкина, младший научный сотрудник
Александр Александрович Гавричкин, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра Тюменского научного центра
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия
E-mail: tamaraa111@mail.ru

Аннотация. Оленеводство — основа жизни, уклада и традиций аборигенного населения Крайнего Севера. В результате активного освоения ресурсов Западной Сибири сокращаются площади пригодные для выпаса северного оленя. Уплотнение территорий создает условия для распространения инфекционных и инвазионных заболеваний, которые снижают продуктивность, ослабляют иммунитет, нередко приводят к гибели оленей. Самая многочисленная группа по многообразию возбудителей болезней инвазионной этиологии — паразитические черви класса Cestoda. Ларвальные цестодозы в оленеводческих хозяйствах Крайнего Севера встречаются повсеместно. Цель работы — изучение цистицеркоза северного оленя на территории Ямало-Ненецкого автономного округа для уточнения видового разнообразия и интенсивности поражения. Цистицеркозы вызваны личиночными стадиями цестод и паразитируют на внутренних органах и тканях животных, иногда человека, приводя к острым воспалительным процессам. Основным источником распространения цистицеркоза у оленей — оленегонные собаки, также инвазию передают волки и песцы. Несмотря на значительный вклад ученых и ветеринарных специалистов в изучение данного вопроса, эффективные способы лечения цистицеркоза не найдены. При вскрытии северных оленей на убойных комплексах и в полевых условиях обнаружены личинки трех видов рода *Taenia*: *hydatigena*, *krabbei*, *parenchimatosa*. Экстенсивность инвазии (ЭИ) паренхиматозного цистицеркоза в среднем по округу — 33,4%. Реже встречался тарандный цистицеркоз при экстенсивности инвазии — 23,7%. Пораженность теникулярным цистицеркозом по районам — 2,4%. Отмечена достоверная разница инвазированности разными видами цистицерков в зависимости от половозрастной группы оленей.

Ключевые слова: цистицеркоз, северный олень, инвазированность, интенсивность, Ямало-Ненецкий автономный округ

ENVIRONMENTAL FACTORS INFLUENCING THE SPREAD OF LARVAL CESTODOSIS OF REINDER IN THE YANAO

M.V. Leshchev, PhD in Veterinary Sciences
A.A. Gavrichkina, Junior Researcher
A.A. Gavrichkin, PhD in Biological Sciences

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology — Branch of Federal State Institution
Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia
E-mail: tamaraa111@mail.ru

Abstract. Reindeer husbandry is the basis of life, lifestyle and traditions of the aboriginal population of the Far North. As a result, the active development of the resources of Western Siberia reduces the areas suitable for reindeer grazing. Compaction of territories suitable for grazing animals creates conditions for the spread of infectious and invasive diseases that reduce productivity, weaken immunity, and often lead to the death of deer. Parasitic worms of the Cestoda class are the most numerous group in terms of the variety of pathogens of invasive etiology in reindeer. Larval cestodosis are found everywhere in reindeer herding farms in the Far North. The aim of the study was to study the infestation of reindeer with cysticercoses in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in order to clarify the species diversity and intensity of the lesion. Cysticercoses are caused by the larval stages of cestodes and parasitize the internal organs and tissues of animals, sometimes humans, causing acute inflammatory processes of the organs. The main source of the spread of cysticercosis in deer are reindeer dogs, and wolves and arctic foxes also spread the invasion. Despite the significant contribution of scientists and veterinary specialists to the study of this issue, the treatment of cysticercosis has not been sufficiently studied. During the autopsy of reindeer at slaughter complexes and directly in the field, larvae of three species of the genus *Taenia* were found: *T. hydatigena*, *T. krabbei*, *T. parenchimatosa*. The prevalence of invasion of parenchymal cysticercosis averaged 33.4% in the district. Tarandular cysticercosis was less common with an extensive invasion of 23.7%. The incidence of tenicular cysticercosis (EI) in the districts was 2.4%. There was a significant difference in the invasiveness of deer by different types of cysticerci depending on the sex and age group of deer.

Keywords: cysticercosis, reindeer, infestation, intensity, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug

* Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО-РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Изучение и анализ эпизоотического состояния по болезням инвазионной этиологии сельскохозяйственных и непродуктивных животных, пчел и птиц, изменения видового состава и биоэкологических закономерностей цикла развития паразитов в условиях смещения границ их ареалов (FWRZ-2021-0018)» / The work was performed by the All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology of the TYUMNTS SB RAS within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation “Study and analysis of the epizootic state of diseases of invasive etiology of agricultural and unproductive animals, bees and birds, changes in species composition and bioecological patterns of the development cycle of parasites in conditions of shifting the boundaries of their ranges (FWRZ-2021-0018)”.

Вопросы, связанные с освоением возобновляемых биологических ресурсов Севера России, представляют экологический и социально-экономический интерес. Природа Арктики уязвима перед действием антропогенного фактора. Формирование концепции устойчивого природопользования рассматривается как основа современной парадигмы освоения территорий Севера. [9]

Активное освоение ресурсов приводит к сокращению площадей пастбищ домашнего северного оленя. Повышенная плотность выпаса животных негативно сказывается на интенсивности прироста массы молодняка, снижает воспроизводительные способности оленей, происходит заражение гельминтами и другими паразитами, численность падает. [7] У местного населения оленеводство занимает свою нишу в производстве мяса, кожевенного и мехового сырья, шерсти, пантов, камуса и другой продукции, отличающейся высокой экологичностью. [2]

Оленей выпасают вдали от крупных городов и автомобильных дорог, их не подкармливают комбикормом, содержащим ГМО и синтетические антибактериальные препараты. Северный олень (*Rangifer tarandus*) — пастбищное животное, в его рационе присутствуют лишайники, травы, кустарники, деревья, грибы — всего не менее 600 видов. Он обладает уникальной особенностью на 80...90% переваривать углеводистый состав лишайников. Другие копытные животные усваивают его не более, чем на 20%. При выпасе оленей летом на побережье полярных морей рацион обогащается микро- и макроэлементами, содержащимися в прибрежной растительности и морской воде. В результате такого питания образуются уникальные диетические характеристики оленей — низкое содержание жира, высокое — белка, малая калорийность. Диетологи мяса северного оленя предлагают использовать при некоторых острых и хронических заболеваниях. Обнаружено, что питание мхом и лишайником способствует образованию у животных линолевых кислот, защищающих организм человека от канцерогенов и атеросклероза. [5]

Инвазионные заболевания — одна из причин, препятствующих благополучному развитию оленеводства. Данных по фенологии, экологии и степени зараженности оленей личинками тений недостаточно для диагностики и лечения цистицеркозов.

Цель работы — изучение цистицеркоза северного оленя на территории Ямало-Ненецкого автономного округа для уточнения видового разнообразия и интенсивности поражения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовали литературные источники за последние 15 лет (2008–2023), материалы ветеринарной отчетности, полученные в районных станциях по борьбе с болезнями животных. Собственные исследования провели сотрудники ВНИИВЭА-филиала ТюмНЦ СО РАН в экспедиционных условиях на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в период промыслового убоя северных оленей. Диагностику осуществляли, выполняя неполное гельминтологическое вскрытие по Скрыбину.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установили, что паразитические черви класса *Cestoda* по многообразию возбудителей болезней инвазионной этиологии у северного оленя — самая многочисленная группа в округе.

В результате полных и неполных гельминтологических вскрытий оленей на убойных комплексах, а также работ, выполненных в полевых условиях Ямало-Ненецкого автономного округа, обнаружены личинки трех видов рода *Taenia*: *hydatigena*, *krabbei*, *Parenchimatosa*, половозрелые формы которых паразитируют в кишечнике оленегонных собак и других представителей семейства *Canidae*.

Личинок *Taenia hydatigena* — *Cysticercus tenuicollis* обнаруживали на поверхности рубца, брыжжейке, диафрагме, сальнике (внутренний жир) и серозных покровах паренхиматозных органов (печень и почки), при высокой интенсивности инвазии — на сердечной сумке. Личинок *Taenia krabbei* — *Cysticercus tarandi* наблюдали в мышечной соединительной ткани, в сердце, языке, при высокой интенсивности инвазии — в жевательных мышцах (массетеры), в мышцах пищевода и на поверхности кишечника. Личинок *Taenia parenchimatosa* — *Cysticercus parenchimatosa* обнаруживали в печени и при сильной зараженности в сердце и языке. Инвазированность по округу в среднем составила: тениукольным цистицеркозом ЭИ — $8,6 \pm 0,3\%$, при ИИ — $2,5 \pm 0,02$ экз. на оленя, тарандным цистицеркозом ЭИ — $30,0 \pm 5,6\%$, при ИИ — $3,7 \pm 0,04$ экз./дм³ мышечной ткани и паренхиматозным цистицеркозом ЭИ — $67,1 \pm 2,4\%$, при ИИ — $12,4 \pm 0,03$ экз. на оленя. Максимально поражены олени тениукольным, тарандным и паренхиматозным цистицеркозом в Ямальском районе. ЭИ тениукольным цистицеркозом составила $9,2\%$ при ИИ — $3,2 \pm 0,06$ экз. на оленя, ЭИ тарандным цистицеркозом — $43,3\%$, при ИИ — $5,2 \pm 0,04$ экз./дм³ мышечной ткани и паренхиматозным цистицеркозом ЭИ — $67,1 \pm 2,4\%$, при ИИ — $12,4 \pm 0,03$ экз. на оленя.

Отмечена достоверная разница инвазированности оленей видами цистицерков в зависимости от половозрастной группы.

Максимально поражено тениукольным цистицеркозом взрослое поголовье оленей (быки, хоры, важенки), ЭИ — $14,5$, ИИ — $3,9 \pm 0,03$ экз. на оленя. Молодняк заражен достоверно ниже, ЭИ — $3,2$ при ИИ — $2,2 \pm 0,03$ экз. на оленя. Тарандный цистицеркоз наблюдают преимущественно у взрослого поголовья оленей, ЭИ — $65,5\%$, при ИИ — $4,0 \pm 0,05$ экз./дм³ мышечной ткани, молодняк поражен меньше, ЭИ — $11,6\%$, при ИИ — $3,7 \pm 0,04$ экз./дм³ мышечной ткани. Паренхиматозный цистицеркоз обычно встречается у молодняка (ЭИ — $86,4\%$, ИИ — $9,3 \pm 0,07$ экз. на оленя), старшее поголовье инвазировано меньше (ЭИ — $48,2\%$, ИИ — $11,4 \pm 0,07$ экз. на оленя).

Экстенсивность инвазии паренхиматозного цистицеркоза в среднем по округу составляет $33,4\%$. Реже бывает тарандный цистицеркоз при экстенсивности инвазии $23,7\%$. Значительно реже регистрируют тениукольный цистицеркоз ЭИ по районам ($2,4\%$). [4]

В оленеводческих хозяйствах цистицеркозы встречаются часто. В тундровой зоне Якутии (Булунский, Аллаиховский, Нижнеколымский районы) они широко распространены, зараженность отдельными видами в разные годы исследования: паренхима-

тозным — 10,4%...92,5%, тарандным — 0,73...1,14%, тениукольным — 0,11...0,35%. [3] По наблюдениям В.А. Большакова и И.И. Григорьева, в горно-таежной зоне Якутии цистицеркозом заражается 23,6...84,6% молодняка в возрасте 6...8 мес. и 7,3...46,7% взрослых оленей. На западном Таймыре заболеваемость цистицеркозом северных оленей составляет 61,5%. [8] В условиях Большеземельской тундры Республики Коми установлена высокая распространенность ларвальных форм цестодозов в стадах северного оленя, согласно результатам осмотра внутренних органов, распространенность цистицеркоза составила 33,8% и по разным бригадам находилась в интервале от 26 до 37%. [6]

Источник заражения оленей цистицерками — оленегонные собаки. Распространение по экстенсивности и интенсивности инвазии среди собак тениями выше, чем у других плотоядных. Инвазию разносят также волки и песцы. При поедании пораженных органов оленя цистицерки попадают в организм дефинитивного хозяина, где из них формируется ленточный гельминт, который через 32...78 дн. (в зависимости от вида) достигает половой зрелости. Яйца, находящиеся в зрелых члениках цестод, вместе с калом попадают во внешнюю среду. Олени заражаются, заглатывая их с кормом. Через некоторое время оболочка яиц разрушается, освободившаяся онкосфера проникает через стенку кишечника в кровь и мигрирует в печень, сердечную мышцу, серозные покровы, где из нее формируется личиночная стадия-цистицерк.

Яйцам гельминта свойственна большая устойчивость к воздействию факторов внешней среды. Они хорошо переносят низкие температуры выше нуля, а под снежным покровом могут «перезимовывать». Заражение оленей происходит во все сезоны года, но чаще ранней весной, когда членики всех трех видов способны к активному, поступательному движению, при котором онкосферы выбрасываются из проглотид и рассеиваются на большой площади пастбищ и мест стоянок, что способствует наибольшей инвазированности оленей. [1]

Клиническое проявление болезни у северных оленей зависит от ее прохождения. Острое течение тениукольного и паренхиматозного цистицеркозов выражается в резко отставании молодняка в росте и развитии, очень часто заканчивается неожиданной смертью животного при симптомах, свойственных паренхиматозно-геморрагическому гепатиту. При подостром течении цистицеркозов наблюдается уменьшение аппетита, бледность слизистых оболочек, потеря веса, общая слабость. Хроническая форма тениукольного цистицеркоза чаще протекает субклинически.

Круглогодичное пастбищное содержание одомашненной популяции северных оленей, отдаленность мест выпаса от населенных пунктов, обязательное наличие в бригадах оленегонных собак и экстремальные природо-климатические условия обуславливают сложности в изучении и поиске оптимальных решений по своевременной диагностике, а также разработке эффективных методов лечения гельминтозов у оленей, в частности цистицеркоза. Основополагающий метод профилактики ларвальных цестодозов (цистицеркозы, альвео- и эхинококкоз) оленей — разрыв биологической цепи дефинитивный хозяин—промежуточный хозяин—дефинитивный хозяин, так как терапия выше-названных заболеваний в отношении промежуточных хозяев (северные олени) неэффективна. [4]

Распространение цистицеркозов в северном оленеводстве тесно связано с уровнем организации учета численности собак, контроля за их передвижением, скармливанием пораженного цистицеркозом сырого мяса оленя, своевременностью выполнения диагностических мероприятий и дегельминтизации, наличием быстродействующих, со слабительным эффектом антгельминтиков, применением на территориях выпаса оленей средств и методов дегельминтизации диких плотоядных зверей (песцы, лисы, волки и другие). Важно правильно организовать подворный убой с оборудованием мест утилизации его продуктов при заготовке мяса оленя коренными жителями. Отсутствие единых правил терапии и профилактики цистицеркозов, ветеринарно-санитарной экспертизы и переработки продуктов убоя также сдерживает успешное развитие отрасли.

Несмотря на увеличение фактических объемов убоя северных оленей, за последние годы в Ямало-Ненецком автономном округе снижается встречаемость цистицеркоза в среднем от 2 до 10% в год, заболевание выявлено в 9,1% случаев при обследовании туш и органов животных. Условия уменьшения распространения инвазии связаны с многолетними лечебно-профилактическими мероприятиями и просветительской деятельностью ветеринарной службы с населением, строительством новых современных убойных площадок.

В результате проведенных исследований на территории Ямало-Ненецкого автономного округа была выявлена инвазированность северного оленя цистицеркозами: паренхиматозным — 33,4%, тарандным — 23,7 и тениукольным — 2,4%. Наблюдалась достоверную разницу зараженности оленей видами цистицерков в зависимости от пола и возраста. Тениукольным и тарандным максимально поражено взрослое поголовье, паренхиматозным — молодняк. Учитывая различные факторы, влияющие на поражаемость северного оленя цистицерками, можно достичь значительного снижения инвазированности при своевременной организации профилактических ветеринарных мероприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев А.А. Особенности распространения гельминтозов среди жителей полярных и приполярных районов // Международный студенческий научный вестник. 2021. № 2. С. 161—161.
2. Казановский Е.С. Ветеринарное благополучие северного оленеводства-важный резерв сохранности поголовья и увеличения продуктивности отрасли. Стратегические приоритеты в управлении природноресурсным потенциалом европейского северо-востока и зоны арктики // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 4. С. 44—47.
3. Коколова Л.М., Гаврильева Л.Ю. Цистицеркозы северных оленей в Якутии // Наука, техника и образование. 2018. № 11 (52). С. 101—103.
4. Лещев М.В. Эпизоотология инвазионных болезней северных оленей в Ямало-Ненецком автономном округе. Автореф. дис. ... канд. вет. наук. 2008. С. 11—13.
5. Меднова Т.В. Исследование мяса оленины на Кольском полуострове // Наука и современность. 2011. № 9-2. С. 35—39.
6. Николаев С.В. Характеристика гельминтофауны северных оленей Большеземельской тундры // Аграрная наука на современном этапе развития северных и арктических территорий. Сб. науч. мат. Всерос. науч. конф. с межд. уч., посвящ. 90-летию Нарьян-Марской сельскохозяйственной опытной станции (1932—2022). Нарьян-Мар, 2022. С. 28.

7. Пельгунов А.Н., Маклакова Л.П. Паразитологические аспекты, связанные с акклиматизацией и интродукцией диких копытных // Российский паразитологический журнал. 2013. № 3. С. 67–75.
8. Почепко Р.А. и др. Эпизоотическая ситуация по цестодовой инвазии домашних северных оленей в оленеводческих хозяйствах Мурманской области // Ветеринария сегодня. 2021. Т. 1. № 1. С. 52–58.
9. Якименко Л.В., Иваненко Н.В. Арктическое природопользование: новая парадигма // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2021. Т. 13. № 2. С. 109–119.

REFERENCES

1. Andreev A.A. Osobennosti rasprostraneniya gel'mintozov sredi zhitelej polyarnyh i pripolyarnyh rajonov // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2021. № 2. S. 161–161.
2. Kazanovskij E.S. Veterinarnoe blagopoluchie severnogo olenevodstva-vazhnyj rezerv sohrannosti pogolov'ya i uvelicheniya produktivnosti otrasli. Strategicheskie prioritety v upravlenii prirodnoresursnym potencialom evropejskogo severo-vostoka i zony arktiki. // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2017. № 4. S. 44–47.
3. Kokolova L.M., Gavril'eva L.Yu. Cisticerkozy severnyh oleney v Yakutii // Nauka, tekhnika i obrazovanie. 2018. № 11 (52). S. 101–103.

4. Leshchev M.V. Epizootologiya invazionnyh boleznej severnyh oleney v Yamalo-Neneckom avtonomnom okruge. Avtoref. dis. ... kand. vet. nauk. 2008. S. 11–13.
5. Mednova T.V. Issledovanie myasa oleniny na Kol'skom poluostrove // Nauka i sovremennost'. 2011. № 9-2. S. 35–39.
6. Nikolaev S.V. Harakteristika gel'mintofauny severnyh oleney Bol'shezemel'skoj tundry // Agrarnaya nauka na sovremenno etape razvitiya severnyh i arkticheskikh territorij. Sb. nauch. mat. Vseros. nauch. konf. s mezhd. uch., posvyashch. 90-letiyu Nar'yan-Marskoj sel'skhozayajstvennoj opytnoj stancii (1932-2022). Nar'yan-Mar, 2022. S. 28.
7. Pel'gunov A.N., Maklakova L.P. Parazitologicheskie aspekty, svyazannye s akklimatizaciej i introdukciej dikih kopytnyh // Rossijskij parazitologicheskij zhurnal. 2013. № 3. S. 67–75.
8. Pochevko R.A. i dr. Epizooticheskaya situaciya po cestodovoj invazii domashnih severnyh oleney v olenevodcheskikh hoz'yajstvakh Murmanskoj oblasti // Veterinariya segodnya. 2021. T. 1. № 1. S. 52–58.
9. Yakimenko L.V., Ivanenko N.V. Arkticheskoe prirodopol'zovanie: novaya paradigma // Territoriya novyh vozmozhnostej. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i servisa. 2021. T. 13. № 2. S. 109–119.

Поступила в редакцию 18.07.2024

Принята к публикации 01.08.2024

УДК 636.223.1

DOI: 10.31857/S2500208225010124, EDN: CSKRAO

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВЕДЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА АБЕРДИН-АНГУССКОЙ ПОРОДЫ В РОССИИ*

Елена Николаевна Коновалова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Ольга Сергеевна Романенкова, кандидат биологических наук, научный сотрудник

Елена Александровна Гладырь, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, п. Дубровицы, г.о. Подольск, Московская обл., Россия

E-mail: konoval-elena@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен обзор абердин-ангусской породы крупного рогатого скота на основе исследований, проведенных в 2002–2024 годах. С учетом научно-подтвержденного генетического потенциала породы дана оценка перспектив ее разведения на территории России. Также описаны возможные проблемы в виде проявления наследственных аномалий. Приведены данные о генетических маркерах, перспективных для отбора лучших в отношении продуктивности животных, частоте встречаемости носителей генетических дефектов и возможности совершенствования породы с помощью геномной селекции. Анализ крупного рогатого скота показал, что абердин-ангусская — одна из наиболее подходящих мясных пород для разведения на территории России. Работа по совершенствованию породы с объединением разных звеньев отрасли мясного скотоводства в перспективе обеспечит страну мясом высокого качества и позволит не зависеть от иностранного генетического материала КРС. Представленная в обзоре информация будет полезной при принятии решений о разведении породы в конкретном хозяйстве.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, мясная продуктивность, абердин-ангусская порода, генетические маркеры, мраморность, откормочные качества, генетические дефекты, геномная селекция

PROSPECTS FOR BREEDING AND IMPROVEMENT OF ABERDEEN ANGUS CATTLE IN RUSSIA

E.N. Konovalova, PhD in Biological Sciences, Senior Researcher

O.S. Romanenkova, PhD in Biological Sciences, Senior Researcher

E.A. Gladys, PhD in Biological Sciences, Leading Researcher

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy member L.K. Ernst, Podolsk, Moscow region, Russia

E-mail: konoval-elena@yandex.ru

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-26-00176 / The work was carried out with the support of Russian Science Foundation, grant No. 23-26-00176.

Abstract. The review is dedicated to Aberdeen Angus cattle breed and consisted by the analysis of the studied breed investigations conducted due 2002–2024. On base of scientific confirmed genetic potential of the breed the evaluation of the perspectives of its breeding on Russian territory has been given. The possible problems as the appearance of the congenital anomalies in Aberdeen Angus cattle breeding have been also described. The results of the molecular genetic investigations of Aberdeen Angus cattle carried out due the last years in Russia and abroad have been presented. In particular, the data about genetic markers perspective for the Aberdeen Angus selection of the best relating to productivity animals, frequencies of the genetic defects carriers and the possibility of the breed improvement by genome selection. The analysis of Aberdeen Angus cattle breed has shown that it is one of the most appropriate beef breeds for the breeding on the territory of Russia. High productivity observed in practice and confirmed by the modern scientific investigations, and also conduction in our country of the works on Aberdeen Angus breed improvement including the combining of efforts of different beef cattle industry parts, in the future, will provide the country with high-quality meat and will allow Russia not to depend on foreign genetic material of cattle. The presented in the review information about Aberdeen Angus cattle breed will be useful for the making decision of breeding this cattle breed in the defined farm.

Keywords: cattle, Aberdeen Angus breed, meat productivity, genetic markers, marbling, feed qualities, genetic defects, genome selection

Известно, что мясо крупного рогатого скота при высокой переваримости и усвояемости обладает большой питательной ценностью, обусловленной содержанием значительного количества полезных элементов, более благоприятным соотношением белка и жира, меньшим содержанием холестерина, по сравнению со свининой и бараниной, в связи с чем, дефицит его потребления, наблюдаемый в России в последние 20 лет, нельзя оставлять без внимания. [1]

Для успешного развития мясного скотоводства необходимо правильно выбирать породы для разведения в различных природно-климатических условиях. [8]

Абердин-ангусская порода динамично развивается в России и востребована на рынке мраморной говядины, ее изучение и совершенствование очень актуально. [7, 15]

Цель работы — анализ продуктивности крупного рогатого скота *абердин-ангусской* породы, возможных проблем при ее разведении и повышение продуктивных показателей с помощью современных молекулярно-генетических методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Провели обзор научных литературных источников за 2002–2024 годы, содержащих информацию об исследованиях крупного рогатого скота *абердин-ангусской* породы и результатах молекулярно-генетических анализов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Крупный рогатый скот *абердин-ангусской* породы характеризуется гармоничным телосложением. Разводимые на территории России животные хорошо адаптировались к выращиванию в разных климатических регионах, демонстрируя неприхотливость к кормам и условиям содержания, скороспелость, хороший иммунитет и воспроизводительные способности, интенсивное наращивание живой массы, легкость отелов, высокий убойный выход и отличные мясные качества. [15]

Рентабельность выращивания показали не только чистопородные *абердин-ангусы*, но и животные, полученные в результате скрещивания с другими породами в условиях разных технологий содержания и кормления. [2, 26]

Современное развитие генетики позволяет проводить полногеномный анализ животных, но в большинстве российских хозяйств более рентабельна маркер-ориентированная селекция (MAS, marker

assisted selection), направленная на выявление олигонуклеотидных полиморфизмов (single nucleotide polymorphisms, SNP), благоприятно влияющих на продуктивность. [14, 25]

Нежность мяса формируется в ходе посмертного протеолиза мышечной ткани под влиянием белка μ -кальпаина (кальпаин 1, CAPN1) и его ингибитора кальпастатина (CAST), поэтому интересно изучение генов *CAPN1* и *CAST*, расположенных на ВТА29 и ВТА14 соответственно. [18] Впервые связь полиморфизмов генов *CAPN1* и *CAST* с нежностью говядины была обнаружена в 2006 году при исследовании смешанной популяции КРС. Показатель силы сдвига по Уорнеру-Братцлеру (WBSF, Warner-Bratzler shear force), измеряемый для оценки нежности на 14-й день после убоя животных, был ниже у особей с наличием в генотипе аллелей C-*CAPN1*_4751 и C-*CAST*_282. [18] Выявили влияние полиморфизмов *CAPN1*_316 и *CAST*_2959 на нежность мяса от крупного рогатого скота *абердин-ангусской* породы — наиболее благоприятные аллели C-*CAPN1*_316 (WBSF проб длиннейшей мышцы спины генотипа CC-*CAPN1*_316 был в среднем на 20,1% ниже, по сравнению с аналогами GG) и A-*CAST*_2959 (самые низкие показатели WBSF у животных с генотипом AA — на 8,6 и 5,1%, чем с AG и GG соответственно).

Проведенные нами исследования бычков *абердин-ангусской* породы от рождения до убоя не доказали связи полиморфизмов гена *CAPN1* с показателями роста, но обнаружено положительное влияние GG-*CAPN1*_316, TT-*CAPN1*_4751, GG-*CAST*_282 и GG-*CAST*_2959 на качество мяса. [21]

Так называемая «мраморная» говядина — один из лучших диетических продуктов по содержанию полиненасыщенных жирных кислот, полезных для сердечно-сосудистой системы, холина, защищающего мембраны клеток от повреждения и снижающего уровень холестерина в крови, а также витамина B12 и железа. Несмотря на влияние технологий откорма на количество внутримышечного жира (IMF, intramuscular fat), определяющего степень мраморности, это свойство обусловлено генетически, и поиск его маркеров актуален. [33]

Ген диацилглицерол-О-ацилтрансферазы 1 (*DGAT1*), картируемый у КРС на хромосоме ВТА14, кодирует одноименный фермент, участвующий в синтезе триглицеридов, диглицеридов и ацетилкофермента А. SNP в экзоне 8 (р. 10434 G→A и C→A, K232A), приводит к нарушению синтеза DGAT. Благодаря, наблюдаемому в ранних работах, положительному влиянию аллеля К на содержание жира в молоке, данный SNP долгое время рассматривали как маркер молочной продуктив-

ности. Позднее обнаружили положительную корреляцию аллеля *A-DGAT1* с содержанием внутримышечного жира в тушах (показатель IMF бычков с генотипом AA-K-232A был значительно выше, по сравнению с другими генотипами). [26] Аналогичные результаты наблюдали при исследовании венгерской популяции коров *абердин-ангусской* породы. [17]

Важную роль в регуляции обмена веществ играют гормоны щитовидной железы, в частности, тиреоглобулин (TG) как переносчик трийодтиронина (T3) и тироксина (T4), влияющих на способность тканей накапливать жир. Ген *TG* расположен в области центромеры BTA14 и состоит из 37 экзонов, а SNP в 5'-промоторной области р. 422 С→Т предположительно влияет на содержание IMF. Недавние исследования молодняка *абердин-ангусской* породы показали, что телята с генотипом *TG5-TT* имели более высокие среднесуточные привесы, по сравнению с аналогами генотипа CC. [6]

В связи с необходимостью повышения объемов производства говядины интерес представляют гены, оказывающие влияние на рост организма. Ген миостатина (*MSTN*), кодирующий белок класса миокинов, известен как фактор роста и дифференцировки 8 (Growth Differentiation factor-8, GDF-8), тормозящий рост мышечной ткани из-за подавления пролиферации и дифференцировки миоцитов. [10] Делеция гена *MSTN*, описанная у многих млекопитающих, повреждает белок *MSTN*, что приводит к двукратному увеличению скелетных мышц вследствие гиперплазии мышечных волокон. [3] Ген *MSTN*, идентифицированный в 1997 году, локализован на BTA2, у животных *абердин-ангусской* породы зарегистрировано две мутации данного гена: делеция nt821del11 *MSTN* и SNP F94L *MSTN*. Несмотря на выгодный, с точки зрения мясной продуктивности, фенотип мышечной гипертрофии, наблюдаемый при проявлении nt821del11 *MSTN*, данная мутация была отнесена к генетическим дефектам (M1, OMIA:000683-9913) из-за негативного влияния на здоровье животных (трудные отелы, проблемы с воспроизводством). [23] Альтернативный SNP F94L *MSTN* (с.282C>A р.Phe94Leu) также индуцирует мышечную гипертрофию, но без воздействия на вес телят при рождении, что делает данную мутацию потенциальным генетическим маркером повышенной мышечной массы. Ранее проведенное генотипирование российских популяций *абердин-ангусского* скота показало низкую частоту встречаемости желательного аллеля A-F94L *MSTN*. [23]

Интересен высокополиморфный ген лептина (*LEP*), кодирующий одноименный глобулярный белок-цитокин, синтезируемый жировой тканью, основная роль которого заключается в регуляции энергетического баланса. [16] Исследования телок *абердин-ангусской* породы показали связь полиморфизмов *LEP* C528T и *LEP* C73T с показателями IMF и толщины шпика — наиболее высокими они оказались у гетерозиготных животных. [19] Проведенное нами в 2022 году исследование молодняка *абердин-ангусской* породы по полиморфизму Arg4Cys *LEP* (R25C) показало положительное влияние аллеля T на среднесуточный прирост массы в возрасте от рождения до восьми месяцев — бычки с генотипом TT достоверно превосходили аналогов с генотипом СТ на 13,2 г. [9]

Гормоны соматотропного каскада — соматотропин (GH), рецептор — GHR и иммуноглобулиновый фактор 1 (IGF-1) влияют на процесс роста млекопитающих. В 2021 году наблюдали связь генов *GH*, *GHR* и *IGF-1* с продуктивностью крупного рогатого скота *абердин-ангусской* породы. У животных с генотипами *GH^{NV}*, *GHR^{FF}* и *IGF^{BV}* самые высокие показатели прироста массы, наиболее рентабельные диплоиды: *GH^{NV}—IGF^{BV}* и *GH^{LL}—IGF^{AA}*. [19]

Несмотря на очевидный высокий генетический потенциал *абердин-ангусской* породы, интенсивное ее разведение привело к снижению степени гетерозиготности в популяциях и накоплению генетического груза в виде мутантных аллелей, связанных с наследственными заболеваниями. [22] Согласно базе данных OMIA (Online Mendelian inheritance in animals) среди *абердин-ангусов* зарегистрировано наибольшее число генетических аномалий, по сравнению с другими мясными породами [www.omia.angis.org]. Евразийской экономической комиссией было принято решение коллегии № 74 от 2 июня 2020 года «Об утверждении положения о проведении молекулярной генетической экспертизы племенной продукции государств-членов евразийского экономического союза», регламентирующее на территории России обязательное ДНК-тестирование КРС *абердин-ангусской* и производных от нее пород по восьми генетическим дефектам. [12]

Исследования российских популяций *абердин-ангусов* на множественный артрогрипоз (AM), остеопетроз (OS), дупликация при развитии (DD) и мышечную гипертрофию (M1) выявили в стадах единичных носителей: частота AMC-животных — 0...2,38%, DDC — 0,9...8,5, M1C — 0,15, OSC — не более 0,26%. [21] Риск распространения наследственных аномалий путем передачи от родителей потомству мутантных аллелей, ассоциированных с заболеваниями, оказался достаточно велик: в популяции *абердин-ангусов* одного из российских хозяйств среди животных 2013 года рождения носители генетических дефектов AM и DD отсутствовали, а у их потомков (2017) они появились (1,7%), что указывает на риск бесконтрольного использования этой породы и необходимость ДНК-тестирования животных по генетическим дефектам. [24]

Для решения проблемы дефицита говядины актуально совершенствование мясных пород крупного рогатого скота при помощи инновационных селекционных-генетических методов. [5]

Наиболее совершенный, по сравнению с ранее применяемой оценкой производителей по качеству потомства, — метод геномной селекции, точность которой возрастает по мере увеличения поголовья и количества оцениваемых параметров. [20] В настоящее время в геномной оценке мясного КРС России учитывают лишь критерии живой массы, экстерьера и молочности маток, что недостаточно для ускорения и повышения качества селекционного процесса. Необходим поиск дополнительных информативных признаков, например, убойный выход, товарный класс туши по выходу постного мяса, эффективность использования корма (RFI, residual feed intake), мраморность, площадь ребра (мышечного глазка). У бычков *абердин-ангусской* породы с отрицательным значением RFI отмечали лучшее сочетание показателей конверсии корма, среднесуточного прироста и потребленного сухого вещества рациона, что показы-

вает целесообразность введения данного критерия в систему геномной оценки. [13]

Консолидация усилий мясных скотоводческих хозяйств, мясоперерабатывающих предприятий и научных организаций способствует совершенствованию мясного скота. Например, АПХ «Мираторг» с большим поголовьем *абердин-ангусской* породы на нескольких фермах различных субъектов Российской Федерации [https://miratorg.ru/about/], создавший в 2019 году Центр геномной селекции для оценки племенной ценности и совершенствования системы селекции КРС *абердин-ангусской* породы и Национальную ассоциацию по *абердин-ангусской* породе, и некоммерческая общественная Ассоциация заводчиков *абердин-ангусского* скота, у истоков которой стоят два российских племязавода по данной породе: ООО «Суерь» (Курганская обл.) и ООО «Стивенсон-Спутник» (Ленинградская обл.), где основу составляет скот австралийского и американского происхождения. [4, 11]

Выводы. Анализ *абердин-ангусской* породы показал, что она подходит для разведения на территории России, так как от животных при низких затратах на содержание возможно получать качественное мясо.

Высокая продуктивность породы, наблюдаемая на практике и подтверждаемая современными научными исследованиями, а также работа по совершенствованию *абердин-ангусов* обеспечат Россию мясом высокого качества и позволят не зависеть от иностранного генетического материала крупного рогатого скота.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анциферова О.Ю., Петрова Л.М. Уровень самообеспечения основными продуктами питания ключевой критерий продовольственной безопасности страны // Московский экономический журнал. 2021. № 11. С. 714–721. <https://doi.org/10.24412/2413-046X-2021-10703>
2. Батанов С.Д., Старостина О.С., Атнабаева Н.А., Дякин С.И. Селекционно-генетические параметры роста, развития и типа телосложения ремонтных телок *абердин-ангусской* породы и помесей с черно-пестрой породой // Молочное и мясное скотоводство. 2023. № 3. С. 14–18. <https://doi.org/10.33943/MMS.2023.68.46.003>
3. Васюкова О.В., Касьянова Ю.В., Окороков П.Л., Безлепкина О.Б. Миокины и адипомиокины: медиаторы воспаления или уникальные молекулы таргетной терапии ожирения? // Проблемы эндокринологии. 2021. 67(4). С. 36–45. <https://doi.org/10.14341/probl12779>
4. В России появилась Ассоциация заводчиков *абердин-ангусского* скота. 9 августа 2017 г. <https://ggshu.tatarstan.ru/index.htm/news/984526.htm> (Дата обращения: 02.10.2024).
5. Габидулин В.М., Алимова С.А., Тарасов М.В., Мищенко Н.В. Продуктивность скота *абердин-ангусской* породы австралийской селекции на территории России в юго-западной части Сибири // Разведение, селекция, генетика. С. 20–23.
6. Гуминская Е.Ю., Сидунов С.В., Лобан Р.В., Сидунова М.Н. Взаимосвязь полиморфизма генов тиреоглобулина и лептина с интенсивностью роста ремонтного молодняка *абердин-ангусской* породы // РУП «Научно-практический центр Национальной Академии Наук Беларуси по животноводству» 2023. С. 250–256. <https://doi.org/10.61562/mgfa2023.35>
7. Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год). Издательство ФГБНУ ВНИИплем, 2024 г.
8. Емельяненко А.В., Куш Е.Д., Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Мясная продуктивность бычков разных мясных пород // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 2. С. 68–74. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-2-68>
9. Коновалова Е.Н., Селионова, М.И., Гладырь и др. ДНК-анализ полиморфизмов генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у крупного рогатого скота *абердин-ангусской* породы российской популяции // Сельскохозяйственная биология. 2023. 58 (4). С. 622–637.
10. Кукес В.Г., Газданова А.А., Фуралев В.А. и др. Современное представление о биологической роли и клиническом значении миостатина — главного регулятора роста и дифференцировки мышц // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2021. Т. 16. № 3. С. 327–332.
11. Национальная ассоциация поставщиков, заводчиков и селекционеров крупного рогатого скота *абердин-ангусской* породы. https://www.vij.ru/images/conf-23/LISKUN/round_table_2023/presentations/5Miratorg.pdf (Дата обращения: 02.10.2024).
12. Решение № 74 от 02 июня 2020 г. Об утверждении Положения о проведении молекулярной генетической экспертизы племенной продукции государств-членов Евразийского экономического союза. https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/58b/Reshenie-Kollegii_-74-ot-2-iyunya-2020-g.-_genekspertiza_.pdf (Дата обращения: 02.10.2024).
13. Сермягин А.А., Боголюбова Н.В., Белоус А.А. и др. Показатели мясной продуктивности, эффективности использования корма и химического состава мяса бычков *абердин-ангусской* породы // Аграрная наука. 2023. 377(12). С. 67–73. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-67-73>
14. Столповский Ю.А., Кузнецов С.Б., Солоднева Е.В., Шумов И.Д. Новая система генотипирования крупного рогатого скота на основе технологии ДНК-микрочипов // Генетика. 2022. № 58(8). С. 857–871. <https://doi.org/10.31857/S0016675822080094>
15. Фомина Н.В., Лоретц О.Г., Быкова О.А. Продуктивные качества животных *абердин-ангусской* породы с учетом селекционно-генетических параметров. Аграрный вестник Урала. 2019. № 3. С. 37–42. https://doi.org/10.32417/article_5ce3fd015cf214.96210190
16. Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А. и др. Влияние гена лептина на продолжительность хозяйственного использования крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 146–153. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-146-153>
17. Anton I., Kovács K., Holló G. et al. Effect of leptin, DGAT1 and TG gene polymorphisms on the intramuscular fat of Angus cattle in Hungary // Livestock Science. 2011. Vol. 135. PP. 300–303. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.012>
18. Dushayeva L.Z., Nametov A.M., Beishova I.S. et al. Marking of Meat Productivity Features in Pairs of bGH, bGHR and bIGF-1 Polymorphic Genes in Aberdeen-Angus Cattle // OnLine Journal of Biological Sciences. 2021. № 21 (2). PP. 334–345. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2021.334.345>
19. Dzhulamanov K.M., Lebedev S.V., Gerasimov N., Kolpakov V.I. Effect of leptin C528T and leptin C73T polymorphisms and pregnancy on adipose tissue formation and carcass grade in Aberdeen Angus heifers and first-calf cows // Veterinary World. 2022. № 15(7). PP. 1632–1640.
20. Gutierrez-Reinoso M.A., Aponte P.M., Garcia-Herreros M. Genomic Analysis, Progress and Future Perspectives in Dairy Cattle Selection: A Review // Animals (Basel). 2021. Vol. 11(3). PP. 599–614. <https://doi.org/10.3390/ani11030599>

21. Konovalova E., Romanenkova O., Evstafeva L. et al. Aberdeen Angus beef quality and profitability in dependence of the genotypes. E3S WEB OF CONFERENCES. X International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024). Том 548. Les Ulis. 2024.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454802017>
22. Konovalova E., Romanenkova O., Kostyunina O., Gladyr E. The molecular bases study of the inherited diseases for the health maintenance of the beef cattle // Genes. 2021. T. 12. № 5. <https://doi.org/10.3390/genes12050678>
23. Konovalova E.N., Romanenkova O.S., Zimina A.A. et al. The genotyping results of the Russian cattle populations of Aberdeen Angus, Limousine, Simmental and Belgian Blue 3 breeds on F94L and nt821del11 mutations of the myostatin gene // Animals. 2021. № 11. PP. 1–13.
<https://doi.org/10.3390/ani11102810>
24. Konovalova E.N., Volkova V.V., Romanenkova O.S. Aberdeen Angus cattle breed in Russia: prevention of the genetic defects and evaluation of the risk of their spread by transferring from parents to offspring. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. PP. 42008.
25. Li Y., Wang H., Yang Z. et al. Rapid Non-Destructive Detection Technology in the Field of Meat Tenderness: A Review. Foods. 2024. № 13. P. 1512.
<https://doi.org/10.3390/foods13101512>
26. Titanov Z., Kazhgaliyev N., Kulmagambetov T. et al. Adaptation of the Third Generation Aberdeen Angus Heifers in the North Kazakhstan Region // OnLine Journal of Biological Sciences. 2023. № 23 (2). PP. 133–141.
<https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.133.141>
7. Ezhegodnik po plemennoj rabote v myasnom skotovodstve v hozyajstvax Rossijskoj Federacii (2023 god). Izdatel'stvo FGBNU VNIIPlem, 2024 g.
8. Emel'yanenko A.V., Kushch E.D., Kayumov F.G., Tret'yakova R.F. Myasnaya produktivnost' bychkov raznyh myasnyh porod // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2020. T. 103. № 2. С. 68–74. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-2-68>
9. Konovalova E.N., Selionova, M.I., Gladyr' i dr. DNK-analiz polimorfizmov genov miostatina, leptina i kal'paina 1 u krupnogo rogatogo skota aberdin angusskoj породы russijskoj populyacii // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2023. 58 (4). S. 622–637.
10. Kukes V.G., Gazdanova A.A., Furalev V.A. i dr. Sovremennoe predstavlenie o biologicheskoy roli i klinicheskom znachenii miostatina – glavnogo regul'yatora rosta i differencirovki myshc // Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza. 2021. T. 16. № 3. S. 327–332.
11. Nacional'naya associaciya postavshchikov, zavodchikov i selekcionerov krupnogo rogatogo skota aberdin-angusskoj породы. https://www.vij.ru/images/conf-23/LISKUN/round_table_2023/presentations/5Miratorg.pdf (Data obrashcheniya: 02.10.2024).
12. Reshenie № 74 ot 02 iyunya 2020 g. Ob utverzhdenii Polozheniya o provedenii molekulyarnoj geneticheskoy ekspertizy plemennoj produkcii gosudarstv-chlenov Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza. https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/58b/Reshenie-Kollegii_-74-ot-2-iyunya-2020-g.-_geneksper-tiza_.pdf (Data obrashcheniya: 02.10.2024).
13. Sermiyagin A.A., Bogolyubova N.V., Belous A.A. i dr. Pokazateli myasnoj produktivnosti, effektivnosti ispol'zovaniya kor-ma i himicheskogo sostava myasa bychkov aberdin-angusskoj породы // Agrarnaya nauka. 2023. 377(12). S. 67–73.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-67-73>
14. Stolpovskij Yu.A., Kuznecov S.B., Solodneva E.V., Shumov I.D. Novaya sistema genotipirovaniya krupnogo rogatogo skota na osnove tekhnologii DNK-mikrochipov // Genetika. 2022. № 58(8). S. 857–871.
<https://doi.org/10.31857/S0016675822080094>
15. Fomina N.V., Loretc O.G., Bykova O.A. Produktivnye kachestva zhivotnyh aberdin-angusskoj породы s uchetom selekcionno-geneticheskikh parametrov. Agrarnyj vestnik Urala. 2019. № 3. S. 37–42.
https://doi.org/10.32417/article_5ce3fd015cf214.96210190
16. Hudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Kudrina M.A. i dr. Vliyaniye gena leptina na prodolzhitel'nost' hozyajstvennogo ispol'zovaniya krupnogo rogatogo skota // Vestnik KrasGAU. 2023. № 12. S. 146–153.
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-146-153>
17. Anton I., Kovács K., Holló G. et al. Effect of leptin, DGAT1 and TG gene polymorphisms on the intramuscular fat of Angus cattle in Hungary // Livestock Science. 2011. Vol. 135. PP. 300–303. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.012>
18. Dushayeva L.Z., Nametov A.M., Beishova I.S. et al. Marking of Meat Productivity Features in Pairs of bGH, bGHR and bIGF-1 Polymorphic Genes in Aberdeen-Angus Cattle // OnLine Journal of Biological Sciences. 2021. № 21 (2). PP. 334–345. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2021.334.345>
19. Dzhulamanov K.M., Lebedev S.V., Gerasimov N., Kolpakov V.I. Effect of leptin C528T and leptin C73T polymorphisms and pregnancy on adipose tissue formation and carcass grade in Aberdeen Angus heifers and first-calf cows // Veterinary World. 2022. № 15(7). PP. 1632–1640.
20. Gutierrez-Reinoso M.A., Aponte P.M., Garcia-Herreros M. Genomic Analysis, Progress and Future Perspectives in Dairy Cattle Selection: A Review // Animals (Basel). 2021. Vol. 11(3). PP. 599–614. <https://doi.org/10.3390/ani11030599>
21. Konovalova E., Romanenkova O., Evstafeva L. et al. Aberdeen Angus beef quality and profitability in dependence of the

REFERENCES

1. Anciferova O.Yu., Petrova L.M. Uroven' samoobespecheniya osnovnymi produktami pitaniya klyuchевой kriterij prodovol'stvennoj bezopasnosti strany // Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. 2021. № 11. S. 714–721.
<https://doi.org/10.24412/2413-046H-2021-10703>
2. Batanov S.D., Starostina O.S., Atnabaeva N.A., Dyakin S.I. Selekcionno-geneticheskije parametry rosta, razvitiya i tipa teloslozheniya remontnyh telok aberdin angusskoj породы i pomesej s cherno-pestroj porodoj // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2023. № 3. S. 14–18.
<https://doi.org/10.33943/MMS.2023.68.46.003>
3. Vasyukova O.V., Kas'yanova Yu.V., Okorokov P.L., Bezlep-kina O.B. Miokiny i adipomiokiny: mediatory vospaleniya ili unikal'nye molekuly targetnoj terapii ozhireniya? // Problemy endokrinologii. 2021. 67(4). S. 36–45.
<https://doi.org/10.14341/probl12779>
4. V Rossii poyavilas' Associaciya zavodchikov aberdin-angusskogo skota. 9 avgusta 2017 g. <https://ggshu.tatarstan.ru/index.htm/news/984526.htm> (Data obrashcheniya: 02.10.2024).
5. Gabidulin V.M., Alimova S.A., Tarasov M.V., Mishchenko N.V. Produktivnost' skota aberdin-angusskoj породы avstralijskoj selekcii na territorii Rossii v yugo-zapadnoj chasti Sibiri // Razvedenie, selekciya, genetika. S. 20–23.
6. Guminskaya E.Yu., Sidunov S.V., Loban R.V., Sidunova M.N. Vzaimosvyaz' polimorfizma genov tireoglobulina i leptina s intensivnost'yu rosta remonnogo molodnyaka aberdin-angusskoj породы // RUP «Nauchno-prakticheskij centr Nacional'noj Akademii Nauk Belarusi po zhivotnovodstvu» 2023. S. 250–256.
<https://doi.org/10.61562/mgfa2023.35>

- genotypes. E3S WEB OF CONFERENCES. X International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024). Том 548. Les Ulis. 2024.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454802017
22. Konovalova E., Romanenkova O., Kostyunina O., Gladyr E. The molecular bases study of the inherited diseases for the health maintenance of the beef cattle // Genes. 2021. Т. 12. № 5. https://doi.org/10.3390/genes12050678
 23. Konovalova E.N., Romanenkova O.S., Zimina A.A. et al. The genotyping results of the Russian cattle populations of Aberdeen Angus, Limousine, Simmental and Belgian Blue 3 breeds on F94L and nt821del11 mutations of the myostatin gene // Animals. 2021. № 11. PP. 1–13.
https://doi.org/10.3390/ani11102810
 24. Konovalova E.N., Volkova V.V., Romanenkova O.S. Aberdeen Angus cattle breed in Russia: prevention of the genetic defects and evaluation of the risk of their spread by transferring from parents to offspring. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. P. 42008.
 25. Li Y., Wang H., Yang Z. et al. Rapid Non-Destructive Detection Technology in the Field of Meat Tenderness: A Review. Foods. 2024. № 13. P. 1512.
https://doi.org/10.3390/foods13101512
 26. Titanov Z., Kazhgaliyev N., Kulmagambetov T. et al. Adaptation of the Third Generation Aberdeen Angus Heifers in the North Kazakhstan Region // OnLine Journal of Biological Sciences. 2023. № 23 (2). PP. 133–141.
https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.133.141

Поступила в редакцию 02.09.2024

Принята к публикации 16.09.2024

УДК 636.082

DOI: 10.31857/S2500208225010138, EDN: CSFXHF

УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА ЛЕПТИНА (САЙТ R25C) С ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫМИ ПРИЗНАКАМИ*

Ирина Сергеевна Кожевникова, кандидат биологических наук
Наталья Александровна Худякова, кандидат сельскохозяйственных наук
Мария Сергеевна Калмыкова, младший научный сотрудник
Андрей Сергеевич Кашин, младший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Россия
 E-mail: labinnovrazv@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты действия генетических факторов на хозяйственно полезные признаки сельскохозяйственных животных. Установлена связь полиморфизма гена лептина (сайт R25C) с молочной продуктивностью, а также показателями живой массы в период роста и развития коров холмогорской породы. Исследование проводили на маточном поголовье крупного рогатого скота в АО «Холмогорский Племязавод». Анализ частоты встречаемости генотипов однонуклеотидного полиморфизма R25C у коров показал преобладание гетерозиготного генотипа RC (57,14%), при этом частота аллеля C составила 0,62, R – 0,38. Были получены данные по влиянию полиморфизма гена лептина (сайт R25C) на молочную продуктивность и развитие живой массы в разные возрастные периоды коров. Статистический анализ (Критерий Краскела-Уоллиса, U-критерий Манна-Уитни) не выявил достоверного действия однонуклеотидного полиморфизма R25C на показатели молочной продуктивности. Животные с генотипом RR характеризовались достоверно более высокой живой массой при рождении, в 18 мес. при первом осеменении, по сравнению с носителями других генотипов. Крупный розатый скот с генотипом RR имеет более длительный срок продуктивного использования. Полученные результаты свидетельствуют о том, что аллель R гена лептина положительно влияет на рост и развитие животных холмогорской породы. Данные закономерности могут быть использованы для повышения эффективности селекционно-племенной работы.

Ключевые слова: лептин R25C, живая масса, частота встречаемости, холмогорская порода

ASSOCIATING LEPTIN GENE POLYMORPHISM (SITE R25C) WITH ECONOMICALLY USEFUL TRAITS

I.S. Kozhevnikova, PhD in Biological Sciences
N.A. Khudyakova, PhD in Agricultural Sciences
M.S. Kalmykova, Junior Researcher
A.S. Kashin, Junior Researcher
FECIAR UrB RAS, Arkhangelsk, Russia
 E-mail: labinnovrazv@yandex.ru

* Статья подготовлена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (гос. № темы FUUW-2024-0006; № гос. регистрации темы – 124041000016-1). / The article was prepared as part of the state assignment of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences “Molecular genetic assessment of farm animals by breeding and economically useful characteristics in the Arctic and subarctic territories of the Russian Federation” (state. Topic No. FUUW-2024-0006; 124041000016-1).

Abstract. The establishment of the influence of genetic factors on economically useful traits is important for breeding and increasing the productivity of farm animals. The aim of the study was to establish a relationship between the polymorphism of the leptin gene (site R25C) with milk productivity and with live weight indicators during the growth and development of cows of the Kholmogorsky breed. The study was conducted on the breeding stock of cattle in JSC Kholmogorsky Stud Farm. The analysis of the frequency of occurrence of single nucleotide polymorphism R25C genotypes in Kholmogorsky cows showed the predominance of the heterozygous RC genotype (57.14%), while the frequency of the C allele was 0.62, and the R allele was 0.38. The results of the study of the effect of leptin gene polymorphism (site R25C) on milk productivity and on the development of live weight in different age periods of Kholmogorsky cows were also obtained. Statistical analysis (the Kraskel-Wallis criterion, the Mann-Whitney U-criterion) did not reveal a significant effect of the single nucleotide polymorphism R25C on milk productivity. Live weight analysis showed that animals with the RR genotype were characterized by significantly higher live weight at birth, at 18 months and at first insemination compared with carriers of other genotypes. In addition, cattle with the RR genotype have a longer period of productive use. The results obtained indicate that the R allele of the leptin gene has a positive effect on the growth and development of animals of the Kholmogorsky breed. The revealed patterns can be used to increase the efficiency of breeding work.

Keywords: leptin R25C, live weight, frequency of occurrence, Kholmogorsky breed

Гормон лептин играет главную роль в различных физиологических процессах, включая регуляцию аппетита, метаболизма, контроль массы тела, репродукцию и функционирование иммунной системы. У крупного рогатого скота ген LEP состоит из трех экзонов и двух интронов, занимая примерно 18,9 Кб. [8] Существует гипотеза, что точечные мутации в нуклеотидной последовательности этого гена могут модулировать функцию гормона лептина в контроле энергетического баланса. Нарушение энергетического обмена негативно влияет на продуктивность скота, потребление корма, накопление жировой ткани. Одну из точечных мутаций во втором экзоне гена лептина (LEP) — однонуклеотидный полиморфизм R25C, связанный с удоем, содержанием молочного белка, накоплением жировых отложений, можно рассматривать как перспективную альтернативу полиморфизмам гена β -казеина (CSN) — популярным объектам маркер-опосредованной селекции, результатом которой становится крупный рогатый скот, производящий молоко, долгосрочное потребление которого приводит к необратимой дисрегуляции многих физиологических процессов конечного потребителя. [4, 9, 11]

Цель работы — установить связь полиморфизма гена лептина (сайт R25C) с молочной продуктивностью и показателями живой массы в различные периоды роста и развития коров холмогорской породы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовали маточное поголовье КРС холмогорской породы, содержащееся в АО «Холмогорский Племязавод» (n= 322). Кровь отбирали в вакуумные пробирки с КЗ ЭДТА. Экстракцию ДНК проводили при помощи набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ» (ручная методика экстракции с центрифугированием).

Полиморфизм гена лептина определяли методом ПЦР-ПДРФ. Амплификацию ДНК осуществляли, ис-

пользуя набор для проведения ПЦР с HS-Taq (+MgCl₂) (ООО «Биолабмикс», Россия). Целевую последовательность лептина амплифицировали с применением прямого праймера (5'-CCAGGGAGTGCCTTTTCATTA-3') и обратного (5'-GGTGTATCCTGGACCTTCC-3'). В таблице 1 представлен протокол температурных режимов циклов ПЦР.

Рестрикция проходила в присутствии эндонуклеазы Bsp13I (ООО «СибЭнзайм», Россия). Затем смесь инкубировали при 50°C в течение 19 ч. Для определения длин фрагментов ДНК, полученных в ходе рестрикции, осуществляли электрофоретическое разделение в 2%-м агарозном геле.

Связь между однонуклеотидным полиморфизмом R25C и хозяйственно полезными признаками оценивали статистическими методами. Полученные данные анализировали на предмет соответствия нормальному или ненормальному распределению. При ненормальном количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и квартилей (Q1-Q3). Для сравнения всех групп использовали критерий Краскела-Уоллиса. Парные сравнения выполняли, применяя U-критерий Манна-Уитни с поправкой Бенджамини-Хохберга. Статистически значимыми считали различия между группами, где $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовали частоту встречаемости гена LEP-R25C у коров холмогорской породы в стаде АО «Холмогорский племязавод» (табл. 2).

Анализ результатов тестирования выявил: генотип RR имеют 9,32% (30 гол.), RC — 57,14% (184 гол.), CC — 33,54% (108 гол.). Частота аллеля R составила 0,38, C — 0,62.

Определение генетического равновесия по закону Харди-Вайнберга с помощью критерия χ^2 показало смещение генетического равновесия в сторону аллеля C.

Преобладание аллеля C наблюдается и в некоторых других отечественных породах. Например, выявлено значительное доминирование аллеля C гена лептина, частота его встречаемости у коров красной степной породы — 0,80, голштинской — (0,56). [1, 6]

Доминирование аллеля установлено в голштинской, англеской, джерсейской и симментальской породах, только в айрширской преобладал аллель R. [2]

Был проведен анализ влияния однонуклеотидного полиморфизма R25C на молочную продуктивность КРС по последней законченной лактации у 322 животных, в том числе у 88 первотелок (табл. 3).

Значимых различий в показателях удоя, содержания жира и белка в молоке у животных с различными

Таблица 1.
Процедура амплификации с горячим стартом

Стадия	Температура, °C	Время инкубации	Количество циклов
Предварительная денатурация	94	2 мин.	1
Денатурация	94	20 с	29
Отжиг	62	20 с	
Элонгация	72	30 с	
Финальная элонгация	72	5 мин.	1

Таблица 2.

Частота встречаемости генотипов гена лептина у коров холмогорской породы

Количество голов, n	Тип распределения	RR		RC		CC		Частота аллелей		χ^2
		n	%	n	%	n	%	R	C	
322	Наблюдаемое	30	9,32	184	57,14	108	33,54	0,38	0,62	14,76
	Ожидаемое	46	14,36	152	47,07	124	38,58			

Таблица 3.

Влияние однонуклеотидного полиморфизма R25C на молочную продуктивность скота, Ме (Q1;Q3)

Показатель	Генотип							
	Итого (n=322)				1 лактация (n=88)			
	RR (n=30)	RC (n=184)	CC (n=108)	p	RR (n=5)	RC (n=45)	CC (n=38)	p
Удой, кг	7493 (6508; 7972)	7207 (6220; 7915)	7262 (6561; 8006)	0,636	6242 (5737; 6926)	6499 (5880; 7415)	6889 (6056; 7456)	0,482
Жир, %	3,69 (3,24; 4,39)	3,79 (3,46; 4,20)	3,72 (3,42; 4,09)	0,633	3,68 (3,11; 4,42)	3,68 (3,44; 4,00)	3,80 (3,48; 3,94)	0,900
Белок, %	3,27 (3,16; 3,34)	3,27 (3,17; 3,42)	3,25 (3,13; 3,39)	0,520	3,25 (2,99; 3,55)	3,30 (3,13; 3,45)	3,27 (3,16; 3,38)	0,664

генотипами гена лептина не выявили. Критерий Краскала-Уоллиса показал, что полиморфизм R25C не оказывает достоверного влияния на молочную продуктивность у коров холмогорской породы, $p > 0,05$ во всех исследуемых группах.

Многие исследователи отмечают корреляцию между молочной продуктивностью и живой массой КРС из-за физиологических особенностей, позволяющих эффективнее усваивать и трансформировать питательные вещества в молоко. Но по достижению животного определенной массы повышение молочной продуктивности останавливается. [3, 5]

Учитывая, что однонуклеотидный полиморфизм R25C в работах других ученых показал высокую степень связи с ростом и увеличением живой массы тела, мы провели статистический анализ развития животных в разные возрастные периоды их жизни (табл. 4).

Коровы с генотипом RR имели наибольшую среднюю живую массу. Между группами особей с генотипом RC и CC существенных различий не выявлено. КРС в 18-месячном возрасте с генотипом RR достоверно отличался по живой массе от коров с генотипом CC. Наиболее высокое среднее значение живой массы составило 360 кг.

Есть данные, что крупный рогатый скот смешанной породы (европейское или британское происхождение), гомозиготный по аллелю R, имеет более высокую убойную массу. [7, 10] Наибольшая толщина подкожного жира у животных, гомозиготных по аллелю R. Однако живая масса выше у особей с генотипами RC и CC. [12]

Анализ живой массы коров при первом осеменении выявил достоверные различия между группами (табл. 5).

Животным с гетерозиготным генотипом RR (n=30) свойственна наибольшая средняя живая масса (366 кг). Статистически значимые отличия также наблюдали у особей с генотипами RC (n=184, 362 кг) и CC (n=108, 354 кг). Коровы с генотипом RR обладают максимальной живой массой при первом осеменении и достигают ее в возрасте 18 мес., имеют более длительный срок хозяйственного использования, по сравнению с другими генотипами.

Выводы. Установлено, что в стаде коров холмогорской породы АО «Холмогорский племязавод» преобладает аллель C гена лептина. Распределение генотипов по данному локусу характеризуется доминированием гетерозиготного генотипа RC.

Анализ влияния полиморфизма R25C гена лептина на живую массу показал, что коровы с генотипом

Таблица 4.

Показатели живой массы в разные возрастные периоды в зависимости от генотипов гена LEP (сайт R25C), Ме (Q1;Q3)

Генотип	n	Живая масса, кг				
		при рождении	6 мес.	10 мес.	12 мес.	18 мес.
RR	30	38 (35; 40)	145 (130; 171)	216 (205; 257)	254 (233; 290)	360 (333; 392)*
RC	184	38 (34; 40)	147 (133; 163)	215 (198; 245)	253 (228; 281)	350 (327; 375)*
CC	108	38 (35; 40)	148 (135; 158)	215 (199; 240)	243 (223; 269)	340 (311; 369)*

Примечание. * — различия достоверны при $P < 0,05$. То же в табл. 5.

Таблица 5.

Показатели живой массы и возраста коров в зависимости от генотипов гена LEP (сайт R25C), Ме (Q1;Q3)

Генотип	n	Живая масса при первом осеменении, кг	Возраст при первом осеменении, мес.	Возраст, мес.	Возраст, от.
RR	30	366 (347; 382)*	18 (17; 21)	80 (56; 91)	5 (3; 5)
RC	184	362 (341; 380)*	19 (17; 20)	58 (47; 73)	3 (2; 4)
CC	108	354 (337; 371)*	19 (18; 20)	57 (47; 68)	3 (2; 4)

RR имели достоверно более высокий показатель при рождении, в 18-месячном возрасте при первом осеменении, по сравнению с животными, несущими другие генотипы.

Таким образом, аллель R гена лептина положительно влияет на рост и развитие животных *холмогорской* породы. Данные закономерности могут быть использованы для повышения эффективности селекционно-племенной работы в скотоводстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В., Шахназарова Ю.Ю. Связь полиморфизма локусов R25C и A80V гена лептина с хозяйственно-ценными признаками у крупного рогатого скота голштинской породы // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2017. № 3.
2. Ковалюк, Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В. Возможности улучшения айрширской породы прилитием крови других пород с позиции полиморфизма гена лептина // Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 5. С. 28–30.
3. Кузякина Л.И. Влияние живой массы на молочную продуктивность и воспроизводительные функции коров-первотелок // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2022. № 25-2. С. 94–102.
4. Погодаев, С.Ф., Гаджиев А.М. Живая масса коров определяет потенциал удоев // Зоотехния. 2001. № 1. С. 29–31.
5. Чижова Л.Н., Кононова Л.В., Шарко Г.Н., Ковалёва Г.П. Полиморфизм гена лептина у коров молочного направления продуктивности // Сельскохозяйственный журнал. 2017. № 10. С. 113–117
6. Buchanan F.C., Fitzsimmons C.J., Van Kessel A.G. et al. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels // Genet Sel Evolution. 2002. Vol. 34(1). PP. 105–16
7. Ghoneim M.A., Ogaly H.A., Gouda E.M., El-Behairy A.M. Prediction of desirable genotype patterns in Baladi beef cattle and water buffalo by identification of new leptin gene SNPs // Livestock Science. 2016. Vol. 194. PP. 51–56
8. Hilmia N. et al. Single Nucleotide Polymorphism on Exon 2 Leptin Gene of Pasundan Cattle // Earth Environ. 2019.
9. Kononoff P.J., Deobald H.M., Stewart E.L. et al. The effect of a leptin single nucleotide polymorphism on quality grade, yield grade, and carcass weight of beef cattle // Journal of Animal Science. 2005. Vol. 83(4). PP. 927–932.
10. Radwell Laine T. Investigating the role of host genetics and genomics in beef cow efficiency: Thesis. 2023. PP. 131.

11. Woronuk G.N., Marquess F.L., James S.T. et al. Association of leptin genotypes with beef cattle characteristics // Anim Genet. 2012. Vol. 43(5). PP. 608–610.

REFERENCES

1. Kovalyuk N.V., Sacuk V.F., Machul'skaya E.V., Shahnazarova Yu.Yu. Svyaz' polimorfizma lokusov R25C i A80V gena leptina s hoz'yajstvenno-cennymi priznakami u krupnogo rogatogo skota golshtinskoj porody // Sbornik nauchnyh trudov SKNIIZh. 2017. № 3.
2. Kovalyuk, N.V., Sacuk V.F., Machul'skaya E.V. Vozmozhnosti uluchsheniya ajrshirskoj porody prilitiem krvi drugih porod s pozicii polimorfizma gena leptina // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2015. № 5. S. 28–30.
3. Kuzyakina L.I. Vliyaniye zhivoj massy na molochnyuyu produktivnost' i vosproizvoditel'nye funkcii korov-pervotelok // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2022. № 25-2. S. 94–102.
4. Pogodaev, S.F., Gadzhiev A.M. Zhivaya massa korov opredelyaet potencial udoev // Zootekhniya. 2001. № 1. S. 29–31.
5. Chizhova L.N., Kononova L.V., Sharco G.N., Kovalyova G.P. Polimorfizm gena leptina u korov molochnogo napravleniya produktivnosti // Sel'skohozyajstvennyj zhurnal. 2017. № 10. S. 113–117
6. Buchanan F.C., Fitzsimmons C.J., Van Kessel A.G. et al. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels // Genet Sel Evolution. 2002. Vol. 34(1). PP. 105–16
7. Ghoneim M.A., Ogaly H.A., Gouda E.M., El-Behairy A.M. Prediction of desirable genotype patterns in Baladi beef cattle and water buffalo by identification of new leptin gene SNPs // Livestock Science. 2016. Vol. 194. PP. 51–56
8. Hilmia N. et al. Single Nucleotide Polymorphism on Exon 2 Leptin Gene of Pasundan Cattle // Earth Environ. 2019.
9. Kononoff P.J., Deobald H.M., Stewart E.L. et al. The effect of a leptin single nucleotide polymorphism on quality grade, yield grade, and carcass weight of beef cattle // Journal of Animal Science. 2005. Vol. 83(4). PP. 927–932.
10. Radwell Laine T. Investigating the role of host genetics and genomics in beef cow efficiency: Thesis. 2023. PP. 131.
11. Woronuk G.N., Marquess F.L., James S.T. et al. Association of leptin genotypes with beef cattle characteristics // Anim Genet. 2012. Vol. 43(5). PP. 608–610.

Поступила в редакцию 27.11.2024

Принята к публикации 11.12.2024

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИОКОНСЕРВАЦИИ СПЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ*

Марина Николаевна Иващенко^{1,2}, кандидат биологических наук

Анна Вячеславовна Дерюгина¹, доктор биологических наук

Андрей Александрович Белов^{1,2}, кандидат биологических наук

Михаил Иванович Латушко³, кандидат технических наук

Павел Сергеевич Игнатьев³, кандидат физико-математических наук

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л.Я. Флорентьева», г. Нижний Новгород, Россия

³Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kafedra2577@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние молекулярного водорода на функциональные показатели сперматозоидов крупного рогатого скота (подвижность, содержание АТФ, окислительные процессы, жизнеспособность, морфология акросомы). Сперму быков черно-пестрой породы разбавляли стерильной средой BioXcell. Для анализа действия молекулярного водорода на сперматозоиды его добавляли в BioXcell. Показатели изучали в нативной сперме, разбавленной средой BioXcell, в сперме после глубокой заморозки, а также в сперме, подвергнутой глубокой заморозке и предварительной обработке молекулярным водородом. Добавление молекулярного водорода в среду для разбавления спермы способствовало росту подвижности клеток, усилению энергетического обмена и снижению оксидативного стресса в сперматозоидах. Доказана необходимость углубленного изучения влияния молекулярного водорода на качественные характеристики сперматозоидов крупного рогатого скота и уточнения на этой основе существующих технологических регламентов консервации семени.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, молекулярный водород, сперматозоиды, криоконсервация, АТФ, подвижность, окислительный стресс

IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF CRYOPRESERVATION OF CATTLE SPERM WITH MOLECULAR HYDROGEN

M.N. Ivashchenko^{1,2}, PhD in Biological Sciences

A.V. Deryugina¹, Grand PhD in Biological Sciences

A.A. Belov^{1,2}, PhD in Biological Sciences

M.I. Latushko³, PhD in Technical Sciences

P.S. Ignatiev³, PhD in Physical and Mathematical Sciences

¹National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia

²Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.I. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russia

³Production Association "Ural Optical and Mechanical Plant" named after E.S. Yalamov, Yekaterinburg, Russia
E-mail: kafedra2577@mail.ru

Abstract. The effect of molecular hydrogen on the functional parameters of bovine sperm cells has been studied. The influence of molecular hydrogen on motility, ATP content, oxidative processes, viability and morphology of the acrosome in bull spermatozoa has been studied. The study was performed on sperm production of black-and-white cattle. The sperm was diluted with a sterile BioXcell medium (France). To analyze the effect of molecular hydrogen on bull spermatozoa, molecular hydrogen was added to the BioXcell medium. The analyzed parameters were studied in native sperm diluted with BioXcell medium, in sperm after deep freezing, as well as sperm subjected to deep freezing and pretreatment with molecular hydrogen. The addition of molecular hydrogen to the medium for diluting sperm contributed to an increase in cell mobility, increased energy metabolism and reduced oxidative stress of spermatozoa. The results obtained showed the need for an in-depth study of the effect of molecular hydrogen on the qualitative characteristics of sperm in cattle and, on this basis, to clarify the existing technological regulations for seed conservation.

Keywords: cattle, molecular hydrogen, spermatozoa, cryopreservation, ATP, mobility, oxidative stress

Криоконсервация продолжает оставаться одним из наиболее перспективных методов длительного хранения спермы генетически улучшенных и исчезающих видов животных. Данный метод способствует широкому распространению генетического разнообразия и вносит значительный вклад в развитие репродуктивных технологий. [9, 10, 15]

Однако криоконсервация негативно влияет на физиологические характеристики сперматозоидов. Процесс заморозки и оттаивания спермы приводит к повреждению клеток и снижению качества эякулята. Межвидовые различия в размере, форме и составе липидных и белковых компонентов мембраны сперматозоидов свидетельствуют о том, что существую-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00205 / The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-26-00205.

шие методы недостаточно эффективны. Доказано, что сперматозоиды сельскохозяйственных животных наиболее чувствительны к криоконсервации. [12]

Технология криоконсервации спермы быков обеспечивает выживаемость приблизительно 40...50% сперматозоидов после размораживания. [3, 10] Есть данные о том, что окислительный стресс, возникающий в ходе замораживания и оттаивания спермиев — ведущий фактор в снижении их фертильности. Известно, что плазматическая мембрана половых клеток помогает взаимодействию между сперматозоидом и яйцеклеткой. Для крупного рогатого скота в мембране гамет характерно повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот, по сравнению с насыщенными, что делает ее уязвимой к повреждениям и перекисному окислению липидов. В результате активации свободнорадикальных процессов изменяется конфигурация структурных компонентов мембран, что приводит к ухудшению качества размороженных сперматозоидов, снижению их жизнеспособности и подвижности после размораживания. [17] Для высокой фертильности сперматозоидов необходимым фактором считается и структурно-функциональная целостность акросомы. Активные формы кислорода могут повредить акросомный слой сперматозоидов, что ухудшает их способность проникать через блестящую оболочку яйцеклетки. [12]

Совершенствование протоколов криоконсервации спермы крупного рогатого скота позволило бы преодолеть множество проблем, связанных со снижением качества размороженной спермы.

Эффективный ингибитор свободнорадикальных процессов — молекулярный водород. Он обладает преимуществами перед другими антиоксидантами. Это обусловлено его селективным действием на активные формы кислорода, которые в низких концентрациях регулируют процессы апоптоза и дифференцировки клеток. Соответственно, необоснованное использование высоких доз антиоксидантов может нарушить вышеупомянутые процессы. Молекулярный водород, в отличие от других антиоксидантов, преодолевает клеточные мембраны и проникает в органоиды клетки. Ни в одном из исследований не сообщается о его токсических эффектах. [11, 13, 14, 19]

Цель работы — оптимизация процесса криоконсервации спермы быков путем введения в среду для ее разбавления молекулярного водорода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили *in vitro* на кафедре физиологии, биохимии животных и акушерства Нижегородского государственного агротехнологического университета имени Л.Я. Флорентьева и в лаборатории ООО «Нижегородское» по племенной работе.

Объект изучения — сперма *черно-пестрых голшти-низированных* быков. Сбор спермы осуществляли в соответствии с национальными стандартами криоконсервации и применения генетического материала племенных производителей. [4] Использовали около 50 эякулятов быков в возрасте трех лет. Отбирали семя с подвижностью сперматозоидов более 7 баллов.

Для анализа воздействия молекулярного водорода на сперматозоиды эякулят смешивали со средой для разбавления спермы BioXcell. В качестве криопротектора в состав BioXcell добавляли молекулярный водород в концентрации 1,2 мг/л. Получали молекулярный водород с помощью установки Бозон-Н-Н₂/O₃.

Замораживали сперму в открытых гранулах по 0,2 мл в соответствии с ГОСТом 26030-2015 в течение 7,5 мин. до температуры минус 145°C, затем контейнеры с образцами помещали в жидкий азот (минус 196°C).

После криоконсервации сперматозоиды отделяли от семенной плазмы центрифугированием при 400 g в течение 10 мин., надосадочную жидкость сливали. Осадок суспендировали в 1 мл физиологического раствора. Лизис сперматозоидов проводили трехкратным замораживанием/оттаиванием. Затем образцы центрифугировали при 2500 g — 5 мин.

Каждый образец эякулята делили на три пробы: первая (контроль) — сперма нативная, разбавленная BioXcell; вторая — после глубокой заморозки, предварительно разбавленная BioXcell; третья — после глубокой заморозки, предварительно обработанная молекулярным водородом и разбавленная BioXcell.

В сперматозоидах оценивали АТФ по методу И.Л. Виногодовой с соавторами, концентрацию малонового

Влияние молекулярного водорода и криоконсервации на морфофункциональные показатели сперматозоидов быков, (M ± m)

Показатель	Нативные сперматозоиды, контроль	Сперматозоиды	
		после криоконсервации	воздействия молекулярным водородом и криоконсервации
Подвижность, %	82,51 ± 5,95	71,15 ± 4,34*	79,62 ± 3,60* ^Δ
Содержание АТФ, мкмоль/л	0,79 ± 0,09	0,28 ± 0,05*	0,47 ± 0,04* ^Δ
Присутствие акросомы	99,57 ± 4,53	89,57 ± 5,13*	94,23 ± 4,48
Нормальное положение акросомы	97,32 ± 3,41	91,24 ± 2,39*	94,54 ± 3,25
Нормальная форма акросомы	90,24 ± 2,24	81,36 ± 2,19*	86,44 ± 3,12
Компактное содержимое акросомы	85,33 ± 3,37	74,32 ± 3,37	75,44 ± 3,23
МДА, нМоль/мл	0,61 ± 0,32	0,85 ± 0,14*	0,56 ± 0,08* ^Δ
Содержание ДК, ед.опт.пл/мг	0,24 ± 0,04	0,40 ± 0,08*	0,19 ± 0,03 ^Δ
Содержание ТК, ед.опт.пл/мг	0,58 ± 0,24	0,88 ± 0,11*	0,27 ± 0,05* ^Δ
Содержание ОШ, ед. опт. пл/мг	50,17 ± 4,87	61,21 ± 2,46	50,50 ± 7,02
НOS-тест	93,9 ± 3,03	79,9 ± 5,32*	84,9 ± 2,88*

Примечание: * — статистически значимые различия по отношению к контролю, p ≤ 0,05; ^Δ — статистически значимые различия между группами после криоконсервации, p ≤ 0,05.

дигидроксиацетона (МДА), содержание диеновых конъюгатов, триеновых конъюгатов, оснований Шиффа. [1, 2, 7] Подвижность сперматозоидов определяли с помощью спермоанализатора SA-500 фирмы «Биола» (Россия).

Ультраструктуру сперматозоидов устанавливали электронно-микроскопическим исследованием. Эякулят фиксировали 2,5% раствором глutarового альдегида и 1% осмиевой кислотой, заливали в эпоксидную смолу. Ультратонкие срезы просматривали через электронный микроскоп Hitachi SU8220 (Япония), анализировали положения и формы акросомы.

Жизнеспособность сперматозоидов оценивали с помощью теста на гипоосмотическое набухание (HOS-тест). Все формы набухания жгутика подсчитывали как живые сперматозоиды. Число набухших клеток на 100 исследуемых сперматозоидов выражали в процентах.

Результаты обрабатывали по параметрическому t-критерию Стьюдента, используя программу Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После замораживания и оттаивания подвижность сперматозоидов уменьшилась на 13,77%, по сравнению с контрольной группой клеток. После криоконсервации значительно увеличилось перекисное окисление липидов, что свидетельствует о развитии окислительного стресса (см. таблицу). Уровень малонового диальдегида в исследуемых образцах был выше на 30%, содержание диеновых и триеновых конъюгатов — 67 и 52% соответственно, по сравнению с нативными образцами ($p \leq 0,05$). После замораживания/оттаивания в сперматозоидах зафиксировано снижение уровня АТФ на 64,56%, по сравнению с контролем.

Микроскопическое исследование структуры акросомы после криоконсервации выявило изменение ее положения и формы, наблюдалось ее набухание. Жизнеспособность сперматозоидов, определенная с помощью HOS-теста, в результате замораживания и оттаивания уменьшилась на 14,91% относительно интактных клеток.

Подтверждено, что при замораживании спермы быков в сперматозоидах усиливаются процессы свободнорадикального окисления, снижается фертильность и интенсивность биохимических процессов, связанных с выработкой энергии.

Добавление молекулярного водорода в среду для разбавления спермы и последующая заморозка изменяли функциональный статус клеток после оттаивания, подвижность сперматозоидов увеличилась на 12%, концентрация АТФ — 67,86% относительно спермиев, не подвергшихся воздействию молекулярного водорода ($p \leq 0,05$).

После криоконсервации спермиев с молекулярным водородом отмечено выраженное изменение интенсивности свободнорадикальных процессов, снижение уровня МДА, ДК, ТК на 34,12%, 52,5, 69,32% соответственно, относительно группы клеток, которые подвергались криоконсервации в среде без молекулярного водорода.

Проведенные нами исследования доказывают, что молекулярный водород достоверно лучше ($p \leq 0,05$) защищает спермий от негативного воздействия ультранизких температур. Добавление молекулярного водорода в состав разбавителя спермы улучшает био-

логические показатели ее качества, фертильность, повышает энергетический метаболизм сперматозоидов.

При криоконсервации в сперматозоидах накапливаются супероксидные радикалы — предшественники высокоактивных гидроксильных радикалов, как наиболее реакционноспособных молекул из-за наличия неспаренного электрона. [5, 8] Образовавшиеся активные формы кислорода приводят к повреждению ДНК, белков, липидов, развитию окислительного стресса и снижению функциональных показателей спермиев.

Можно предположить, что положительное воздействие молекулярного водорода на функциональные характеристики сперматозоидов связано с его антиоксидантными свойствами. Доказано, что он предупреждает образование супероксидного анион-радикала, селективно восстанавливает гидроксильный радикал, стимулирует активность антиоксидантных ферментов, модулирует сигнальную трансдукцию в клетках. [6, 16, 18, 20–22]

Таким образом, добавление молекулярного водорода в среду для замораживания спермы быков повышает биологическую полноценность сперматозоидов. Необходимо продолжать изучение влияния молекулярного водорода на качественные характеристики сперматозоидов у крупного рогатого скота и уточнять существующие технологические регламенты консервации семени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградова И.Л. Метод одновременного определения 2,3 ДФГ и АТФ в эритроцитах // Лабораторное дело. 1980. № 7. С. 424–426.
2. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
3. Дерюгина А.В., Ивашенко М.Н., Лодяной М.С. Оценка резистентности мембран сперматозоидов быков в процессе долгосрочного хранения // Естественные и технические науки. 2022. Т. 1 (164). С. 107–109.
4. Национальная технология замораживания и использования спермы племенных быков-производителей / под ред. А.И. Абилова, Н.М. Решетниковой. М.: 2008. 160 с.
5. Пискарев И.М., Иванова И.П., Самоделькин А.Г., Ивашенко М.Н. Инициирование и исследование свободнорадикальных процессов в биологических экспериментах. Нижний Новгород, 2016. 106 с.
6. Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Михайлова Р.И. Молекулярный водород: биологическое действие, возможности применения в здравоохранении (обзор) // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 4. С. 359–365.
7. Хышиктуев Б.С., Хышиктуева Н.А., Иванов В.Н. Методы определения продуктов перекисного окисления липидов в конденсате выдыхаемого воздуха и их клиническое значение // Клиническая лабораторная диагностика. 1996. № 3. С. 13–15.
8. Aitken R., Gibb Z., Mitchell L. et al. Sperm motility is lost in vitro as a consequence of mitochondrial free radical production and the generation of electrophilic aldehydes but can be significantly rescued by the presence of nucleophilic thiols // Biol Reprod. 2012. V. 87(5). PP. 110. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.102020>
9. Bailey J.L., Bilodeau J.F., Cormier N. Semen cryopreservation in domestic animals: a damaging and capacitating phenomenon // J. Androl. 2000. V. 21. PP. 1–7. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.2000.tb03268.x>

10. Bailey J., Morrier A., Cormier N. Semen cryopreservation: successes and persistent problems in farm species // *Can J. Anim Sci.* 2003. V. 83. PP. 393–401. <https://doi.org/10.4141/A03-024>
11. Bjelakovic G., Nikolova D., Gluud L. et al. Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2012. V. 3. CD007176.
12. Grötter L.G., Cattaneo L., Estela P. et al. Recent advances in bovine sperm cryopreservation techniques with a focus on sperm post-thaw quality optimization // *Reprod Domest Anim.* 2019. V. 54. P. 655–665. <https://doi.org/10.1111/rda.13409>
13. Finkel T., Holbrook N. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing // *Nature.* 2000. V. 408 (6809). PP. 239–247.
14. Kimura H. Hydrogen sulfide: from brain to gut // *Antioxid. Redox Signal.* 2010. V. 12 (9). PP. 1111–1123.
15. Kumar A., Prasad J.K., Srivastava N., Ghosh S.K. Strategies to minimize various stress-related freeze-thaw damages during conventional cryopreservation of mammalian spermatozoa // *Biopreserv Biobank.* 2019. V. 17. P. 603–612. <https://doi.org/10.1089/bio.2019.0037>
16. Liu G.-D., Zhang H., Wang L. Molecular hydrogen regulates the expression of miR-9, miR-21 and miR-199 in LPS-activated retinal microglia cells // *Int. J. Ophthalmol.* 2013. V. 6. № 3. PP. 280–285.
17. McQueen D.B., Zhang J., Robins J.C. Sperm DNA fragmentation and recurrent pregnancy loss: A systematic review and meta-analysis // *Fertil. Steril.* 2019. № 112. PP. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.03.003>
18. Sato Y., Kajiyama S., Amano A. Hydrogen-rich pure water prevents superoxide formation in brain slices of vitamin C-dependent SMP30/GNL knockout mice // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2008. V. 375. № 3. PP. 346–350.
19. Smith R., Murphy M. Mitochondria-targeted antioxidants as therapies // *Discov. Med.* 2011. V. 11 (57). PP. 106–114.
20. Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals // *Nat. Med.* 2007. V. 13. № 6. PP. 688–694.
21. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine // *Pharmacol. Ther.* 2014. V. 144. № 1. PP. 1–11.
22. Xie K., Yu Y., Pei Y., Hou L. Protective effects of hydrogen gas on murine polymicrobial sepsis via reducing oxidative stress and HMGB1 release // *Shock.* 2010. V. 34. № 1. PP. 90–97.
1. Vinogradova I.L. Metod odnovernennogo opredeleniya 2,3 DFG i ATF v eritrocitah // *Laboratornoe delo.* 1980. № 7. S. 424–426.
2. Vladimirov Yu.A., Archakov A.I. Perekisnoe okislenie lipidov v biologicheskikh membranah. M.: Nauka, 1972. 252 s.
3. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Lodyanov M.S. Ocenka rezistentnosti membran spermatozoidov bykov v processe dolgochnogo hraneniya // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki.* 2022. T. 1 (164). S. 107–109.
4. Nacional'naya tekhnologiya zamorazhivaniya i ispol'zovaniya spermy plemennykh bykov-proizvoditelej / pod red. A.I. Abilova, N.M. Reshetnikovoj. M.: 2008. 160 s.
5. Piskarev I.M., Ivanova I.P., Samodelkin A.G., Ivashchenko M.N. Initsirovanie i issledovanie svobodno-radikal'nykh processov v biologicheskikh eksperimentah. Nizhnij Novgorod, 2016. 106 s.
6. Rahmanin Yu.A., Egorova N.A., Mihajlova R.I. Molekulyarnyj vodorod: biologicheskoe dejstvie, vozmozhnosti primeneniya v zdravoohraneni (obzor) // *Gigiena i sanitariya.* 2019. T. 98. № 4. S. 359–365.
7. Hyshikuev B.S., Hyshikueva N.A., Ivanov V.N. Metody opredeleniya produktov perekisnogo okisleniya lipidov v kondensate vydyhaemogo vozduha i ih klinicheskoe znachenie // *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika.* 1996. № 3. S. 13–15.
8. Aitken R., Gibb Z., Mitchell L. et al. Sperm motility is lost in vitro as a consequence of mitochondrial free radical production and the generation of electrophilic aldehydes but can be significantly rescued by the presence of nucleophilic thiols // *Biol Reprod.* 2012. V. 87(5). PP. 110. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.102020>
9. Bailey J.L., Bilodeau J.F., Cormier N. Semen cryopreservation in domestic animals: a damaging and capacitating phenomenon // *J. Androl.* 2000. V. 21. PP. 1–7. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.2000.tb03268.x>
10. Bailey J., Morrier A., Cormier N. Semen cryopreservation: successes and persistent problems in farm species // *Can J. Anim Sci.* 2003. V. 83. PP. 393–401. <https://doi.org/10.4141/A03-024>
11. Bjelakovic G., Nikolova D., Gluud L. et al. Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2012. V. 3. CD007176.
12. Grötter L.G., Cattaneo L., Estela P. et al. Recent advances in bovine sperm cryopreservation techniques with a focus on sperm post-thaw quality optimization // *Reprod Domest Anim.* 2019. V. 54. P. 655–665. <https://doi.org/10.1111/rda.13409>
13. Finkel T., Holbrook N. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing // *Nature.* 2000. V. 408 (6809). PP. 239–247.
14. Kimura H. Hydrogen sulfide: from brain to gut // *Antioxid. Redox Signal.* 2010. V. 12 (9). PP. 1111–1123.
15. Kumar A., Prasad J.K., Srivastava N., Ghosh S.K. Strategies to minimize various stress-related freeze-thaw damages during conventional cryopreservation of mammalian spermatozoa // *Biopreserv Biobank.* 2019. V. 17. P. 603–612. <https://doi.org/10.1089/bio.2019.0037>
16. Liu G.-D., Zhang H., Wang L. Molecular hydrogen regulates the expression of miR-9, miR-21 and miR-199 in LPS-activated retinal microglia cells // *Int. J. Ophthalmol.* 2013. V. 6. № 3. PP. 280–285.
17. McQueen D.B., Zhang J., Robins J.C. Sperm DNA fragmentation and recurrent pregnancy loss: A systematic review and meta-analysis // *Fertil. Steril.* 2019. № 112. PP. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.03.003>
18. Sato Y., Kajiyama S., Amano A. Hydrogen-rich pure water prevents superoxide formation in brain slices of vitamin C-dependent SMP30/GNL knockout mice // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2008. V. 375. № 3. PP. 346–350.
19. Smith R., Murphy M. Mitochondria-targeted antioxidants as therapies // *Discov. Med.* 2011. V. 11 (57). PP. 106–114.
20. Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals // *Nat. Med.* 2007. V. 13. № 6. PP. 688–694.
21. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine // *Pharmacol. Ther.* 2014. V. 144. № 1. PP. 1–11.
22. Xie K., Yu Y., Pei Y., Hou L. Protective effects of hydrogen gas on murine polymicrobial sepsis via reducing oxidative stress and HMGB1 release // *Shock.* 2010. V. 34. № 1. PP. 90–97.

Поступила в редакцию 03.12.2024
Принята к публикации 17.12.2024

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ КОРОВ

Наталья Федоровна Ключникова, доктор сельскохозяйственных наук
Михаил Тихонович Ключников, кандидат сельскохозяйственных наук
Елена Михайловна Ключникова

ФГБУН Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук
Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, с. Восточное, Хабаровский край, Россия
E-mail: nauka1952@mail.ru

Аннотация. За последние шесть десятилетий в молочном скотоводстве дальневосточного региона произошли существенные изменения в технологии ведения отрасли — от ручного труда до полностью механизированных и даже компьютеризованных ферм. Обновился породный состав, исчезли холмогорская и сычевская породы, сократилось поголовье симменталов. Вместо них стали завозить животных голштинской породы. Возросла молочная продуктивность с 1600 до 5000 кг молока за лактацию. Однако неизменным остается неравномерное распределение отелов по сезонам года. Более 60% из них проходит в зимне-весенний период, что экономически и технологически неоправданно. Результаты анализа первичного зоотехнического учета за несколько лет на фермах Среднего Приамурья показали зависимость эффективности искусственного осеменения коров от времени наступления охоты после отела. Чем больше этот период, тем выше оплодотворяемость. Выявлено различие результатов осеменения от количества коров в охоте в течение суток. При летнем содержании скота на пастбище эта зависимость усиливается. Оказалось, что на половое поведение животных летом влияет температура и влажность воздуха, количество и длительность осадков.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, половая активность, количество коров в охоте, оплодотворяемость, сезон года, метеорологические факторы

SEASONAL VARIABILITY OF COWS REPRODUCTIVE CAPACITY

N.F. Kluchnikova, *Grand PhD in Agricultural Sciences*
M.T. Kluchnikov, *PhD in Agricultural Sciences*
E.M. Klyuchnikova

Federal State Budgetary Institution of Science Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences Far Eastern Agricultural Research Institute, Vostochnoye village, Khabarovsk Territory, Russia
E-mail: nauka1952@mail.ru

Abstract. For the last six decades the serious changes in dairy cattle breeding in the Far-Eastern region took place. These changes have occurred in the technology of this branch management — from manual labour to the completely mechanized and even computerized farms. The breed composition was updated significantly, the Kholmogor and Sychiev breeds disappeared, Simmental livestock decreased. Instead the animals of Holstein breed were imported. The dairy productivity increased from 1600 kg to 5000 kg of milk for lactation. However, the uneven distribution of calvings by year seasons remains unchanged. More than 60% of calvings take place during a winter-spring period, and it is unjustifiably from the point of view of economy and technology. The results of analysis of the primary zootechnical accounting for a number of years in the farms of the Middle Priamurye showed the dependence of artificial insemination of cows on the time of onset of oestrus after calving, and the longer this period is, the higher fertilization is. It was revealed the difference of the insemination results from number of cows in oestrus during the 24 hours. This dependence strengthens during the summer cattle maintenance on the pasture. It turned out that the temperature and the air humidity, quantity and duration of precipitation influence on the sexual behaviour of animals.

Keywords: cattle, sexual activity, number of cows in oestrus, fertilization, meteorological factors

Сезонность размножения следует рассматривать как приспособление организма к окружающей среде, выработанное в процессе эволюции. Рождение потомства приурочено к самому благоприятному времени года, при котором обилие пищи сочетается с комфортными климатическими условиями. Не составляет исключения и крупный рогатый скот. Имеются многочисленные исследования, показывающие наличие сезонности половой активности и оплодотворяемости у современных заводских пород. Сложный механизм адаптации организма к изменчивости внешней среды закреплен на генетическом уровне, он реагирует на внешние воздействия в соответствии с их силой, длительностью и природой фактора. [3, 4, 8–10] Сезон года значимо влияет на полноценность половых циклов у коров.

В штате Аризона у коров голштинской породы, которые телились и осеменялись в холодный сезон

(ноябрь — май), период от отела до охоты составил 27,6 дн., до оплодотворения — 67,8 дн., индекс осеменений — 1,1. Температура — один из наиболее важных микроклиматических факторов, изменения которого могут повлечь за собой серьезные нарушения в адаптационных механизмах животных. [1] Комфортный диапазон для них — 13...25°C. Критический уровень температуры воздуха для коров молочного направления продуктивности — 25...27°C. [5, 6] Последствия высокой температуры окружающей среды на организм коров в большей степени проявляются на их репродуктивной функции. Ее снижение выражается в уменьшении эффективности искусственного осеменения в три и более раз. Наибольшие негативные последствия воздействия теплового стресса прослеживаются у новотельных и высокопродуктивных животных. Оплодотворяемость коров в летние месяцы — менее 20%. Причина может быть

в повреждении яйцеклетки, из-за которого падает ее способность к оплодотворению или наступает гибель эмбриона в первую неделю жизни (в жаркий период года — до 37%). Экономический ущерб от бесплодия коров и телок значительно превышает потери, наносимые заболеваниями и падежом КРС молочного направления продуктивности. [5] В жару у 66,6% коров наблюдали ановуляторные половые циклы, зимой патологию отмечали у 7,6% из 3620 коров. [2, 7] Актуальна эта проблема и в условиях Хабаровского края.

Цель работы — изучить воспроизводительную способность коров, оплодотворяемость в первую охоту после отела, индекс осеменения, сервис-период, влияние на эти показатели метеофакторов (температура, влажность воздуха, осадки).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Источники информации — первичный зоотехнический учет (карточки племенных коров Форма-2 МОЛ, журналы искусственного осеменения, запуска и отелов коров и осемененных телок Форма-10 МОЛ), данные Хабаровской краевой метеослужбы и личные наблюдения.

Объект исследований — коровы *голландской* породы разного возраста с удоем от 1500 до 8000 кг молока за лактацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ первичного зоотехнического учета и статистической отчетности на молочных фермах Приморского и Хабаровского краев с 1965 года показывает устойчивую сезонность распределения отелов в течение года. Из 707474 учетных нами отелов коров и нетелей 63,34% прошли зимой и весной. Неравномер-

ное распределение отелов по сезонам и особенно по месяцам года создает значительные технологические и финансовые проблемы. Несмотря на это многолетняя традиция в организации воспроизводства стада в регионе не меняется. Как показали результаты последнего десятилетия внедрение компьютеризации и автоматизации на крупных фермах существенно не изменило сезонности воспроизводства стада и зависимости результатов искусственного осеменения от времени наступления охоты после отела. Не исключение молочные фермы с небольшим поголовьем скота и традиционной стойлово-пастбищной технологией содержания дойного стада. В таблице 1 приведены данные первичного зоотехнического учета результатов осеменения за пять лет, которые свидетельствуют о крайне неблагоприятной ситуации с воспроизводством стада. В первую охоту после отела стали стельными всего 39,4% коров. Этот показатель варьировал в зависимости от времени после отела. Оказалось, что в первый месяц оплодотворилось всего 1,4% животных всего поголовья, а более 20% остались яловыми из-за длительного отсутствия охоты.

Наличие проблем с воспроизводством подтверждают результаты 38630 осеменений коров без учета времени наступления охоты после отела. Оплодотворяемость составила в среднем — 37,4%, зимой — 41,4, весной — 37,8, летом — 38,0, осенью — 43,0%. Детальный анализ выявил зависимость результатов осеменения от ежедневного количества коров в охоте (табл. 2). Появление большого количества коров в охоте одновременно создает определенные трудности в проведении искусственного осеменения даже в физическом аспекте, особенно летом на пастбище.

Нельзя также исключать ошибки в определении охоты визуальным способом. Известно, что у животных случается так называемое групповое поведение или «ложная охота». Особенно ярко оно выражено в

Период от отела до первой охоты и оплодотворяемость коров

Таблица 1.

Количество дней от отела до осеменения	Осеменено		Оплодотворилось	
	коров	%	коров	%
до 30	138	7,4	26	18,8
31...60	765	40,9	267	34,9
61...91	589	31,5	272	46,2
91...120	225	12,0	101	44,9
более 120	153	8,2	71	46,4
Итого	1870	100	737	39,4

Количество коров в охоте и оплодотворяемость

Таблица 2.

Показатель		Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Коров в охоте, гол./дн.		7,1	6,5	6,5	7,0	6,8
Всего осеменено коров		592	475	207	392	1666
Оплодотворилось	коров	205	145	60	141	551
	%	34,6	30,5	29,0	36,0	33,1
Коров в охоте, гол./дн.		1,4	1,2	1,8	1,1	1,4
Всего осеменено коров		529	455	759	454	2197
Оплодотворилось	коров	191	158	284	173	806
	%	36,1	34,7	37,4	38,1	36,7

Таблица 3.

Влияние интенсивности осадков на половую активность коров на пастбище

Показатель	Дни	Мм/день	Температура воздуха в полдень, °С	Осеменено		Оплодотворилось	
				всего	%	коров	%
Ливни	23	42,9	21,7	74	3,2	21	28,4
Слабые осадки	155	5,6	22,7	283	1,8	96	33,9
Без осадков	190	0	25,6	474	2,5	186	39,2

Таблица 4.

Воспроизводительная способность коров при изменении летних температур воздуха

Температура воздуха в полдень, °С	Дни	Из них с дождями	Количество осадков, мм/день	Осеменено		Оплодотворилось	
				всего	%	коров	%
18,7	23	15	18,7	72	3,1	30	41,6
19,5	8	0	0	29	3,6	16	55,2
29,4	36	2	0,3	102	2,8	39	38,2
29,5	34	0	0	97	2,9	36	37,1

Таблица 5.

Сезон первого отела и продуктивность коров

Показатель	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Учено коров	103	33	41	114	291
Возраст отела, мес.	28,6	29,3	26,8	27,1	27,9
Удой в первый месяц, кг	683	540	419	510	538
Удой за 305 дн., кг	4132,2	3171,0	4176,0	4726,0	4051,2
Сервис-период, дн.	142	229	149	142	165,5
Яловость, %	79,1	100,0	70,4	69	74,5
Выбыло первотелок, %	58,2	63,6	34,1	37,7	47,4

табунном коневодстве. Все это в совокупности отрицательно влияет на эффективность осеменения, в частности в наших исследованиях различие летом составило 8,4% в пользу «малых» групп.

В течение четырех летних сезонов изучали влияние погоды на половое поведение коров (табл. 3).

Осадки отрицательно сказываются на воспроизводительной способности животных. Эффективность осеменения снижается на 5,3...10,8%. Отрицательное действие осадков на половое поведение животных подтверждается высоким коэффициентом корреляции числа дней без охоты и количества дней с осадками ($r=0,52$).

Влияние температуры воздуха на организм животных изучали методом сравнения дней с высокими и низкими показателями в течение трех летних сезонов (табл. 4).

Данные таблицы позволяют сделать вывод об отрицательном влиянии высоких температур на организм животных. Количество коров в охоте сократилось на 11%, оплодотворяемость — 3,4%. Если исключить дождливые дни, которые угнетают половую функцию, то межгрупповые различия изменяются. Число коров в охоте в дни без дождей с низкой температурой возрастает на 26,3%, оплодотворяемость — 18,1%, по сравнению с днями без дождей, но с высокой температурой воздуха в полдень.

Дополнительно провели анализ продуктивности коров за первую лактацию с учетом сезона отела (табл. 5).

Из-за скудного кормления животных и по другим объективным причинам самым неблагоприятным сезоном отела оказалась весна. Удой за лактацию снизился на 30%, по сравнению с зимой, выбытие животных увеличилось до 63,6%. В то же время следует отметить высокую продуктивность первотелок голштинской породы австралийского типа, даже в условиях неполноценного кормления. От пятнадцати первотелок, родившихся в Австралии, за первую лактацию получили — 6040,0...6988,0 кг молока, первый месяц — 750...910 кг.

Все вышеизложенное свидетельствует о наличии проблем в организации воспроизводства стада. Это подтверждается низкой эффективностью осеменений и длительным отсутствием охоты у коров после отела. У 20% животных половые циклы проявляются через 90 и более дней.

Установлено, что погодные условия в летне-пастбищный период — фактор изменчивости воспроизводительной функции. Затяжные дожди угнетают половую функцию животных, кратковременные грозовые ливни стимулируют проявление охоты, но снижают эффективность искусственного осеменения. При одновременном осеменении более шести животных независимо от сезона года оплодотворяемость достоверно снижается. В условиях неполноценного кормления весенние отелы приводят к резкому снижению годового удоя и высокой выбраковке коров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горб Н.Н. Влияние факторов окружающей среды на воспроизводительную функцию сельскохозяйственных животных: методические рекомендации // Новосибирск: Изд-во профилактики симптоматического бесплодия коров НГАУ. 2011. С. 24–25.
2. Демисинов В. Проблема воспроизводства молочного скота в условиях жаркого и сухого климата // Тезисы докладов. М., 1989. С. 91–93.
3. Ключникова Н.Ф., Ключников М.Т. Воспроизводительная способность коров в летне-пастбищный период // Тезисы докладов. Южно-Сахалинск. 2024. С. 141–143.
4. Ключникова Н.Ф., Ключников М.Т., Ключникова Е.М. Сезон отела и продуктивность коров на фермах Хабаровского края // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2021. № 3 (217). С. 148–151.
5. Ковалева Г.П., Лапина М.Н., Сулыга Н.В. Влияние теплового стресса на воспроизводительную способность молочных коров и способ ее коррекции // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 2 (15). С. 58–65.
6. Нежданов А.Г. Физиологические основы симптоматического бесплодия коров. Воронеж, 1988. 362 с.
7. Полянцев Н.И., Синявин А.Н. Акушерство – гинекологическая диспансеризация на молочных фермах. М.: Россельхозиздат, 1985. 175 с.
8. Соловьева О.И. Крестьянинова Е.И., Халикова Т.Ю. Продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы разного происхождения // Главный зоотехник. 2020. № 12. С. 24–33.
9. Стецкевич Е., Жолнерович М., Заневский К., Козел А. Температура воздуха и оплодотворяемость коров // Животноводство России. 2023. № 9. С. 51–52.
10. Федосеева Н.А. Усов В.П., Шепинев Д.А. Влияние сезона отела на молочную продуктивность голштинизированных коров // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. 2020. № 1(58). С. 10–15.

REFERENCES

1. Gorb N.N. Vliyanie faktorov okruzhayushchej sredy na vosproizvoditel'nyuyu funkciyu sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh: metodicheskie rekomendacii // Novosibirsk: Izd-vo profilaktiki simptomaticheskogo besplodiya korov NGAU. 2011. S. 24–25.
2. Demisinov V. Problema vosproizvodstva molochного skota v usloviyah zharkogo i suhogo klimata // Tezisy dokladov. M., 1989. S. 91–93.
3. Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov M.T. Vosproizvoditel'naya sposobnost' korov v letne-pastbishchnyj period // Tezisy dokladov. Yuzhno-Sahalinsk. 2024. S. 141–143.
4. Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov M.T., Klyuchnikova E.M. Sezon otela i produktivnost' korov na fermah Habarovskogo kraja // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2021. № 3 (217). S. 148–151.
5. Kovaleva G.P., Lapina M.N., Sulyga N.V. Vliyanie teplovogo stressa na vosproizvoditel'nyuyu sposobnost' molochnyh korov i sposob ee korrekcii // Sel'skohozyajstvennyj zhurnal. 2022. № 2 (15). S. 58–65.
6. Nezhdanov A.G. Fiziologicheskie osnovy simptomaticheskogo besplodiya korov. Voronezh, 1988. 362 s.
7. Polyancev N.I., Sinyavin A.N. Akusherstvo – ginekologicheskaya dispanserizaciya na molochnyh fermah. M.: Rossel'hozizdat, 1985. 175 s.
8. Solov'eva O.I. Krest'yaninova E.I., Halikova T.Yu. Produktivnost' i vosproizvoditel'nye kachestva korov golshtinskoj porody raznogo proiskhozhdeniya // Glavnyj zootekhnik. 2020. № 12. S. 24–33.
9. Steckevich E., Zholnerovich M., Zanevskij K., Kozel A. Temperatura vozduha i oplodotvoryaemost' korov // Zhivotnovodstvo Rossii. 2023. № 9. S. 51–52.
10. Fedoseeva N.A. Usov V.P., Shepinev D.A. Vliyanie sezona otela na molochnuyu produktivnost' golshtinizirovannyh korov // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo GAU. 2020. № 1(58). S. 10–15.

Поступила в редакцию 13.01.2025

Принята к публикации 27.01.2025

ВЛИЯНИЕ ВЕТОСПОРИНА-Ж НА РАЗВИТИЕ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ В УСЛОВИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Тамара Федоровна Домацкая, кандидат биологических наук
Анатолий Николаевич Домацкий, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии-филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия
E-mail: varroa54@mail.ru

Аннотация. В статье представлены исследования влияния пробиотиков Апиврач, ПчелоНормоСил и Ветоспорин-Ж на продолжительность жизни пчел и физиологическое состояние пчелиных семей в условиях Тюменской области. Для изучения действия пробиотиков в лабораторных условиях было отобрано 26 садков, по 50 пчел трехдневного возраста, которые поделили на четыре группы (три опытные по 7 садков и контрольная — 5). В опыте пчелам скармливали сахарный сироп, содержащий препараты в соответствии с инструкциями по их применению, в контроле только сахарный сироп. Исследования проводили в соответствии с методическими рекомендациями по изучению токсического действия пестицидов и биопрепаратов на пчел. Установлено, что Ветоспорин-Ж достоверно увеличивал продолжительность жизни опытных пчел, по сравнению с контролем в 1,4 раза. На пасеке 14 пчелиных семей поделили на две группы — опытную и контрольную. Опытным семьям трехкратно с трехдневным интервалом скармливали по 1 л сахарного сиропа, содержащего 1 мл Ветоспорина-Ж, контрольные получали сироп без препарата. Осмотр пчелиных семей осуществляли через каждые 12 дн., учитывали количество рамок, печатного расплода и меда в каждой семье. Подкормка опытных пчелиных семей сахарным сиропом, содержащим Ветоспорин-Ж, способствовала увеличению продолжительности жизни в 1,3 раза, печатного расплода и меда в 1,3–1,4 раза, по сравнению с контрольными.

Ключевые слова: медоносные пчелы, пробиотики, Ветоспорин-Ж, АпиВрач, ПчелоНормоСил, пчелиные семьи, развитие, Тюменская область

INFLUENCE OF VETOSPORIN-G ON THE BEE COLONS DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF THE TYUMEN REGION

T.F. Domatskaya, PhD in Biological Sciences
A.N. Domatsky, PhD in Biological Sciences

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology — Branch of Federal State Institution
Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia
E-mail: varroa54@mail.ru

Abstract. The effect of the probiotics Vetosporin-Zh, PcheloNormoSil and ApiVrach on the lifespan of bees was studied in laboratory conditions. For this purpose, 26 cages containing 50 three-day-old bees were selected, which were divided into 4 groups (3 experimental groups of 7 cages each and a control group of 5 cages). In the experiment, bees were fed sugar syrup containing drugs in accordance with the instructions for their use. In the control bees were given sugar syrup. The studies were carried out in accordance with "Methodological recommendations for studying the toxic effects of pesticides and biological products on bees". It was established that of the tested drugs, only Vetosporin-Zh significantly increased the lifespan of experimental bees compared to the control by 1.4 times. To conduct research in the apiary, 14 bee colonies were selected and divided into 2 equal groups — experimental and control. Experimental colonies were fed 1 liter of sugar syrup containing 1 ml of Vetosporin-Zh three times with an interval of 3 days. Control colonies received syrup without the drug. Inspection of bee colonies was carried out every 12 days, and the number of frames, printed brood and honey in each family was taken into account. Determined that feeding experimental bee colonies with sugar syrup containing Vetosporin Zh — contributed to an increase in their strength by 1.3 times, printed brood and honey by 1.3–1.4 times compared to control families.

Keywords: honey bees, probiotics, PcheloNormoSil, ApiVrach, Vetosporin Zh, lifespan, bee colonies, development, Tyumen region

Массовое заболевание пчел варроатозом в 70-е годы прошлого века привело к резкому снижению резистентности насекомых к другим заразным болезням и появлению смешанных инвазий-инфекций, вызывающих ослабление и гибель пчелиных семей во всем мире. Широкое применение химических акарицидов и антибиотиков для лечения пчел способствует их накоплению в продуктах пчеловодства, в связи с

чем возникает необходимость поиска экологически безопасных средств и методов, направленных на эффективное лечение и повышение устойчивости пчелиных семей к патогенам. Многие исследования сосредоточены на улучшении здоровья медоносных пчел с помощью пробиотиков, усиливающих врожденный иммунитет к микробным инфекциям. Опыты, проведенные на пасеке в северной лесной зоне Республики

* Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0018) / The work was performed by the All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology of the TYUMSC SB RAS within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic no. FWRZ-2021-0018).

Башкортостан, выявили положительное воздействие пробиотиков СпасиПчел и ПчелоНормоСил на состояние пчелиных семей. [7] Те, что получали СпасиПчел осенью, превосходили контрольную группу по силе на 21,3%, количеству запечатанного расплода следующей весной — на 58,7%. Пчелиные семьи, подкармливаемые пробиотиком ПчелоНормоСил, весной несколько отставали по силе от контрольных семей, но превосходили их на 23,5% по количеству запечатанного расплода. [6] В природно-климатических условиях Южного Урала и Поволжья изучено влияние подкормок с использованием микробиологических препаратов на хозяйственно полезные и продуктивные показатели пчел. Кормовая добавка Ветоспорин-Ж при весенней подкормке пчел способствовала более активному наращиванию силы пчелиных семей при подготовке к главному медосбору, увеличению летней активности и повышению продуктивности. [5]

Есть данные по действию пробиотика Ветоспорина-Ж на физиолого-биохимическое состояние медоносной пчелы в норме и при развитии патологических процессов в кишечнике, вызванных имидаклопридом. Он оказывает адаптогенное влияние на рабочих пчел летней генерации при интоксикации этим препаратом. [2]

Анализ литературных данных по применению пробиотиков для лечения пчел и повышения их резистентности к различным патогенам свидетельствует о необходимости расширения исследований, направленных на разработку экологически безопасных методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований мы отобрали пробиотические препараты:

АпиВрач — жидкость, содержащая биомассу бактерий *Bacillus subtilis 12B*, *Bacillus subtilis 11B*, *Bacillus subtilis 1K*, *Bacillus subtilis 3H*, *Bacillus subtilis 3K* в среде культивирования. Общее количество жизнеспособных клеток бактерий в 1 мл корма не менее 1×10^8 КОЕ. Препарат рекомендован для биологической защиты пчел от вирусных, бактериальных и грибковых заболеваний.

ПчелоНормоСил — содержит живые клетки молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Enterococcus faecium*, дрожжей-сахаромикетов *Saccharomyces cerevisiae* в среде культивирования. Общее количество жизнеспособных клеток лактобактерий, энтерококков и дрожжей в 1 мл корма не менее 1×10^8 КОЕ. Пробиотик применяют для увеличения продолжительности жизни рабочих пчел, повышения яйценоскости пчелиных маток, наращивания силы пчелиных семей.

Ветоспорин-Ж включает биомассу споровых бактерий *Bacillus subtilis 12B*, *Bacillus subtilis 11B* в среде культивирования. Общее количество жизнеспособных клеток бактерий в 1 мл корма не менее 1×10^8 КОЕ. Препарат предназначен для повышения неспецифической резистентности, сохранности и продуктивности животных, в том числе птиц, рыб и пчел.

Для лабораторных опытов было отобрано 26 садков по 50 пчел трехдневного возраста, которые поделили на четыре группы (три опытные по 7 садков и контрольная — 5). Первой опытной группе скармливали по 10 мл сахарного сиропа, включающего 0,2% препарата Апиврач, второй — 10 мл сиропа с содержанием

0,5% пробиотика ПчелоНормоСил, третьей — 10 мл с 0,1% Ветоспорина-Ж. Контрольные пчелы получали чистый сахарный сироп в указанном объеме. После сиропа с пробиотиками пчелам всех групп скармливали сахарный сироп. Учет гибели пчел вели ежедневно до тех пор, пока не умирали все насекомые. Продолжительность жизни определяли в соответствии с Методическими рекомендациями по изучению токсического действия пестицидов и биопрепаратов на пчел. [3] По результатам лабораторного опыта для дальнейших исследований был выбран Ветоспорин-Ж.

На пасеке 14 пчелиных семей поделили на две группы с учетом их силы и возраста маток (опытная и контрольная). В соответствии с инструкцией по применению препарата опытным семьям трехкратно с трехдневным интервалом скармливали по 1 л сахарного сиропа, содержащего 1 мл Ветоспорина-Ж, контрольным — только сироп без препарата. Опыт проводили со 2 мая по 19 июня 2024 года. Пчелиные семьи осматривали через каждые 12 дн., учитывали количество рамок, печатного расплода и меда в каждой семье. [3]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования в лабораторных условиях показали, что из всех испытанных пробиотиков только Ветоспорин-Ж достоверно увеличивал продолжительность жизни пчел (табл. 1).

Опытные семьи, получавшие корм с Ветоспорином-Ж достоверно отличались от контрольных, подкармливаемых только сахарным сиропом (табл. 2.).

Подкормка опытных пчелиных семей сахарным сиропом, содержащим Ветоспорин — Ж, способствовала увеличению их силы в 1,3 раза, печатного расплода и меда — 1,3...1,4 раза, по сравнению с контрольными (дата учета — 19.06.2024). Результаты наших исследований согласуются с данными, полученными другими учеными. Г.С. Мишуковская, Н.Р. Мурзабаев, Т.Н. Кузнецова доказали, что применение Ветоспорина-Ж положительно влияет на хозяйственно полезные признаки пчелиных семей, заключающееся в стимуляции процессов их весеннего развития и повышения продуктивности. [4] Штаммы *Bacillus* обладают биотерапевтическим потенциалом, который связан с их способностью взаимодействовать с внутренней средой хозяина, продуцируя разнообразные антимикробные пептиды и небольшие внеклеточные эффекторные молекулы.

По данным Л.А. Бондыревой и А.С. Попеляева в условиях Алтайского края весной часто применяют стимулирующие подкормки в виде сахарно-медового теста (канди) с добавлением пробиотических препаратов, под воздействием которых нормализуются микрофлора кишечника, кислотность среды, пищеварение, а

Таблица 1.
Влияние пробиотиков
на продолжительность жизни пчел, $M \pm m$

Группа	$M \pm m$	Lim (min $\pm$ max)	P (размах)
АпиВрач	$7,41 \pm 0,49$	$5,84 \pm 10,06$	4,2
ПчелоНормоСил	$5,51 \pm 0,31$	$4,38 \pm 7,58$	3,2
Ветоспорин-Ж	$8,51 \pm 0,42$	$5,98 \pm 9,78$	3,8
Сахарный сироп	$6,03 \pm 0,68$	$4,16 \pm 7,76$	3,6

Таблица 2.

Состояние пчелиных семей после подкормки Ветоспорином-Ж, М ± m

Дата	Группа					
	опытная			контрольная		
	число рамок с пчелами, шт.	количество печатного расплода, см ²	количество меда, кг	число рамок с пчелами, шт.	количество печатного расплода, см ²	количество меда, кг
02.05.	6,1 ± 0,7	2464,3 ± 94,83	5,7 ± 0,49	6,0 ± 0,6	2392,8 ± 84,1	6,0 ± 0,9
14.05.	7,6 ± 0,5	2571,42 ± 70,1	6,5 ± 0,5	6,6 ± 0,7	2442,8 ± 54,5	6,4 ± 0,7
26.05.	9,1 ± 0,7	4200,0 ± 200,7	8,6 ± 1,0	7,8 ± 0,4	3935,7 ± 266,7	7,3 ± 0,8
07.06.	11,2 ± 0,8	5026,5 ± 268,2	12,8 ± 1,2	8,2 ± 0,5	4100,0 ± 100,5	8,1 ± 0,4
19.06.	12,5 ± 0,8	5445,7 ± 346,4	13,7 ± 1,1	9,4 ± 0,5	4185,7 ± 180,9	9,4 ± 0,5

также подавляются рост и размножение патогенной и условно-патогенной микрофлоры. [1]

Молочнокислые бактерии *Lactobacillus kunkei* — важная группа микробиоты кишечника медоносной пчелы. Они участвуют в переваривании пищи, стимулируют иммунную систему и могут противодействовать нежелательным микроорганизмам в желудочно-кишечном тракте. Выявлена антагонистическая активность девяти отобранных штаммов *Lactobacillus kunkei* по отношению к возбудителю аскосфероза пчел грибу *Ascosphaera apis*. [9] Результаты показали способность штаммов *L. kunkei* ингибировать *A. apis*, образовывать биопленки, также выявлена их высокая агрегация и гидрофобность. Установлено, что применение корма BioPatty, включающего лактобациллы, снижало уровень инфицированности пчелиных семей американским гнильцом. [10] При нозематозе в лабораторных и пасечных условиях изучили влияние двух штаммов (*Bifidobacterium coryneforme* и *Apilactobacillus kunkei*) на уровень зараженности пчел возбудителем болезни — микроспорицией *Nosema ceranae*. В обоих случаях количественные ПЦР и микроскопические анализы показали снижение числа спор возбудителя в организме пчел. [11]

Таким образом, литературные данные и собственные опыты свидетельствуют о необходимости расширения научных исследований по разработке экологически безопасных лекарственных средств для применения в пчеловодстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бондырева Л.А., Попеляев А.С. Влияние пробиотических подкормок на состав микрофлоры кишечника пчел // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 1 (207). 2022. С. 79–81. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-207-1-79-83>
- Гайфуллина Л.Р., Салтыкова Е.С., Матниязов Р.Т., Николенко А.Г. Оптимальные условия применения пробиотиков в качестве адаптогенов на основе анализа иммунного статуса медоносной пчелы // Биомика. 2016. Т. 8. № 2. С. 76–81.
- Методические рекомендации по изучению токсического действия пестицидов и биопрепаратов на пчел», М., 1989. 19 с.
- Мишуковская Г.С., Мурзабаев Н.Р., Кузнецова Т.Н. Хозяйственно полезные признаки пчел при использовании микробиологических препаратов // Известия Оренбургского государственного университета. 2013. С. 163–165.
- Мишуковская Г.С., Мурзабаев Н.Р., Кузнецова Т.Н. Пробиотическая кормовая добавка «Ветоспорин-Ж». Пчеловодство. 2014. № 7. С. 14–16.

- Mishukovskaya G., Giniyatullin M., Tuktarov Ya. et al. Effect of Probiotic Feed Additives on Honeybee Colonies Overwintering // American Journal of Animal and Veterinary Sciences 2020. No. 15 (4). PP. 284–290. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2020.284.290>
- Mishukovskaya G., Giniyatullin M., Shelekhov D. et al. The use of probiotics in spring supplementary feeding of bee colonies // Bulgarian Journal of Agricultural Science. No 1. 2023. PP. 131–137.
- Brendan A. Daisley, Andrew P. et al. Novel probiotic approach to counter Paenibacillus larvae infection in honey bees // The ISME Journal. 2020. No. 14. PP. 476–491. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0541-6>
- Fouad M.F. Elshaghabee, Namita Rokana, Rohini D. Gulhane et al. Bacillus As Potential Probiotics: Status, Concerns, and Future Perspectives//Frontiers in Microbiology. 2017. Vol. 8. PP. 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01490>
- Garrido P.M, Porlani M.P., Alberoni D. et al. Beneficial Bacteria and Plant Extracts Promote Honey Bee health and Reduce Nosema ceranae Infection // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2024. No. 16. PP. 259–274. <https://doi.org/10.1007/s12602>
- Iorizzo M., Lombardi S.J, Ganassi S. et al. Antagonistic Activity against Ascosphaera apis and Functional Properties of Lactobacillus kunkei Strains // Antibiotics. 2020. No. 9. P. 262. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9050262>

REFERENCES

- Bondyрева Л.А., Попеляев А.С. Влияние пробиотических подкормок на состав микрофлоры кишечника пчел // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 1 (207). 2022. С. 79–81. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-207-1-79-83>
- Gajfullina L.R., Saltykova E.S., Matniyazov R.T., Nikolenko A.G. Optimal'nye usloviya primeneniya probiotikov v kachestve adaptoginov na osnove analiza immunogo statusa medonosnoj pchely // Biomika. 2016. T. 8. № 2. S. 76–81.
- Metodicheskie rekomendacii po izucheniyu toksicheskogo dejstviya pesticidov i biopreparatov na pchel», M., 1989. 19 s.
- Mishukovskaya G.S., Murzabaev N.R., Kuznecova T.N. Hozyajstvenno poleznye priznaki pchel pri ispol'zovanii mikrobiologicheskikh preparatov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. S. 163–165.
- Mishukovskaya G.S., Murzabaev N.R., Kuznecova T.N. Probioticheskaya kormovaya dobavka «Vetospurin-Zh». Pchelovodstvo. 2014. № 7. S. 14–16.
- Mishukovskaya G., Giniyatullin M., Tuktarov Ya. et al. Effect of Probiotic Feed Additives on Honeybee Colonies Overwintering // American Journal of Animal and Veterinary Sciences 2020. No. 15 (4). PP. 284–290. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2020.284.290>

7. Mishukovskaya G., Giniyatullin M., Shelekhov D. et al. The use of probiotics in spring supplementary feeding of bee colonies //Bulgarian Journal of Agricultural Science. No. 1. 2023. PP. 131–137.
8. Brendan A. Daisley, Andrew P. et al. Novel probiotic approach to counter Paenibacillus larvae infection in honey bees // The ISME Journal. 2020. No. 14. PP. 476–491. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0541-6>
9. Fouad M.F. Elshaghabe, Namita Rokana, Rohini D. Gulhane et al. Bacillus As Potential Probiotics: Status, Concerns, and Future Perspectives//Frontiers in Microbiology. 2017. Vol. 8. PP. 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01490>
10. Garrido P.M, Porrlini M.P., Alberoni D. et al. Beneficial Bacteria and Plant Extracts Promote Honey Bee health and Reduce Nosema ceranae Infection // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2024. No. 16. PP. 259–274. <https://doi.org/10.1007/s12602>
11. Iorizzo M., Lombardi S.J, Ganassi S. et al. Antagonistic Activity against Ascosphaera apis and Functional Properties of Lactobacillus kunkeei Strains //Antibiotics. 2020. No. 9. P. 262. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9050262>

Поступила в редакцию 11.07.2024

Принята к публикации 25.07.2024

УДК 619:616.935.733.4:636

DOI: 10.31857/S2500208225010171, EDN: CRVAVJ

МОНИТОРИНГ ЭПИЗООТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАСЕК ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ И ДРУГИХ РЕГИОНОВ РОССИИ*

Тамара Федоровна Домацкая, кандидат биологических наук
Анатолий Николаевич Домацкий, кандидат биологических наук
Татьяна Юрьевна Дольникова, кандидат химических наук
Зимфира Якубовна Зинатуллина, кандидат биологических наук
Виктория Владимировна Столбова, младший научный сотрудник

*Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии-филиал
 Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра
 Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия*
 E-mail: varroa54@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты мониторинга пасек Тюменской области и других регионов России на зараженность пчелиных семей возбудителями инвазий и инфекций. Изучено распространение варроатоза, нозематоза и тропилеласоза. Исследована 181 проба подмора, живых пчел и расплода от пчелиных семей 21 пасеки в Алтайском крае, Иркутской и Тюменской областях, а также в Республике Дагестан. Работу проводили в соответствии с методическими указаниями по лабораторным исследованиям на нозематоз медоносных пчел, дифференциальной диагностике *Nosema apis* и *Nosema ceranae*, изучению средств и приемов борьбы с клещом варроа, диагностике тропилеласоза, *Standard methods for Tropilaelaps*. Пчелиные семьи обследованных пасек имеют высокий уровень заражения клещами *Varroa destructor* (55,5–83,3%), микроспоридией *Nosema ceranae* (23,1–83,3%), степень инфицированности ноземой составляла от 3,5 до 128 млн спор на пчелу. В патматериале из Республики Дагестан обнаружены клещи *Varroa destructor* и *Tropilaelaps* spp., уровень заражения расплодных ячеек – 55,5%, клещи тропилелас заражены в 14,5% числа исследуемых ячеек. Также обнаружены личиночные стадии обоих клещей, что свидетельствует об их активном размножении и развитии. Впервые в Тюменской области найдены и идентифицированы клещи *Tropilaelaps mercedesae*- возбудители тропилеласоза пчел. **Ключевые слова:** пчелиные семьи, инвазии, инфекции, мониторинг, Алтайский край, Республика Дагестан, Иркутская область, Тюменская область

MONITORING THE EPIZOOTIC STATE OF APIARIES IN THE TYUMEN REGION AND OTHER REGIONS OF RUSSIA

T.F. Domatskaya, PhD in Biological Sciences
A.N. Domatsky, PhD in Biological Sciences
T.Yu. Dolnikova, PhD in Chemical Sciences
Z.Ya. Zinatullina, PhD in Biological Sciences
V.V. Stolbova, Junior Researcher

*All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution
 Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*
 E-mail: varroa54@mail.ru

* Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0018) / The work was performed by the All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology of the TYUMSC SB RAS within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic no. FWRZ-2021-0018).

Abstract. Purpose of the study: continue monitoring apiaries in the Tyumen region and other regions of Russia for contamination of bee colonies with pathogens causing invasions and infections. Research objectives: to study the spread of varroatosis, nosematosis and tropilelapsosis in apiaries of the Tyumen region and other regions of Russia. A total of 181 samples of bees and brood from bee colonies in 21 apiaries, located in the Altai territory, Irkutsk, Tyumen regions and in Dagestan were studied. The studies were conducted in accordance with the “Methodological guidelines for laboratory studies of honey bee nosematosis”, “Methodological guidelines for differential diagnostics of *Nosema apis* and *Nosema ceranae*”, “Methodological recommendations for studying means and methods of combating the *Varroa* mite”, “Methodological guidelines for diagnostics of bee tropilelapsosis”, “Standard methods for *Tropilaelaps*”. Analysis of the results showed, that the bee colonies have a high level of infection of bees with *Varroa* destructor mites (55.5–83.3%), microsporidia *N. ceranae* (23.1–83.3%), while the degree of infection with nosema ranged from 30.5 to 128 million spores per bee. In the studied pathological material from the Dagestan, *Varroa* destructor and *Tropilaelaps* spp. mites were found. The level of infestation of brood cells with the found mites was 55.5%, with *Tropilaelaps* mites registered in 14.5% of the studied cells. Larval stages of both mites were also found, indicating active reproduction and development of these ectoparasites in bee brood. For the first time in the Tyumen region, *Tropilaelaps mercedesae* mites, the causative agents of tropilelapsosis in bees, have been found and identified.

Keywords: bee colonies, invasions, infections, monitoring, Altai territory, Republic of Dagestan, Irkutsk Region, Tyumen Region

Медоносные пчелы — основные опылители растений. Польза от этого превосходит все другие экономические выгоды, которые современное пчеловодство имеет благодаря производству меда, маточного молочка, прополиса, воска, пчелиного яда и многого другого. За последние десятилетия резко возросло количество возбудителей заболеваний у пчел. Международные перевозки, экспорт или импорт пчел и их продуктов увеличили возможность занесения различных патогенов (паразиты, бактерии, вирусы, грибки) в пчелиные семьи. Тропилеллапсоз — паразитарное заболевание пчел, вызываемое клещами рода *Tropilaelaps*, болезнь внесена в список опасных заболеваний МЭБ, угрожающих всему миру. Установлено, что паразит принадлежит к классу *Arachnida*, подклассу *Acari*, виду *Parasitiformes*, подотряду *Mesostigmata*, семейству *Laelapidae*, роду *Tropilaelaps*. Возбудители заболевания — четыре вида клеща (*Tropilaelaps clareae*, *Tropilaelaps mercedesae*, *Tropilaelaps koenigerum* и *Tropilaelaps thaii*). Клещи передаются при прямом контакте пчел внутри одной пчелиной семьи или контакте между пчелиными семьями. Во время кормления гемолимфой личинок и куколок клещи переносят вирусы деформации крыла (DWV) и черных маточников (BQCV). Заражение этими эктопаразитами приводит к гибели до 50% личинок. Чаше всего они встречаются в тропических районах, где в течение всего года имеется пчелиный расплод, необходимый для их питания и размножения. [6]

До недавнего времени считали, что возбудители тропилеллапсоза не могут жить и размножаться в странах с умеренным климатом и длительным зимним периодом. Но по данным А.З. Брандорф в 2021 году в южных регионах России (Краснодарский край и Ростовская обл.) впервые обнаружены клещи рода *Tropilaelaps*, вызывающие карантинное заболевание тропилеллапсоз, сопровождающееся массовой гибелью пчел. [1, 8] Из этих районов на территории разных регионов России ежегодно завозятся пчелиные семьи и возникает угроза распространения клещей *Tropilaelaps* и других патогенов. При изучении гаммазовых клещей, связанных с медоносными пчелами в Тюменской области, были обнаружены и идентифицированы две самки и два самца *Tropilaelaps mercedesae*. [9]

Цель работы — мониторинг пасек Тюменской области и других регионов России на зараженность пчелиных семей возбудителями инвазий и инфекций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучена 181 проба подмора, живых пчел и расплода от пчелиных семей 21 пасеки в Алтайском крае, Иркутской и Тюменской областях, а также Республике Дагестан на наличие возбудителей варроатоза, нозематоза и тропилеллапсоза. Работу проводили в соответствии с методическими указаниями по лабораторным исследованиям на нозематоз медоносных пчел, дифференциальной диагностике *Nosema apis* и *Nosema ceranae*, изучению средств и приемов борьбы с клещом варроа, диагностике тропилеллапсоза пчел, Standard methods for *Tropilaelaps*. [2–5, 7, 9]

В Тюменской области в 2023 году исследовали 173 пробы подмора, живых пчел и расплода от пчелиных семей 18 пасек из семи районов (Армизонский, Голышмановский, Заводоуковский, Нижнетавдинский, Яковский, Тюменский, г. Тюмень) на наличие возбудителей инвазий и инфекций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявили на обследованных пасеках возбудителей варроатоза (клещ *Varroa destructor*), тропилеллапсоза (клещ *Tropilaelaps* spp.) и нозематоза (микроспоридия *Nosema ceranae*) (табл. 1).

При изучении проб пчел, подмора и расплода от пчелиных семей пасек Алтайского края, Тюменской области, Республики Дагестан зарегистрирован высокий уровень зараженности пчелиных семей варроатозом и нозематозом. Впервые обнаружена смешанная инвазия варроатоз-тропилеллапсоз и в Тюменской области идентифицирован возбудитель тропилеллапсоза — клещ *Tropilaelaps mercedesae* (табл. 2).

Пчелиные семьи обследованных пасек имеют высокий уровень заражения клещами *V. destructor*

Таблица 1.
Результаты обследования пасек по регионам, 2023 год

Регион	Количество обследованных пасек	Число неблагополучных пасек по		
		варроатозу	тропилеллапсозу	нозематозу
Алтайский край	1	1	0	1
Иркутская обл.	1	0	0	0
Тюменская обл.	18	11	1	9
Республика Дагестан	1	1	1	0
Всего	21	13 (61,9%)	2 (9,5%)	10 (47,6%)

Таблица 2.

Результаты исследования проб пчел по регионам, 2023 год

Регион	Количество исследованных проб	Выявлено проб, шт. (%)		
		с клещами <i>V. destructor</i>	с клещами <i>Tropilaelaps spp.</i>	с микроспоридией <i>N. ceranae</i>
Алтайский край	6	5 (83,3%)	0	5 (83,3%)
Республика Дагестан	1	1 (100%)	1 (100%)	0
Иркутская обл.	1	0	0	0
Тюменская обл.	173	96 (55,5%)	1 (0,6%)	40 (23,1%)
Всего	181	102 (56,3%)	2 (1,1%)	45 (24,8%)

Таблица 3.

Результаты исследования пчелиных семей из районов Тюменской обл., 2023 год

Район	Количество исследованных проб	Выявлено проб, шт. (%)		
		с клещами <i>Varroa destructor</i>	с клещами <i>Tropilaelaps mercedesae</i>	с микроспоридией <i>N. ceranae</i>
Армизонский	1	0	1 (100%)	0
Голышмановский	3	3 (100%)	0	1 (33,3%)
Заводоуковский	12	1 (8,3%)	0	3 (25,0%)
Нижнетавдинский	4	2 (50%)	0	3 (75%)
Ярковский	10	не исследовано	0	8 (80%)
Тюменский	70	34 (48,6%)	0	25 (35,7%)
г. Тюмень	73	56 (76,5)	0	0
Всего	173	96 (55,5%)	1 (0,5%)	40 (23,1%)

(55,5...83,3%), микроспоридией *N. ceranae* (23,1...83,3%), степень инфицированности ноземой — 30,5...128 млн спор на пчелу. В исследуемом патматериале из Республики Дагестан присутствовали клещи *Varroa destructor* и *Tropilaelaps spp.* Уровень заражения расплодных ячеек — 55,5%, клещи тропилелапс зарегистрированы в 14,5% числа исследуемых ячеек. Также обнаружены личиночные стадии обоих клещей, что свидетельствует об их активном размножении и развитии.

Изучение проб от пчелиных семей пасек Тюменской области показало, что клещи *Varroa* выявлены во всех образцах (исключение — Армизонский и Ярковский районы), при этом у 55,5% семей отмечен высокий уровень инвазированности — 8,3...72,7%. Микроспоридия *N. ceranae* зарегистрирована в пробах пчел из Голышмановского, Заводоуковского, Нижнетавдинского, Тюменского и Ярковского районов, (23,1% общего числа образцов), уровень инфицирования по районам — 33,3...80,0% (табл. 3).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о широком распространении патогенов медоносных пчел. Впервые в Тюменской области найдены и идентифицированы клещи *Tropilaelaps mercedesae* — возбудители опасного и карантинного заболевания пчел (тропилелапсоз). Необходимо изучить распространение этих эктопаразитов на пасеках региона и других областей, особенно имеющих большое количество пчелиных семей. Важно обратить внимание на приграничные районы России и Казахстана, пасеки Алтайского края, Кавказа, Башкирии, Татарстана, Южного Урала. В связи с потеплением климата возможно также расширение ареала клещей *Tropilaelaps* в Северо-Западные регионы России. Исходя из сложившейся эпизоотической ситуации, следует провести массовое обследование пасек для выявления тропилелапсоза и разработки мер борьбы с ним.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Брандорф А.З., Сохликов А.Б. Тропилелапсоз пчел — новая угроза российскому пчеловодству // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2023. № 2 (46). С. 217—226. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302014>
- Зинатуллина, З.Я., Жигилёва О.Н., Токарев Ю.С. Методические наставления по дифференциальной диагностике *Nosema apis* и *Nosema ceranae* у медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.) // Сб. науч. тр. ВНИИВЭА, Тюмень. 2011. Вып. 51. С. 286—300.
- Методические указания по лабораторным исследованиям на нозематоз медоносных пчел / ГУВ МСХ СССР. М. 25.04.1985 г.
- Методические рекомендации по изучению средств и приемов борьбы с клещом варроа / Отделение ветеринарии Россельхозакадемии. М. 08.06. 2020.
- Методические указания по диагностике тропилелапсоза пчел, утверждены Главным управлением ветеринарии Минсельхоза СССР 14.05.1981.
- Anderson D.L., Morgan M.J. Genetic and morphological variation of Bee parasitic *Tropilaelaps* mites (Acari: Laelapidae): New and re-defined species // Experimental and Applied Acarology. 2007. 43. PP. 1—24.
- Anderson D.L., Roberts John M. K. Standard methods for *Tropilaelaps* mites Research // Journal of Apicultural Research, 2013. (52:4). PP. 1—16. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.21>
- Brandorf A.Z., Ivoilova M M., Yanezb O. et al. First report of established mite populations, *Tropilaelaps mercedesae* in Europe // Journal of Apicultural research. 2024. № 5. PP. 1—3. <https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2343976>
- Joharchi O., Stolbova V. The first report on the ectoparasitic genus *Tropilaelaps* (Acari: Mesostigmata: Laelapidae) in Russia // Persian J. Acarol. 2023. Vol. 13. No. 3. PP. 513—516. <https://doi.org/10.22073/pja.v13i3.85545>

REFERENCES

1. Brandorf A.Z., Sohlikov A.B. Tropilelapsoz pchel – novaya ugroza rossijskomu pchelovodstvu // Rossijskij zhurnal «Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ekologii». 2023. № 2 (46). S. 217–226.
<https://doi.org/10.36871/vet.san.hyг.ecol.202302014>
2. Zinatullina, Z.Ya., Zhigilyova O.N., Tokarev Yu.S. Metodicheskie nastaveniya po differencial'noj diagnostike Nosema apis i Nosema ceranae u medonosnoj pchely (Apis mellifera L.) // Sb. nauch. tr. VNIIEA, Tyumen'. 2011. Vyp. 51. S. 286–300.
3. Metodicheskie ukazaniya po laboratornym issledovaniyam na nozematoz medonosnyh pchel / GUV MSH SSSR. M. 25.04.1985.
4. Metodicheskie rekomendacii po izucheniyu sredstv i priemov bor'by s kleshchom varroa / Otdelenie veterinarii Rossel'hozakademii. M. 08.06.2020.
5. Metodicheskie ukazaniya po diagnostike tropilelapsoza pchel, utverzhdeny Glavnym upravleniem veterinarii Minsel'hoza SSSR 14.05.1981.
6. Anderson D.L., Morgan M.J. Genetic and morphological variation of Bee parasitic Tropilaelaps mites (Acari: Laelapidae): New and re-defined species // Experimental and Applied Acarology. 2007. 43. PP. 1–24.
7. Anderson D.L., Roberts John M. K. Standard methods for Tropilaelaps mites Research // Journal of Apicultural Research, 2013. (52:4). PP. 1–16.
<https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.21>
8. Brandorf A.Z., Ivoilova M. M., Yanezh O. et al. First report of established mite populations, Tropilaelaps mercedesae in Europe // Journal of Apicultural research. 2024. № 5. PP. 1–3. <https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2343976>
9. Joharchi O., Stolbova V. The first report on the ectoparasitic genus Tropilaelaps (Acari: Mesostigmata: Laelapidae) in Russia // Persian J. Acarol. 2023. Vol. 13. No. 3. PP. 513–516.
<https://doi.org/10.22073/pja.v13i3.85545>

Поступила в редакцию 06.11.2024

Принята к публикации 20.11.2024

УДК 619:616.995.122

DOI: 10.31857/S2500208225010181, EDN: CRTPPH

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ПРИ МЕЛОФАГОЗЕ ОВЕЦ*

Владимир Николаевич Домацкий, доктор биологических наук, профессор

Елена Ивановна Сивкова, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии-филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия

E-mail: sivkovaiei@mail.ru

Аннотация. В статье представлен результат анализа эффективности инсектицидов, применяемых при меллофагозе овец. Задачи исследования: сравнить действие препаратов различных химических групп и методы их использования. Один из наиболее важных факторов роста продуктивности животных – проведение лечебно-профилактических мероприятий при паразитарных заболеваниях. Из инвазий у овец часто встречается меллофагоз, причиняющий значительный ущерб отрасли. При интенсивном поражении (более 100 паразитов на одном животном) происходит снижение массы тела на 8–10 кг и ухудшается конверсия корма. Ущерб для овцеводства от потери мясной продуктивности оценивается в миллионы рублей в год. Уменьшается количество шерсти на 0,8–1,0 кг с животного, снижается ее качество. Для лечения используют различные средства и методы. Однократная обработка овец Цифлунитом обеспечивает защиту при меллофагозе на протяжении 30 сут. Байофлай пур-он, Дектомакс, Ивермек и Цифлунит Флок обладали 100%-й эффективностью и лишь на 42-е сут. после обработки инсектицидное действие последнего незначительно снизилось. Однократная инъекция Меродока способствовала полному освобождению овец от кровососок, срок защиты от инвазии – более 30 сут. При использовании Иверсана через 28 сут. все овцы были свободны от паразитов. Через 56 сут. кровососок обнаружено не было. Эффективность препарата Дельцид 7,5 через семь суток после применения составила 100%. Монизен форте при однократном подкожном введении был абсолютно экстенс- и интенс-эффективен.

Ключевые слова: овцы, овечья кровососка, ущерб, инсектициды, эффективность

EFFECTIVENESS OF DRUGS IN SHEEP MELOPHAGOSIS

V.N. Domatsky, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*E.I. Sivkova, *PhD in Biological Sciences*

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

E-mail: sivkovaiei@mail.ru

* Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Изучение и анализ эпизоотического состояния по болезням инвазионной этиологии сельскохозяйственных и непродуктивных животных, пчел и птиц, изменения видового состава и биоэкологических закономерностей цикла развития паразитов в условиях смещения границ их ареалов (FWRZ-2021-0018)» / The work was performed by the All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology of the Tyumen Scientific Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation “Study and analysis of the epizootic state of diseases of invasive etiology of agricultural and unproductive animals, bees and birds, changes in species composition and bioecological patterns of the parasite development cycle in conditions of displacement of the boundaries of their ranges (FWRZ-2021-0018)”.

Abstract. The purpose of the study is to analyze the effectiveness of insecticides used in sheep melophagosis. Objectives of the study: to compare the effectiveness of drugs of various chemical groups and methods of their use in sheep melophagosis. One of the most important factors in the growth of animal productivity is the implementation of therapeutic and preventive measures for parasitic diseases. Of the infestations, melophagosis is often found in sheep, causing significant damage to the industry. With an intense lesion (more than 100 parasites per animal), body weight decreases by 8-10 kg and feed conversion worsens. The damage to sheep farming from the loss of meat productivity is estimated at millions of rubles per year. The shearing of wool decreases by 0.8 – 1.0 kg per sheep, its quality decreases. Various means and methods are used to treat sheep with melophagosis. Single treatment of sheep with Cyflunite provides 100% protection of sheep with melophagosis for 30 days. Cyflunite Flock also had 100% effectiveness and only on the 42nd day after treatment showed a slight decrease in insecticidal action. The extensivity of Ivermek was 100%. Merodok after a single injection showed 100% therapeutic efficacy and contributed to the complete liberation of sheep from bloodsuckers, and the period of protection from invasion was more than 30 days. When using Iversan, after 28 days, all sheep were completely free of bloodsuckers. Upon further observation, no bloodsuckers were found on sheep after 56 days. The effectiveness of the drug Delcid® 7.5 7 days after application was 100%. Bayofly pour-on and Dectomax also showed a 100% result. Monizen forte, with a single subcutaneous injection, provided 100% extensional and intensive efficacy.

Keywords: sheep, sheep bloodsucker, damage, insecticides, effectiveness

Овцеводство — одна из перспективных отраслей сельского хозяйства Российской Федерации, поскольку в короткие сроки позволяет получить конечную продукцию (мясо, молоко и другие виды сырья), обширен ассортимент изделий: ткани и трикотаж, войлочные и валяльные, шубные, меховые и кожевенные. [8] Стабилизация и восстановление отрасли — важная народнохозяйственная задача.

Баранина — ценный продукт, с высокими питательными достоинствами и хорошими вкусовыми качествами. Потребительские свойства баранины определяются ее химическим составом и энергетической ценностью. В ней содержится 15...20% белка, 12...16 жира, 0,8...0,9 золы и 63...70% воды. Калорийность — 1660...2010 ккал/кг. В 100 г бараньего жира — 29 мг холестерина, говяжьего — 75, свиного — 74...126 мг. [3] Наиболее ценной считается молодая (5...9 мес.) диетическая баранина из-за большего содержания влаги и меньшего — жира, а также количества белка — 20,68...21,20%. [7]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мы рассмотрели литературу из Российской научной электронной библиотеки, Cyberleninka. Использовали аналитический, сравнительный, системный и паразитологический методы научного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Один из наиболее важных факторов роста продуктивности животных — проведение лечебно-профилактических мероприятий при паразитарных заболеваниях. Из инвазий у овец часто встречается мелофагоз, причиняющий значительный ущерб отрасли.

Мелофагоз — заболевание, вызываемое *Melophagus ovinus* (овечьей рунец, кровососка) семейства *Hippoboscidae*. Инвазия зарегистрирована в Европе, Азии, Австралии, Африке, странах СНГ, России. [10]

При интенсивном поражении (более сотни паразитов на одном животном) снижение массы тела достигает 8...10 кг и ухудшается конверсия кормов. Ущерб овцеводства от потери мясной продуктивности оценивается в миллионы рублей в год. Уменьшается настриг шерсти на 0,8...1,0 кг с овцы, снижается ее качество, что имеет большое значение для тонкорунного овцеводства. Овечьи кровососки — переносчики возбудителей трипаномоза, риккетсиоза, спирохетоза и других опасных болезней, летальность от которых может достигать 90% и более. [15]

Для лечения применяют водные эмульсии пиретроидов на основе перметрина, циперметрина и дельтаметрина, а также препараты из группы макроциклических лактонов (Новомек, Ивомек, Баймек, Ивермаг, Мерадок и другие). [4]

Изучили препараты, приготовленные механохимической модификацией субстанций Ивермектина и Албендазола, обладающих выраженным паразитоцидным действием и широко используемых для лечения энтомозов и гельминтозов животных. Для получения более эффективных препаратов на их основе предложена механохимическая модификация с помощью полисахарида арабиногалактан. Композиции в виде твердых дисперсий образовывали супрамолекулярные комплексы с повышенной активностью при кишечных стронгилятозах, мониезиозе и мелофагозе овец в различных дозировках по 0,1 и 0,2 мг/кг массы тела (по Ивермектину) и 1,0, 2,0, 3,0 мг/кг (по Альбендазолу) при пероральном введении против кишечных нематод подотряда *Strongylata*, цестод *Moniezia spp.* и эктопаразитов *M. ovinus*. Паразитоцидная эффективность комплекса по Ивермектину — 0,2, Альбендазолу — 2,0 мг/кг массы тела — 91,4...100%. В то же время исходные субстанции Ивермектина и Албендазола в тех же дозировках были менее эффективными. Полученные при механохимической модификации комплексные инновационные противопаразитарные препараты на основе Иверметина и Альбендазола следует рассматривать как перспективные. [16]

Провели испытания инсектицидной активности препарата Цифлунит против овечьей кровососки на обработанных и контактирующих с ними необработанных животных. Препарат наносили овцам на поверхность кожи спины по 5 мл. Всего обработали 20 гол. из 70 овцематок отары, остальные животные оставались контактными. Эффективность учитывали исходя из количества кровососок на животных опытных и контрольной групп через 15 и 30 сут. после нанесения инсектицида. Однократная обработка овец Цифлунитом обеспечила 100%-ю защиту при мелофагозе на протяжении 30 сут. У контактной группы эффективность защитного действия препарата через 30 сут. составила 98,7%. [12]

В хозяйствах Ставропольского края, Саратовской и Самарской областей в период стойлового содержания животных исследовали 420 спонтанно зараженных мелофагозом овец. Средняя экстенсивность инвазии (ЭИ) достигала 64,9%. В наибольшей степени (32...33%) *M. ovinus* поражал молодняк. В опытных группах овец

однократно обработали препаратом Цифлунит Флок в дозе 10 мл/гол. Через сутки после его использования на теле овец живых эктопаразитов не обнаружили. Таким образом, эффективность обработки составила 100%. Через 10 сут. на животных появились молодые насекомые, вышедшие из пупариев, поскольку инсектициды не действуют на куколок. Но через 2...3 дн. живых насекомых не было. На 42-е сут. после обработки отметили незначительное снижение инсектицидного действия препарата. [15]

Аналогичные исследования провели для изучения эффективности Цифлунита Флок и Ивермека. Для этого сформировали две опытные и контрольную группы (n=4) по принципу пар-аналогов из овец в возрасте от года до двух лет. Перед началом лечения всех животных взвешивали. Овец первой группы обработали препаратом Цифлунит Флок (10 мл) на кожу вдоль позвоночника от холки до крестца. Препарат начинает действовать через 3...4 ч после обработки. Цифлунит Флок оказывает инсектицидный эффект до 3...4 нед. Вторую группу животных обработали препаратом Ивермек (1 мл/50 кг, 200 мкг/кг массы) внутримышечно. Учитывая, что цикл жизни возбудителя мелофагоза составляет 4 нед. и препарат не действует на куколок паразита, Ивермек вводили повторно. Абсолютный прирост массы животного в группе с применением Цифлунит Флок составил 6,5 кг, Ивермек — 6,3 кг. Эти препараты обладают 100%-й эффективностью при мелофагозе овец. Для профилактических обработок больше подходит Цифлунит Флок, так как Ивермек необходимо использовать двукратно с интервалом в 14 сут. [14]

В Республике Башкортостан в частном подсобном хозяйстве изучили эффективность препарата Креолин. Креолин (100 мл) разводили в 5 л воды и поливали животное вдоль позвоночного столба (однократно). Из 6 гол. полностью освободились от овечьего рунца только 5 (83,3%). [9]

Изучили эффективность препарата Мерадок. Из 50 овец *куйбышевской* породы в возрасте от трех месяцев до полутора лет сформировали две опытные группы (n=25). В первой применяли препарат на основе Ивермектина двукратно в дозе 1 мл/33 кг массы тела. Через 7 сут. эффективность его составила 100%. Для лечения овец второй опытной группы использовали однократную инъекцию Мерадока (1 мл/50 кг массы тела) согласно инструкции. Препарат способствовал полному освобождению животных от паразитов, срок защиты от инвазии — более 30 сут. [17]

Иверсан (4% раствор Ивермектина), разработанный НВЦ «Агроветзащита» (г. Москва), предназначен для противопаразитарных обработок свиней, сельскохозяйственной птицы, пушных зверей и собак при нематодозах, энтомозах и акарозах. Овцы как объект применения Иверсана в инструкции к препарату не указаны. При разработке протокола лечения был использован Иверсан в общепринятой разовой дозе — 200 мкг/кг массы. Препарат применяли утром с водой вольно групповым способом двукратно с интервалом две недели. Учет экстенсивности, интенсивности инвазии (ЭИ, ИИ) и клинического состояния овец проводили с интервалом 7 сут. 56 дн. Через 2 нед. после применения Иверсана ЭИ овец снизилась в два раза и составила 46,7%, средняя ИИ — до 2,7 (зуд, беспокойство, расчесы практически отсутствовали). На 21 сут.

ЭИ овец 20% (3 гол.), средняя ИИ трех инвазированных овец — 1,3. На 28 сут. все овцы были полностью свободны от кровососок, клинических признаков мелофагоза не установлено. При дальнейшем наблюдении паразитов обнаружено не было. Иверсан — недорогой препарат широкого спектра действия. [13] Его преимущество перед другими ивермектинсодержащими препаратами — возможность применения с водой групповым способом без фиксации и стрессов для животных, которые неизбежны при парентеральном введении.

Провели исследования по выявлению арахноэнтомозов сельскохозяйственных животных в Рязанской и Курской областях, а также изучили эффективность лекарственного препарата Иверсан (ООО «АВЗ С-П», Россия). При клиническом осмотре установили мелофагоз овец. Результаты исследований показали, что ивермектинсодержащий препарат широкого спектра действия в дозе 1 мл/200 кг индивидуально перорально с водой высокоэффективен. У животных контрольных групп клиническое состояние, показатели экстенсивности, интенсивности инвазии и инфекации на протяжении опытов существенно не изменялись. [5]

Для оценки действия препаратов Дельцид и Креолин были отобраны овцы *романовской* породы с клиническими проявлениями мелофагоза и сформированы две группы по принципу аналогов — опытная и сравнения (n=6). Животных опытной группы обрабатывали Дельцидом (ООО «АВЗ-СП», действующее вещество дельтаметрин), сравнения — Креолином (АО «ЗВП», основные компоненты — крезол, нафталин, смолыные кислоты). Средняя ИИ в опытной группе составила 56,2±3,25, сравнения — 52,8±3,16, разница статистически недостоверная. Установили, что препараты Дельцид и Креолин схожи по эффективности. При клиническом применении обоих средств отсутствует их негативное влияние на основные физиологические параметры, а также общеклинические и биохимические показатели крови овец. [11]

Дельцид 7,5 изучали на животных, спонтанно зараженных мелофагами (ЭИ — 100%) в хозяйстве ООО «СПК Новомарьевский» Ставропольского края. В состав препарата входит дельтаметрин и ингибитор синтеза хитина. Баранчиков *северо-кавказской* породы, массой 35...45 кг разделили на две группы — опытную (n=30), полив на кожу спины в дозе 10,0 мл однократно и контрольную (n=20), препарат не применяли. Во время опыта животные находились в равных условиях содержания и кормления. Эффективность препарата учитывали по количеству паразитирующих кровососок на животных до начала опыта и через 3, 7, 14, 21 сут. Экстенсивность инвазии и индекс обилия (ИО) определяли по общепринятой методике. Эффективность лекарственного препарата Дельцид 7,5 при мелофагозе овец — 100%. На четвертые сутки наблюдали достоверное снижение количества мелофагов (ИО — 5,3±1,4 экз./гол.), через семь дней — их полное отсутствие. [1]

В сравнительном аспекте исследовали инсектицидные препараты — Байофлай пур-он и Дектомакс. Их экстенсэффективность при лечении больных мелофагозом овец была стопроцентной. Побочного действия от инсектицидов у подопытных животных нами не установлено. При однократном применении Байофлай пур-она насекомые начали погибать уже через

3 ч и к окончанию первых суток имагинальные стадии паразитов были уничтожены. Большой срок инсектицидного влияния (1,5 сут.) наблюдали при использовании Дектомакса. Через месяц паразитов не обнаружено, что указывает на длительное пролонгированное действие обоих препаратов. [2]

Для лечения и профилактики мелофагоза овец испытывали лекарственный препарат Монизен форте. Работу проводили в Калининградской и Курской областях. Эффективность Монизен форте учитывали по результатам исследования овец до и через 14...18 сут. после введения препарата. Применение в дозе 1 мл/20 кг однократно подкожно показало его 100%-ю экстенс- и интенсэффективность. [6]

Разработан и изготовлен экспериментальный образец ветеринарного препарата Эприновет для лечения и профилактики арахноэнтомозов и гельминтозов крупного рогатого скота и овец. Двукратное использование в дозе 10 мг/кг с интервалом 24 ч дало высокий терапевтический эффект. Экстенсэффективность при трихостронгилидозах — 100%, мелофагозе — 75%. [18]

Выводы. Однократная обработка овец Цифлунитом обеспечивает защиту при мелофагозе на протяжении 30 сут. Байофлай пур-он, Дектомакс, Ивермек и Цифлунит Флок обладали 100%-й эффективностью и лишь на 42-е сут. после обработки инсектицидное действие последнего незначительно снизилось. Однократная инъекция Меродока способствовала полному освобождению овец от кровососок, срок защиты от инвазии — более 30 сут. При использовании Иверсана через 28 сут. все овцы были свободны от паразитов. Через 56 сут. кровососок обнаружено не было. Эффективность препарата Дельцид 7,5 через семь суток после применения — 100%. Монизен форте при однократном подкожном введении был абсолютно экстенс- и интенсэффективен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бурмистрова М.И., Енгашев С.В., Енгашева Е.С. и др. Инсектицидная эффективность препарата ДЕЛЬЦИД® 7,5 при мелофагозе овец // Международный вестник ветеринарии. 2020. № 4. С. 19–23. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2020.4.19>
- Бырка В.И., Мазанный А.В. Распространение MELOPHAGUSOVINUS(DIPTERA:HIPPOBOSCIDAЕ) и борьба с ней в неблагополучном хозяйстве. Ученые Записки УО ВГАВМ. 2015. Т. 51(1). Ч. 1. С. 174–178.
- Гаппоев, Х.А., Каиров А.В. Овцеводство: проблемы и перспективы развития. Актуальные проблемы устойчивого развития регионального АПК: Мат. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и сотрудников кафедры «Организация производства и предпринимательства в АПК». Владикавказ, 17–18 мая 2016 года. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2016. С. 69–75.
- Домацкий В.Н. Средства терапии и профилактики энтомозов овец // Научный альманах. 2018. № 10-2(48). С. 177–179. <https://doi.org/10.17117/na.2018.10.02.177>
- Енгашев С.В., Енгашева Е.С., Новак М.Д., Москалев В.Г. Эффективность лекарственного препарата ИВЕРСАН® при паразитарных болезнях сельскохозяйственных животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023. № 7. С. 25–33. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202307003>
- Енгашева Е.С., Москалев В.Г., Муромцев А.Б. Эффективность действия препарата монизен форте при гельминтозах и арахно-энтомозах овец. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2019. Т. 20. С. 205–209. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.205-209>
- Ерохин А.И., Котарев В.И., Ерохин С.А. Овцеводство: учебник / под ред. А.И. Ерохина. Типография Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, Воронеж, 2014. 449 с.
- Ибрагимов А.Г., Романюк М.А., Платоновский Н.Г. Овцеводство — важная отрасль животноводства России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 2. С. 25–28.
- Каримова А.Р., Сулейманова Г.Ф. Опыт лечения мелофагоза овец. Молодые ученые — науке и практике АПК: Мат. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. Витебск, 27–28 апреля 2023 года. Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена “Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины» 2023. С. 95–98.
- Косминков Н.Е., Лайпанов Б.К., Домацкий В.Н. и др. Паразитология и паразитарные болезни сельскохозяйственных животных: учебник. М.: ИНФРА-М, 2019. 467 с.
- Кукушкина Т.Р., Сайтханов Э.О., Новиков Н.М. Сравнительная оценка эффективности применения препаратов «ДЕЛЬЦИД» И «КРЕОЛИН» при мелофагозе овец // Вестник РГАТУ. 2021. Т. 13. № 3. С. 26–29. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.89.35.004>
- Марченко В.А., Бирюков И.В., Куринов Д.А. Эффективность инсектицидного препарата «Цифлунит» при мелофагозе овец в Горном Алтае. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2024. № 25. С. 256–261. <https://doi.org/10.31016/978-5-6050437-8-2.2024.25.256-261>
- Москалев В.Г., Новиков В.В., Зиновьев Е.А. Инновационное применение препарата Иверсан для лечения мелофагоза овец. Молодежная наука — гарант инновационного развития АПК: Мат. X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 19–21 декабря 2018 года. Ч. 2. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 68–73.
- Муллаярова И.Р. Результаты лечения мелофагоза овец. Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: Материалы Межд. науч.-практ. конф. Витебск, 03–05 ноября 2021 г. Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена “Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины», 2021. С. 85–88.
- Оробец В.А., Абрамов В.Е., Балышев А.В. Эффективный способ борьбы с овечьим рунцом в зимний период // Ветеринария. 2017. № 3. С. 15–18.
- Халиков С.С., Куринов Д.А., Марченко В.А. Разработка препаратов и их эффективность при паразитарных инвазиях овец в Горном Алтае. Мат. Всеросс. научной конф. «Современные проблемы органической химии», посвященные 115-летию со дня рождения академика Н.Н. Ворожцова. 12–14 сентября 2022, Академгородок, Новосибирск. 174 с.
- Шеховцова А.А. Эффективность терапии при мелофагозе овец. Проблемы интенсивного развития животноводства и их решение: Брянск, 25–26 марта 2021 года. Брянский государственный аграрный университет, 2021. С. 436–439.

18. Щемелева Н.Ю., Василькова В.П. Эффективность нового препарата при паразитозах овец // Эпизоотология. Иммунология. Фармакология. Санитария. 2023. № 1. С. 40–45.

REFERENCES

1. Burmistrova M.I., Engashev S.V., Engasheva E.S. i dr. Insekticidnaya effektivnost' preparata DEL'CID® 7,5 pri melofagoze ovec // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2020. № 4. S. 19–23.
<https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2020.4.19>
2. Byrka V.I., Mazannyj A.V. Rasprostranenie MELOPHAGUS OVINUS (DIPTERA: HIPPOBOSCIDAE) i bor'ba s nej v neblagopoluchnom hozyajstve. Uchenye Zapiski UO VGAVM. 2015. T. 51(1). Ch. 1. S. 174–178.
3. Gappoev, H.A., Kairov A.V. Ovcevodstvo: problemy i perspektivy razvitiya. Aktual'nye problemy ustojchivogo razvitiya regional'nogo APK: Mat. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov, magistrantov i sotrudnikov kafedry "Organizaciya proizvodstva i predprinimatel'stva v APK". Vladikavkaz, 17–18 maya 2016 goda. Vladikavkaz: Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2016. S. 69–75.
4. Domackij V.N. Sredstva terapii i profilaktiki entomozov ovec // Nauchnyj al'manah. 2018. № 10-2(48). S. 177–179.
<https://doi.org/10.17117/na.2018.10.02.177>
5. Engashev S.V., Engasheva E.S., Novak M.D., Moskalev V.G. Effektivnost' lekarstvennogo preparata IVERSAN® pri parazitarnykh boleznyakh sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh // Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya. 2023. № 7. S. 25–33.
<https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202307003>
6. Engasheva E.S., Moskalev V.G., Muromcev A.B. Effektivnost' dejstviya preparata monizen forte pri gel'mintozah i arahno-entomozah ovec. Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami. 2019. T. 20. S. 205–209. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.205-209>
7. Erohin A.I., Kotarev V.I., Erohin S.A. Ovcevodstvo: uchebnyk / pod red. A.I. Erohina. Tipografiya Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. Imperator Petr I, Voronezh, 2014. 449 s.
8. Ibragimov A.G., Romanyuk M.A., Platonovskij N.G. Ovcevodstvo – vazhnaya otasl' zhivotnovodstva Rossii // Ovtsy,kozy, sherstyanoe delo. 2024. № 2. S. 25–28.
9. Karimova A.R., Sulejmanova G.F. Opyt lecheniya melofagoza ovec. Molodye uchenye – nauke i praktike APK: Mat. nauch.-prakt. konf. aspirantov i molodyh uchenykh. Vitebsk, 27–28 aprelya 2023 goda. Vitebsk: Uchrezhdenie obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny", 2023. S. 95–98.
10. Kosminkov N.E., Lajpanov B.K., Domackij V.N. i dr. Parazitologiya i parazitarnye bolezni sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh: uchebnik. M.: INFRA-M, 2019. 467 s.
11. Kukushkina T.R., Sajthanov E.O., Novikov N.M. Sravnitel'naya ocenka effektivnosti primeneniya preparatov «DEL'CID» I «KREOLIN» pri melofagoze ovec // Vestnik RGATU. 2021. T. 13. № 3. S. 26–29.
<https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.89.35.004>
12. Marchenko V.A., Biryukov I.V., Kurinov D.A. Effektivnost' insekticidnogo preparata «Cifunit» pri melofagoze ovec v Gornom Altae. Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami. 2024. № 25. S. 256–261.
<https://doi.org/10.31016/978-5-6050437-8-2.2024.25.256-261>
13. Moskalev V.G., Novikov V.V., Zinov'ev E.A. Innovacionnoe primeneniye preparata Iversan dlya lecheniya melofagoza ovec. Molodezhnaya nauka – garant innovacionnogo razvitiya APK: Mat. X Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh. Kursk, 19–21 dekabrya 2018 goda. Ch. 2. Kursk: Kurskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2019. S. 68–73.
14. Mullayarova I.R. Rezul'taty lecheniya melofagoza ovec. Aktual'nye problemy lecheniya i profilaktiki boleznej molodnyaka: Materialy Mezhd. nauch.-prakt. konf. Vitebsk, 03–05 noyabrya 2021g. Vitebsk: Uchrezhdenie obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny", 2021. S. 85–88.
15. Orobev V.A., Abramov V.E., Balyshev A.V. Effektivnyj sposob bor'by s ovech'im runcom v zimnij period // Veterinariya. 2017. № 3. S. 15–18.
16. Halikov S.S., Kurinov D.A., Marchenko V.A. Razrabotka preparatov i ih effektivnost' pri parazitarnykh invaziyah ovec v Gornom Altae. Mat. Vseross. nauchnoj konf. «Sovremennye problemy organicheskoy himii», posvyashchennye 115-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.N. Vorozhova. 12–14 sentyabrya 2022, Akademgorodok, Novosibirsk. 174 s.
17. Shekhovcova A.A. Effektivnost' terapii pri melofagoze ovec. Problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva i ih reshenie: Bryansk, 25–26 marta 2021 goda. Bryanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021. S. 436–439.
18. Shchemeleva N.Yu., Vasil'kova V.P. Effektivnost' novogo preparata pri parazitozah ovec // Epizootologiya. Immunobiologiya. Farmakologiya. Sanitariya. 2023. № 1. S. 40–45.

Поступила в редакцию 26.08.2024
Принята к публикации 09.09.2024

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАХЕАЛЬНОГО КЛЕЩА *ACARAPIS WOODI* – ВОЗБУДИТЕЛЯ АКАРАПИДОЗА МЕДОНОСНЫХ ПЧЕЛ*

Виктория Владимировна Столбова, младший научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-7373-6989

Анастасия Дмитриевна Мельничук, младший научный сотрудник

Зимфира Якубовна Зинатуллина, кандидат биологических наук, научный сотрудник

Ксения Сергеевна Крестоношина, заведующая лабораторией

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии-филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия

E-mail: victorysva@mail.ru

Аннотация. Акарапидоз — инвазионное заболевание взрослых медоносных пчел *Apis mellifera*, возбудитель которого паразитический клещ *Acarapis woodi* (сем. Tarsonemidae). При высоком уровне заражения паразитизм клещей приводит к истощению гемолимфы пчел, механической обструкции дыхательных путей, утрате способности к полету и гибели пчелиной семьи. Для течения акарапидоза характерно наличие продолжительного скрытого периода, когда клинические признаки заболевания отсутствуют. Небольшой размер клещей *A. woodi* в совокупности с местом их локализации (трахеи и воздушные мешки пчел) не позволяет провести диагностику заболевания в полевых условиях. В России действуют методические указания по диагностике акарапидоза в лабораториях. Но с момента их утверждения (2002) были разработаны и усовершенствованы многие другие методы. Цель работы — обзор современных методов диагностики акарапидоза медоносных пчел. Проанализированы все актуальные публикации и нормативно-правовые акты по теме исследования. Обобщены данные об имеющихся на сегодняшний день методах диагностики акарапидоза, выявлены сильные и слабые стороны каждого. Из морфологических наиболее результативный — метод индивидуального исследования грудных трахей, с его помощью можно выявить наличие заболевания на раннем этапе, определить количество зараженных пчел и степень их поражения, а также дифференцировать живых и мертвых клещей *A. woodi*, что особенно важно при оценке эффективности лечебных мероприятий. Недостаток метода — трудоемкость. Серологические методы, разработанные для оптимизации временных затрат, уступают в чувствительности и/или специфичности. Наиболее эффективные — видоспецифичные методы молекулярной диагностики, что подтверждается результатами сравнительных исследований.

Ключевые слова: *Acarapis woodi*, *Apis mellifera*, акарапидоз, диагностика, инвазия, пчеловодство

MODERN METHODS OF IDENTIFICATION OF THE TRACHEAL MITE *ACARAPIS WOODI* – THE CAUSATIVE AGENT OF ACARAPIDOSIS IN HONEY BEES

V.V. Stolbova, Junior Researcher

A.D. Melnichuk, Junior Researcher

Z.Ya. Zinatullina, PhD in Biological Sciences, Researcher

K.S. Krestonoshina, Head of Laboratory

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology — Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

E-mail: victorysva@mail.ru

Abstract. Acarapisosis is an invasive disease of adult honey bees *Apis mellifera*, caused by the parasitic mite *Acarapis woodi*. At a high level of infestation, mite parasitism leads to depletion of the bees' hemolymph, loss of the ability to fly, and ultimately leads to the death of the bee colony. The small size of mites, combined with their location, does not allow diagnosing the disease in the field research. Guidelines for diagnosing acarapisosis have been developed for diagnostic laboratories in Russia and are currently in force. However, since their approval (2002), many other research methods have been developed and improved. The purpose of this study is to review modern methods for diagnosing acarapisosis in bees. Methods. All relevant publications and regulatory legal acts on the topic of the study were analyzed. Scientific novelty. As a result of the study, data on all diseases to date in the methods of diagnosing acarapisosis were summarized. The strengths and weaknesses of each method were identified. Results. Of the morphological diagnostic methods, the most effective are the method of individual examination of the thoracic trachea. This method makes it possible to differentiate between living and dead *A. woodi* mites. The disadvantage of the method is its labor intensity, which negatively affects the quality of subsequent routine studies. Serological diagnostic methods, developed to optimize time costs, do not demonstrate a sufficient degree of sensitivity and/or specificity. Species-specific molecular diagnostic methods are considered the most effective today, which is confirmed by the results of comparative research.

Keywords: *Acarapis woodi*, *Apis mellifera*, acarapisosis, diagnosis, invasion, beekeeping

Акарапидоз — инвазионное заболевание медоносных пчел, возбудитель которого клещ *Acarapis woodi* (сем. Tarsonemidae) — облигатный паразит дыхательной

системы. *A. woodi* паразитирует в трахеях и связанных с ними воздушных мешках. Клещи имеют грушевидное тело белого цвета, самки длиной 120...190 мкм и шири-

* Исследование выполнено по гранту Российского научного фонда (проект № 24-26-00065) / The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 24-26-00065).

ной 77...80 мкм, самцы — 125...136 и 60...77 мкм соответственно. [17]

Все стадии развития *A. woodi* (яйца, личинки, нимфы, взрослые особи) локализуются в трахеях пчел. Клещи прокалывают их стенки для питания гемолимфой. Паразитирование *A. woodi* приводит к ослаблению организма пчелы, истощению питательных и иммунных резервов. Клещи также могут быть переносчиками бактерий и вирусов, и через гемолимфу заражать ими пчел. В местах прокола клещами стенок трахей пчел вырабатывается меланин, трахеи приобретают темно-коричневый цвет, становятся хрупкими и хуже выполняют дыхательную функцию. При активном размножении клещи могут полностью закупоривать просветы трахей. На короткий период взрослые самки покидают трахеи через дыхальца для расселения, новыми хозяевами чаще становятся рабочие пчелы старшего возраста и трутни. Короткий цикл развития клещей *A. woodi* (самцы — 11...13 дн., самки — 14...16 дн.) способствует быстрому распространению паразита на пасеке, в результате даже самая легкая форма заболевания через некоторое время приводит к ослаблению или гибели семьи. [11, 17]

A. woodi впервые обнаружен в 1920 году и распространен в большинстве регионов, где практикуется пчеловодство, за исключением Скандинавских стран, Австралии и Новой Зеландии. [5, 6, 9, 16] На территории России акарапидоз впервые зарегистрирован в 1926 году и наблюдается на территории 39 субъектов РФ. [18]

С 1964 года фокус внимания научного сообщества сместился в сторону другой клещевой инвазии медоносных пчел (варроатоз), поэтому реальная оценка распространения акарапидоза на территории России затруднена. [7] В то же время, акарапидоз входит в список карантинных заболеваний как опасное, которое может привести к массовой гибели пчелиных семей. [16] Ученые рассматривают акарапидоз, как возможную причину наблюдающегося в настоящее время массового вымирания пчел. [10] Актуально исследование этого заболевания и выявление новых, более точных методов диагностики паразита.

Цель работы — обзор современных методов диагностики акарапидоза медоносных пчел.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов в области изучения клещей — паразитов пчел, методические указания и нормативно-правовые акты по диагностике и контролю инвазионных заболеваний пчел. Сделан обзор основных трудов по клещам *Acarapis woodi*. Использованы собственные данные по диагностике акарапидоза в семьях пчел на территории Западной Сибири.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В отличие от других паразитических клещей пчел (*Varroa destructor* и *Tropilaelaps* spp.) *A. woodi* — эндопаразит и имеет меньшие размеры тела в 12...13 раз (см. рисунок). [11] Его невозможно обнаружить невооруженным глазом, для диагностики акарапидоза необходимы навыки и специальное оборудование. У заболевания нет ни одного специфического клинического признака.

Помимо *A. woodi* известны два других представителя рода *Acarapis* — *dorsalis* и *externus*, которые паразитируют на поверхности тела пчел и вызывают эктоакарапидоз. [17, 18] В сравнении с акарапидозом, данное заболевание в меньшей степени влияет на жизнеспособность пчелиных семей. Но в связи с тем, что *A. woodi*, *A. dorsalis* и *A. externus* имеют схожие размеры тела и морфологически незначительно различаются, существует вероятность постановки ошибочного диагноза.

Все существующие методы диагностики акарапидоза можно разделить на три основные группы: морфологические, серологические, молекулярные.

Морфологические методы. Для диагностических лабораторий в России разработаны указания, согласно которым рекомендовано три морфологических метода (индивидуальные исследования грудных трахей, гомогенизация материала, компрессорный).

Профилактическое обследование на акарапидоз рекомендуется проводить зимой или ранней весной, когда популяция *A. woodi* в семьях пчел максимальна. При наличии совокупности неспецифических признаков (опонозивание, деформация задних крыльев, появление большого количества ползающих пчел) необходимо незамедлительное обследование неблагополучных семей.

Метод индивидуального исследования грудных трахей медоносных пчел был предложен в 1927 году и в дальнейшем модифицирован. [20] От каждой семьи отбирают пробу в количестве не менее 50 живых пчел, либо из свежего подмора, использование старого не рекомендуется, так как это затрудняет проведение исследования и снижает его достоверность. Способ индивидуального вскрытия имеет несколько вариаций.

Метод выделения трахей предложен в 1948 году. Пчелу размещают под бинокулярным микроскопом брюшком вверх. Сначала скальпелем или лезвием отделяют голову и переднюю пару ног, затем пинцетом удаляют кольцо переднегрудного склерита. В результате становится видна самая крупная первая пара грудных трахей. Их извлекают, помещают на предметное стекло и просматривают под микроскопом. [17] Для определения жизнеспособности клещей можно до-



Возбудитель акарапидоза *Acarapis woodi* с пасеки Алтайского края (фото В.В. Столбовой).

бавить каплю тиазолилового синего тетразолия (5 мг красителя в 5 мл дистиллированной воды), кутикула живых клещей окрашивается в фиолетовый цвет, мертвые клещи становятся зеленовато-желтыми. Эта методика полезна при исследованиях эффективности применения акарицидных препаратов.

Метод торакального диска (thoracic disc method, TDM). Пчелу размещают спинкой вниз и фиксируют пинцетом. Одним поперечным разрезом за передней парой ног отделяют голову, вторым разрезом перед средней парой ног и передними крыльями — заднюю часть тела. Для облегчения разрезов пчел можно предварительно заморозить на 24 ч. Полученный сегмент груди толщиной 1...1,5 мм, содержащий первую пару дыхалец и грудных трахей, помещают в 8...10%-й раствор щелочи (KOH или NaOH), нагревают в течение 20 мин. и оставляют в растворе на одну ночь для разрушения мышечной ткани. После сегмент промывают и осматривают под микроскопом, используя увеличение $\times 8$ —20. Для контрастирования сегменты можно выдерживать в дистиллированной воде, содержащей несколько капель 1% раствора метиленового синего. При положительном диагнозе через просветленные стенки трахей видны овальные тела клещей *A. woodi*, дополнительный признак — наличие на стенках трахей желтых, коричневых и черных пятен. [20]

Преимущество метода индивидуального вскрытия грудных трахей в возможности получить достоверные результаты о количестве зараженных пчел и степени их поражения. Применение метода торакального диска позволяет одновременно обнаружить клещей *A. woodi* у основания крыльев. Недостаток метода — трудоемкость. Он занимает долгое время, требует определенных навыков, опыта и концентрации внимания. В Новой Зеландии, где акарапидоз пока не зарегистрирован и подобные исследования — необходимая превентивная мера, один специалист может осмотреть всего около 350 пчел в день, то есть 7 проб. В час возможно осмотреть трахеи 140...160 пчел. При низкой степени инвазии и малом количестве клещей их можно не заметить. Кроме того, нельзя использовать высушенный подмор. Но существуют способы выдерживания высушенных пчел в 10%-м водном растворе едкого калия в течение 10...12 ч или в смеси воды и спирта (4:1) 24 ч. [6]

Метод гомогенизации материала разработан в 1979 году. [17] При массовом обследовании пчел на пораженность *A. woodi* проба должна содержать около 200 экз. из семьи. У них удаляют голову, крылья, брюшко и ноги. Грудные сегменты помещают в стакан объемом 100 мл и заливают 25 мл дистиллированной воды. Гомогенизацию производят при 10000 об./мин. три раза по несколько секунд. Суспензию фильтруют через сито с отверстием 0,8 мм. К фильтрату добавляют воду, доводя объем до 50 мл и центрифугируют 5 мин. при 1500 об./мин. Надосадочную жидкость сливают, к осадку добавляют несколько капель молочной кислоты для мацерации и осветления и через 10 мин. микроскопируют. [20] Метод позволяет за короткое время исследовать 100...200 пчел. В случае обнаружения клещей необходимо установить их видовую принадлежность, так как в области грудки могут находиться и наружные клещи рода *Acarapis*, а также другие сходного размера, например, астигматические. При данном методе сложно оценить степень распространения заболевания внутри семьи.

Существует методика В.И. Полтева 1939 года, усовершенствованная Е.И. Скрыпник в 1972 году. У 50 пчел удаляют голову, крылья, брюшко и ноги. Грудки заливают 8...10%-м раствором KOH или NaOH, выдерживают в течение суток, промывают водопроводной водой и помещают на фильтровальную бумагу. Затем содержимое выдавливают на клетки компрессория, скальпелем отделяя остатки трахей. После заправки компрессория его свинчивают и просматривают под микроскопом. Для изучения одной пробы пчел необходимо просмотреть два компрессория. Недостаток метода — потеря трахей у части пчел.

Серологические методы. Метод иммуноферментного анализа (ELISA). В 1987 году разработана диагностическая иммунная сыворотка для обнаружения заражения трахей *A. woodi*, в 1989 его усовершенствовали. Несмотря на то, что тест-система достаточно чувствительна к низким уровням заражения *A. woodi*, она была низкоспецифичной и давала перекрестную реакцию с другими белками гемолимфы и мышц медоносных пчел. [17]

Другой практический иммуноферментный анализ был предложен в 1993 году. Результаты исследования продемонстрировали высокую чувствительность и хорошую корреляцию с методом индивидуального вскрытия в случае степени инвазии более 5% на 100 пчел. Метод позволяет диагностировать большее количество материала со снижением трудозатрат, необходимых для индивидуального исследования, в 10 раз. [17]

Серологический энзимо-иммуносорбентный метод основан на визуализации гуанина (2-амино-6-оксипурина), конечного продукта азотистого обмена у клещей и многих других паукообразных. В выделениях медоносных пчел гуанин практически отсутствует. Предварительно выделенные трахеи пчел гомогенизируют, экстракт центрифугируют, надосадочную жидкость наносят на пластины тонкослойной хроматографии (ТСХ). Пятна гуанина при этом визуализируются в УФ-свете. Данный метод использовать не рекомендуется, так как требуется много времени на выделение торакальных сегментов, а чувствительность теста аналогична существующей методике индивидуального исследования трахей. При невысоком уровне заражения и низкой концентрации гуанина в образцах можно получить ложноотрицательный результат.

Молекулярные методы активно применяются для более точной и быстрой идентификации *A. woodi*. Например, для определения видов рода *Acarapis* исследователи часто используют субъединицу I цитохромоксидазы митохондриального гена (COI). [19] При амплификации COI *A. woodi* также получают схожие фрагменты COI *A. dorsalis* и *A. externus*, которые трудно различить между собой методом геле-электрофореза. Поэтому позже были разработаны протоколы ПЦР с использованием специфичных праймеров для каждого вида. [4, 8, 12] С помощью секвенирования COI можно с высокой точностью определить вид *Acarapis* и провести филогенетический анализ.

Результаты сравнительных исследований демонстрируют большую диагностическую чувствительность молекулярных методов, чем морфологических. При изучении пчел из стран Южной Америки три образца, отрицательных по морфологическому анализу, были по-

ложительны на *A. woodi* по результатам RT-qPCR. [14] При исследовании зараженности пчелиных семей клещами рода *Acarapis* на корейских пасеках по данным ПЦР-анализа была установлена 42,4% зараженность (32 — *A. dorsalis*, 9 — *A. externus* и 1 — *A. woodi*). Однако морфологически ни один из клещей не был обнаружен. Авторы связывают это с применением акарицидов, так как могли остаться только части клещей, которые не удалось обнаружить визуально. [2] При микроскопическом анализе семей медоносных пчел, собранных в различных регионах Турции с 2018 по 2019 год, *A. woodi* обнаружено не было. Но применение молекулярных методов (амплификация, секвенирование COI) выявило наличие *A. woodi* на нескольких пасеках. [3]

Перспективное направление — разработка быстрых неинвазивных методов доклинических исследований заболеваний пчел с помощью ПЦР-диагностики и экологической ДНК. В одной из работ проверили наличие ДНК 9 организмов-возбудителей заболеваний пчел, в том числе трех видов клещей (*A. woodi*, *Varroa destructor*, *Tropilaelaps* spp.). Из 102 образцов меда, полученных из 17 стран всех континентов, ДНК *V. destructor* была выделена в 100% случаев. Но *A. woodi* не выявлен ни в одном образце. Авторы отмечают неожиданный результат в отношении данного распространенного по всему миру паразита и указывают на необходимость дальнейших исследований в этой области. [15] С помощью молекулярных методов *A. woodi* можно обнаружить не только непосредственно у пчел, но и в образцах остатков улья. При исследовании real-time PCR 113 COI образцов мусора из ульев, в одном из них была обнаружена 100% идентичная последовательность, соответствующая *A. woodi*. [13] Этот неинвазивный способ применим для быстрого скрининга пчелиных семей, при обнаружении паразита необходимы уточняющие морфологические методы.

Выводы. Для диагностики акарапидоза эффективно использование методов ПЦР и индивидуального вскрытия. Разработанные серологические методы диагностики уступают в чувствительности/специфичности, а также требуют неоправданных временных затрат. Совершенствование методов молекулярной диагностики позволяет проводить быстрые и достоверные видоспецифические исследования большого объема материала. Это действенно как для профилактического скрининга пасек в ранневесенний период, так и для уточняющего изучения в случае наблюдаемых клинических признаков заболеваний пчел (опоношивание гнезд, деформация крыльев, утрата способности к полету, ослабление, слет и гибель семей). Методами ПЦР-диагностики можно установить наличие возбудителя заболевания на раннем этапе, когда при индивидуальном вскрытии трахеи еще не затемненные и единичных клещей можно не заметить. Методы индивидуального вскрытия незаменимы для количественной оценки уровня зараженности отдельных пчел и пчелиных семей, а также контроля эффективности проводимых акарицидных обработок. Согласно действующим международным стандартам выявления акарапидоза, положительные результаты ПЦР-диагностики требуют подтверждения микроскопией. Таким образом, лучшим вариантом для обнаружения акарапидоза будет сочетание морфологических и молекулярных методов исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Калашникова М.В., Пашаян С.А., Сидорова К.А. Морфология, биология и экология клещей *Acarapis woodi* (Rennie, 1921) (обзор литературы) // АПК: инновационные технологии. 2024. № 1. С. 35–44.
2. Ahn A.J., Ahn K.S., Noh J.H. et al. Molecular prevalence of *Acarapis mite* infestations in honey bees in Korea // Korean J Parasitol. 2015. Vol. 53. No. 3. PP. 315–320. <https://doi.org/10.3347/kjp.2015.53.3.315>
3. Akpınar R.K., Sevim A., Sevim E. et al. PCR-based detection of the honeybee tracheal mite (*Acarapis woodi*) in Türkiye // Parasitology Research. 2023. Vol. 122. No. 7. PP. 1663–1670. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07871-x>
4. Cepero A., Martín-Hernández R., Prieto L. et al. Is *Acarapis woodi* a single species? A new PCR protocol to evaluate its prevalence // Parasitology Research. 2015. No. 114. PP. 651–658. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4229-6>
5. Chantawannakul P., de Guzman L., Li J., Williams G.R. Parasites, pathogens, and pests of honeybees in Asia // Apidologie. 2016. Vol. 47. No. 3. PP. 301–324. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0407-5>
6. Delmiglio C., Fan Q.H., George Sh. et al. Development and evaluation of a real-time PCR assay for the detection of *Acarapis woodi* (tracheal mites) in *Apis mellifera* // Apidologie. 2016. No. 47. PP. 691–702. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0420-8>
7. Durán N., Henríquez-Piskulich P., Aldea P. Prevalence of tracheal mites *Acarapis woodi* (Rennie) in Chile // Ciencia e investigación agraria. 2019. Vol. 46. No. 3. PP. 295–301.
8. Kojima Yu., Yoshiyama M., Kimura K., Kadowaki T. PCR-based detection of a tracheal mite of the honey bee *Acarapis woodi* // Journal of Invertebrate Pathology. 2011. Vol. 108. No. 2. PP. 135–137. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.07.009>
9. Maeda T., Sakamoto Y. Range expansion of the tracheal mite *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) among Japanese honey bee, *Apis cerana japonica*, in Japan // Experimental and Applied Acarology. 2020. Vol. 80. No. 4. PP. 477–490. <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00482-6>
10. Nikita, Grover A., Kalia P. et al. Colony collapse disorder: A peril to apiculture // Journal of Applied and Natural Science. 2022. Vol. 14. No. 3. PP. 729–739. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i3.3502>
11. Pedro Enrique de la Torre P. Datos morfológicos de *Acarapis woodi* (Rennie) (Acari: Tarsonemidae) colectados en Mayabeque, Cuba // Revista Ibérica de Aracnología. 2022. No. 41. PP. 158–162.
12. Peixoto C., Correia-Oliveira M., de Carvalho C. Current status of *Acarapis woodi* mite infestation in africanized honey bee *Apis mellifera* in Brazil // Florida Entomologist. 2019. Vol. 102. No. 4. PP. 775–777. <https://doi.org/10.1653/024.102.0416>
13. Pietropaoli M., Tofani S., Formato G., Rubino R.C. Molecular detection of *Acarapis woodi* using hive debris as innovative and non-invasive matrix // Applied Sciences. 2022. No. 12. PP. 2837. <https://doi.org/10.3390/app12062837>
14. Quintana S., Szawarski N., Sarlo G. et al. Comparison of qPCR and morphological methods for detection of *Acarapis woodi* in honey bee samples // Journal of Apicultural Science. 2019. Vol. 63. No. 1. PP. 125–129. <https://doi.org/10.2478/JAS-2019-0011>
15. Ribani A., Utzeri V.J., Taurisano V., Fontanesi L. Honey as a source of environmental DNA for the detection and monitoring of honey bee pathogens and parasites // Veterinary Sciences. 2020. Vol. 7. No. 3. PP. 113. <https://doi.org/10.3390/vetsci7030113>

16. Sakamoto Y., Maeda T., Yoshiyama M. et al. Differential autogrooming response to the tracheal mite *Acarapis woodi* by the honey bees *Apis cerana* and *Apis mellifera* // *Insectes Sociaux*. 2020. No. 67. PP. 95–102. <https://doi.org/10.1007/s00040-019-00732-w>
17. Sammataro D., George Sh., Ochoa R., Otis G. Standard methods for tracheal mite research // *Journal of Apicultural Research*. 2013. Vol. 52. No. 4. PP. 1–20. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.20>
18. Stolbova V.V. Current state of *Acarapis Hirst* mites (Acari-formes, Tarsonemidae) distribution and honeybees infestation in Russia // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. No. 1. PP. 291–298. https://doi.org/10.15421/2021_44
19. Takashima Sh., Ohari Yu., Itagaki T. The prevalence and molecular characterization of *Acarapis woodi* and *Varroa destructor* mites in honeybees in the Tohoku region of Japan // *Parasitology International*. 2020. No. 75. PP. 102052. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2020.102052>
20. World Organisation for Animal Health (WOAH). *Acarapisosis of honey bees (infestation of honey bees with *Acarapis woodi*)* 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.02.01_ACARAPISOSIS.pdf (дата обращения: 12.11.2024).
1. Kalashnikova M.V., Pashayan S.A., Sidorova K.A. Morfologiya, biologiya i ekologiya kleshchej *Acarapis woodi* (Rennie, 1921) (obzor literatury) // *APK: innovacionnye tekhnologii*. 2024. № 1. S. 35–44.
2. Ahn A.J., Ahn K.S., Noh J.H. et al. Molecular prevalence of *Acarapis* mite infestations in honey bees in Korea // *Korean J Parasitol*. 2015. Vol. 53. No. 3. PP. 315–320. <https://doi.org/10.3347/kjp.2015.53.3.315>
3. Akpınar R.K., Sevim A., Sevim E. et al. PCR-based detection of the honeybee tracheal mite (*Acarapis woodi*) in Türkiye // *Parasitology Research*. 2023. Vol. 122. No. 7. PP. 1663–1670. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07871-x>
4. Cepero A., Martín-Hernández R., Prieto L. et al. Is *Acarapis woodi* a single species? A new PCR protocol to evaluate its prevalence // *Parasitology Research*. 2015. No. 114. PP. 651–658. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4229-6>
5. Chantawannakul P., de Guzman L., Li J., Williams G.R. Parasites, pathogens, and pests of honeybees in Asia // *Apidologie*. 2016. Vol. 47. No. 3. PP. 301–324. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0407-5>
6. Delmiglio C., Fan Q.H., George Sh. et al. Development and evaluation of a real-time PCR assay for the detection of *Acarapis woodi* (tracheal mites) in *Apis mellifera* // *Apidologie*. 2016. No. 47. PP. 691–702. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0420-8>
7. Durán N., Henríquez-Piskulich P., Aldea P. Prevalence of tracheal mites *Acarapis woodi* (Rennie) in Chile // *Ciencia e investigación agraria*. 2019. Vol. 46. No. 3. PP. 295–301.
8. Kojima Yu., Yoshiyama M., Kimura K., Kadowaki T. PCR-based detection of a tracheal mite of the honey bee *Acarapis woodi* // *Journal of Invertebrate Pathology*. 2011. Vol. 108. No. 2. PP. 135–137. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.07.009>
9. Maeda T., Sakamoto Y. Range expansion of the tracheal mite *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) among Japanese honey bee, *Apis cerana japonica*, in Japan // *Experimental and Applied Acarology*. 2020. Vol. 80. No. 4. PP. 477–490. <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00482-6>
10. Nikita, Grover A., Kalia P. et al. Colony collapse disorder: A peril to apiculture // *Journal of Applied and Natural Science*. 2022. Vol. 14. No. 3. PP. 729–739. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i3.3502>
11. Pedro Enrique de la Torre P. Datos morfológicos de *Acarapis woodi* (Rennie) (Acari: Tarsonemidae) colectados en Mayabeque, Cuba // *Revista Ibérica de Aracnología*. 2022. No. 41. PP. 158–162.
12. Peixoto C., Correia-Oliveira M., de Carvalho C. Current status of *Acarapis woodi* mite infestation in africanized honey bee *Apis mellifera* in Brazil // *Florida Entomologist*. 2019. Vol. 102. No. 4. PP. 775–777. <https://doi.org/10.1653/024.102.0416>
13. Pietropaoli M., Tofani S., Formato G., Rubino R.C. Molecular detection of *Acarapis woodi* using hive debris as innovative and non-invasive matrix // *Applied Sciences*. 2022. No. 12. PP. 2837. <https://doi.org/10.3390/app12062837>
14. Quintana S., Szawarski N., Sarlo G. et al. Comparison of qPCR and morphological methods for detection of *Acarapis woodi* in honey bee samples // *Journal of Apicultural Science*. 2019. Vol. 63. No. 1. PP. 125–129. <https://doi.org/10.2478/JAS-2019-0011>
15. Ribani A., Utzeri V.J., Taurisano V., Fontanesi L. Honey as a source of environmental DNA for the detection and monitoring of honey bee pathogens and parasites // *Veterinary Sciences*. 2020. Vol. 7. No. 3. PP. 113. <https://doi.org/10.3390/vetsci7030113>
16. Sakamoto Y., Maeda T., Yoshiyama M. et al. Differential autogrooming response to the tracheal mite *Acarapis woodi* by the honey bees *Apis cerana* and *Apis mellifera* // *Insectes Sociaux*. 2020. No. 67. PP. 95–102. <https://doi.org/10.1007/s00040-019-00732-w>
17. Sammataro D., George Sh., Ochoa R., Otis G. Standard methods for tracheal mite research // *Journal of Apicultural Research*. 2013. Vol. 52. No. 4. PP. 1–20. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.20>
18. Stolbova V.V. Current state of *Acarapis Hirst* mites (Acari-formes, Tarsonemidae) distribution and honeybees infestation in Russia // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. No. 1. PP. 291–298. https://doi.org/10.15421/2021_44
19. Takashima Sh., Ohari Yu., Itagaki T. The prevalence and molecular characterization of *Acarapis woodi* and *Varroa destructor* mites in honeybees in the Tohoku region of Japan // *Parasitology International*. 2020. No. 75. PP. 102052. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2020.102052>
20. World Organisation for Animal Health (WOAH). *Acarapisosis of honey bees (infestation of honey bees with *Acarapis woodi*)* 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.02.01_ACARAPISOSIS.pdf (дата обращения: 12.11.2024).

REFERENCES

Поступила в редакцию 13.11.2024
Принята к публикации 27.11.2024

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СЕПАРИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА*

Андрей Юрьевич Измаилов^{1,2}, академик РАН, профессор, ORCID ID: 0000-0003-1143-7286

Алексей Семенович Дорохов¹, академик РАН, главный научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-4758-3843

Алексей Викторович Сибирев¹, доктор технических наук, главный научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-9442-2276

Максим Александрович Мосяков¹, кандидат технических наук

Николай Викторович Сазонов¹, кандидат технических наук

¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

²Российская академия наук, г. Москва, Россия

E-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аннотация. На современном рынке сельскохозяйственной техники большое количество машин отечественного и, в основном, импортного производства. Актуальная научная проблема — необходимость разработки и подбора научно-обоснованных систем, в том числе с технологическим обеспечением комплексов машин цифровым оборудованием, позволяющим осуществлять мониторинг качества выполнения определенной технологической операции и интерпретации полученной информации техническим средством для изменения исходного состояния объекта воздействия. Цель работы — обосновать конструктивные и режимно-технологические параметры автоматизированных сепарирующих рабочих органов картофелеуборочного комбайна. Выполнена систематизация и обобщение современных технологических процессов уборки картофеля в системе цифрового сельскохозяйственного производства с элементами роботизации процесса сепарации. Разработана технология автоматизированной уборки картофеля в семеноводстве, конструктивно-технологическая сепарирующая система и блок-схема картофелеуборочного комбайна с цифровой системой управления очистки. Выполнено моделирование выносной пальчатой горки с элементами искусственного интеллекта, обеспечивающими распознавание почвенных комков и их отделение от товарной продукции картофеля на клубненосный ворох, чтобы обосновать конструктивные и технологические параметры, при которых достигается высокая полнота сепарации и минимальные повреждения товарной продукции.

Ключевые слова: картофель, овощные культуры, уборка, сепарация, автоматизация, комбайн, теоретические исследования

THEORETICAL JUSTIFICATION OF DESIGN AND OPERATING-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF AUTOMATED SEPARATING WORKING UNITS OF A POTATO HARVESTING MACHINE

A.Yu. Izmailov^{1,2}, Academician of the RAS, Professor

A.S. Dorokhov¹, Academician of the RAS, Chief Researcher

A.V. Sibirev¹, Grand PhD in Engineering Sciences, Chief Researcher

M.A. Mosyakov¹, PhD in Engineering Sciences

N.V. Sazonov¹, PhD in Engineering Sciences

¹FGBNU "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Moscow, Russia

²Russian Academy of Sciences Moscow, Russia

E-mail: sibirev2011@yandex.ru

Abstract. The modern market for agricultural machinery is saturated with a large number of machines, both domestic and mainly imported. Consequently, this circumstance indicates the need to develop and select scientifically based machine systems, including the technological provision of machine complexes with digital equipment that allows monitoring the quality of a certain technological operation and interpreting the received information with a technical means to change the initial state of the affected object, which is current scientific problem. Purpose of the study. Justification of the design, operational and technological parameters of automated separating working bodies of a potato harvester. Material and methods. A systematization and generalization of modern technological processes for harvesting potatoes in seed production was carried out in a digital agricultural production system with elements of robotization of the separation process. A technology has been developed for automated potato harvesting technology in seed production. Research results. A structural and technological separating system for a potato harvester with a digital cleaning control system, a block diagram of an automated separating system for a potato harvester with a digital control system have been developed, the impact of a remote finger hump with an adjustable angle of inclination of the blade with elements of artificial intelligence has been simulated, ensuring the recognition of soil lumps and their separation from commercial potato products to tuberous heap in order to substantiate the design and technological parameters that ensure high separation completeness and minimal damage to commercial products. Discussion and conclusion. The theoretical principles of automated potato harvesting technology in seed production have been established.

Keywords: potatoes, vegetable crops, removal, infected plants, variety-phyto-cleaning, technological platform, initial requirements

* Работа выполнена при государственной поддержке РНФ конкурса 2022 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными No 22-76-10002 / The work was carried out with the state support of the Russian Science Foundation for the 2022 competition "Conducting research by scientific groups led by young Scientists" of the Presidential Program of Research Projects implemented by leading scientists, including young scientists No. 22-76-10002.

Повреждение клубней картофеля при механизированной уборке зависит от многих факторов, главные из них — конструкция картофелеуборочных машин, материал, из которого изготовлены их рабочие органы и режимы. Важны физико-механические свойства клубней, зависящие от сорта, агротехники возделывания, структуры почвы, климатических условий.

Однако определяющее значение на полноту сбора продукции и сохранение урожайности картофеля имеют технологии уборки и технические средства, от конструктивного исполнения которых зависят качество уборки и экономический эффект производства. [9, 11]

Существующие конструкции уборочных машин представляют совокупность систем сепарации, для повышения качества их работы используется сочетание известных схем очистки, повышающих материалоемкость уборочной машины и ее вес, что отрицательно сказывается на плотности почвенного слоя при уборке. [7, 8, 12]

В настоящее время не достаёт автоматизированных инструментов принятия решений, комплексно применяющих данные различных информационных источников для поддержки и оптимизации производственных и технологических процессов.

Чтобы повысить уровень автоматизации следует регистрировать важные параметры в реальном времени или через другие источники и включать их в массив данных, образующихся в результате слияния. Для этого необходимо выполнить обзор конструктивных схем машин для уборки картофеля, на основании результатов определиться с процессами автоматизации и разработки принципиальной конструктивно-технологической схемы комбайна с цифровой системой элементов искусственного интеллекта (ИИ), помогающих распознавать почвенные комки и их отделение от товарной продукции. Следует проанализировать конструктивные схемы современных уборочных машин, оценить эффективность использования картофелеуборочных комбайнов в соответствии с агротехническими показателями.

На территории России и в значительной части постсоветского пространства распространение получили элеваторные комбайны (AVR Esprit, Grimme GV 3000, Kverneland UN 2212, Bolko, Dewulf RA-3060).

Выбор товаропроизводителями данных машин обусловлен высокими показателями качества работы, по сравнению с устаревшей техникой производства ГДР (Е-684, Е665 и другие) и конструкциями машин производства СССР (ККУ-2А, КПК-2, ККР-2), что подтверждается протоколами машинно-испытательных станций.

Элеваторный комбайн Е-665/4 (ГДР) предназначен для уборки картофеля прямым способом и отделения клубней мелкой фракции с последующим сбором ее в отдельный бункер (в процессе движения по полю), а крупной и средней фракции в рядом идущее транспортное средство (рис. 1). [5]

Повышению показателей качества работы уборки способствует линейка машин бельгийской фирмы «AVR», а именно элеваторный комбайн «Esprit», конструктивная схема которого представлена на рисунке 2.

Особенность комбайнов бельгийской фирмы AVR — возможность извлечения клубневого гнезда с боковым подкопом, что также реализовано в комбайне AVR-Spirit-6200 (рис. 3).

Самый распространенный на территории РФ современный бункерный комбайн импортного производства — DR-1500 фирмы «Grimme» (рис. 4).

К конструктивным особенностям комбайнов данного типа следует отнести наличие, помимо основных функционирующих элементов (подкапывающая часть — катки, лемех и боковые отрезные диски), одного или нескольких сепарирующих элеваторов (основной и дополнительные), а также интенсификаторов, комкодавителей, ботвоудалителей (пальчато-гребенчатый, редкопрутковый и другие), продольной горки, подъемного элеватора, переборочного стола, бункера и выгрузного элеватора. [10, 13, 14]

Отличие данного компоновочного решения машины — присутствие дополнительного элеватора, обеспечивающего повышение площади сепарации и, следовательно, качества товарной продукции в результате снижения механических примесей.

Данное конструктивное решение не лишено недостатков, в числе которых повышение материалоемкости машины, повреждение продукции в результате компоновки дополнительных интенсификаторов сепарации механического действия, что обуславливает

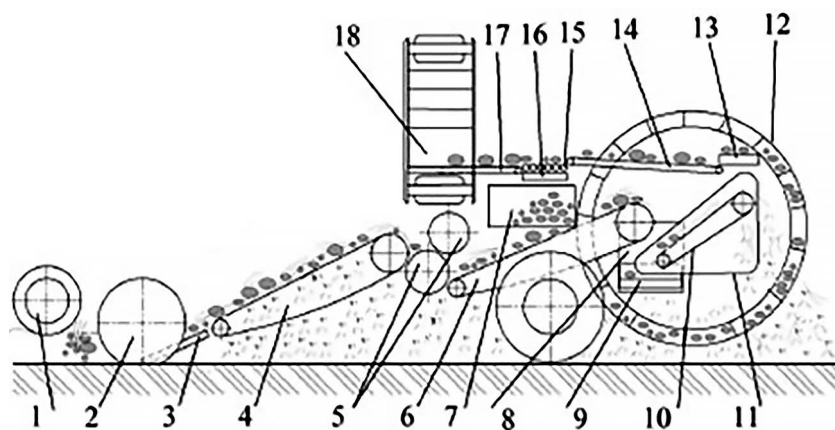


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема комбайна Е-665/4.

- 1 — катки; 2 — активные вертикальные диски; 3 — лемех; 4, 6 — первый и второй прутковые элеваторы; 5 — баллоны комкодавителя; 7 — бункер; 8, 10 — горки; 9, 13 — элеваторы; 11 — ботвоудаляющий транспортер; 12 — подъемный барабан; 14 — переборочный стол; 15 — сортировка; 16 — элеватор для загрузки бункера; 17 — дополнительный элеватор; 18 — основной выгрузной элеватор.

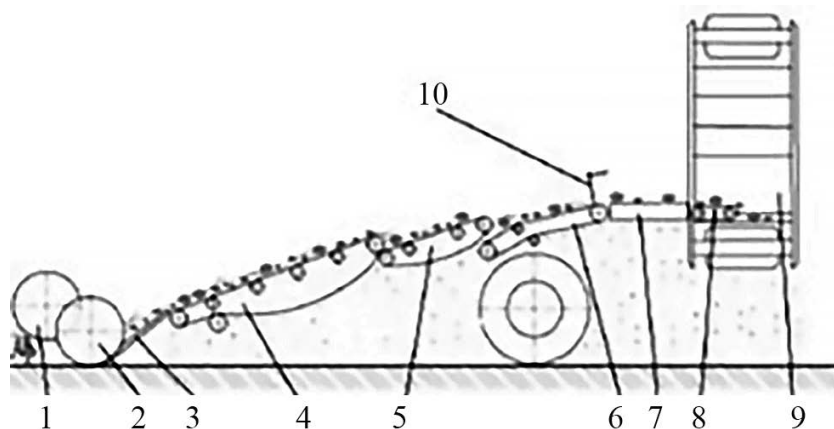


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема комбайна AVR «Esprit».

1 – катки; 2 – вертикальные диски; 3 – лемех; 4, 5, 6 – первый, второй и третий просеивающие элеваторы; 7 – роликовый элеватор; 8 – дополнительный элеватор; 9 – выгрузной элеватор; 10 – гребенчатый ботвоудалитель.

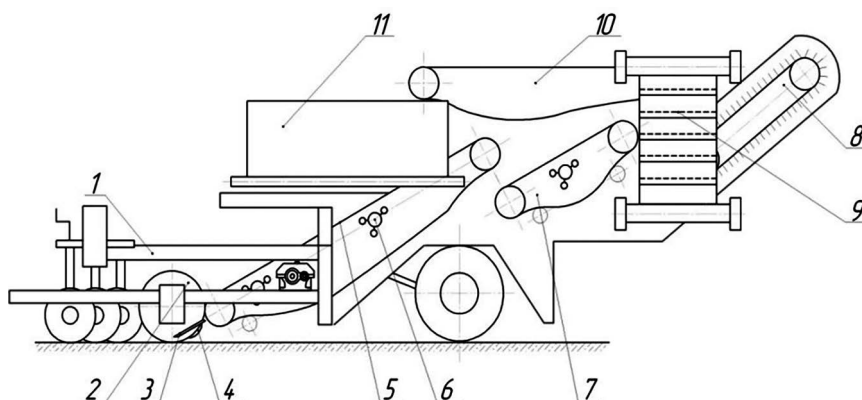


Рис. 3. Конструктивно-технологическая схема комбайна AVR-Spirit-6200.

1 – рама; 2 – вертикальные диски; 3 – подкапывающий лемех; 4 – опорное колесо; 5 – основной элеватор; 6 – встряхиватель; 7 – каскадный элеватор; 8 – пальчатая горка; 9 – ковшовый элеватор; 10 – переборочный стол; 11 – бункер.

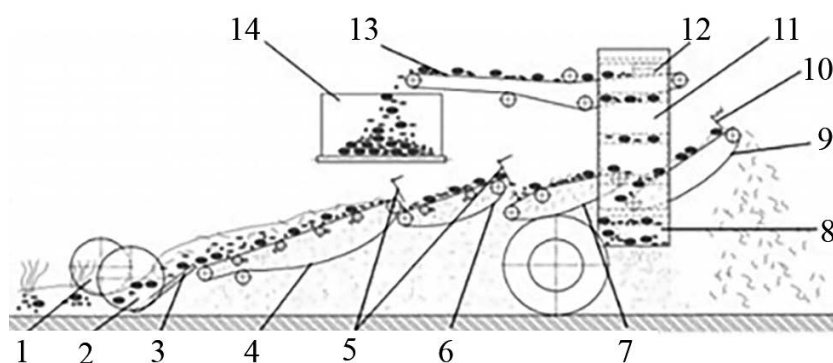


Рис. 4. Технологическая схема комбайна «Dewulf RA-3060».

1 – катки; 2 – вертикальные диски; 3 – лемех; 4 – основной элеватор; 5 – ботвоудалители; 6 – каскадный элеватор; 7 – дополнительный элеватор; 8 – ковшовый элеватор; 9 – пальчатая горка; 10 – отбойный элемент; 11 – поддерживающая лента; 12 – вал; 13 – переборочный стол; 14 – бункер.

дополнительные ударные нагрузки в соответствии с ранее проведенными исследованиями и представленными в открытой печати. [18]

Одно из наиболее удачных компоновочных решений машины для уборки картофеля – комбайн SE 150/60 производства Германии компании «Grimme» (рис. 5).

Положительный аспект комбайна данного типа – «падающая» система сепарации, характеризующаяся наличием минимального количества падений клубней с очистительных устройств, по сравнению с «Dewulf RA-3060».

Для более качественного и оперативного управления сложными процессами в современном сельском

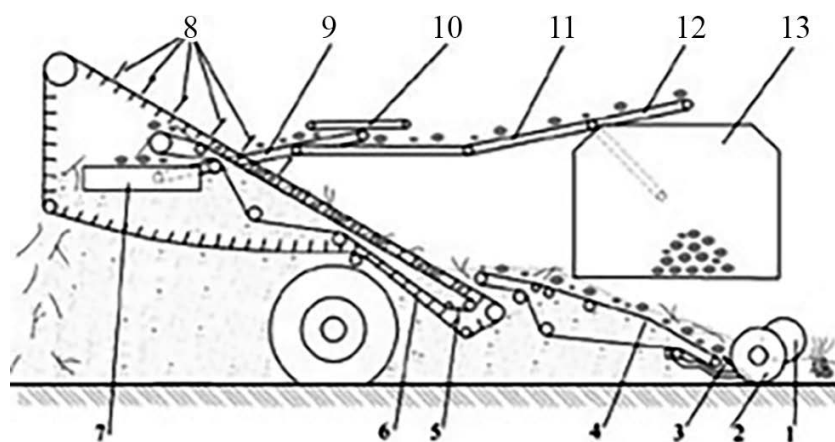


Рис. 5. Технологическая схема комбайна «Grimme» SE 150/60.

1 – катки; 2 – вертикальные диски; 3 – лемех; 4, 5 – первый и второй элеваторы; 6 – ботвоудаляющий транспортер; 7, 9, 10 – первое, второе и третье сепарирующие устройства; 8 – гребенчатый ботвоудалитель; 11 – переборочный стол; 12 – загрузочный элеватор; 13 – бункер.

зайствованном производстве, необходимо слияние различных показателей, получаемых от сенсоров разных типов и информационных источников. Доступные ценные данные не могут быть полностью использованы, если неизвестны или не могут быть установлены алгоритмы их взаимосвязей.

Приводы элеваторов большинства уборочных машин выполнены с возможностью регулировки скорости вращения, но на практике для повышения чистоты сходового вороха чаще всего данный параметр устанавливается на максимальное значение, что приводит к увеличению содержания в сходе травмированных корнеплодов и луковиц.

Поэтому все большее распространение получают электронные системы контроля и поддержания оптимальных режимов работы машин для уборки корнеплодов и лука. Применяют специальные датчики, оценивающие уровень загрузки сепарирующих элеваторов. Данные обрабатываются бортовым компьютером, и по заданному оптимизационному алгоритму устанавливается скорость элеваторов. Это позволяет исключить вмешательство механизатора в технологический процесс сепарации и снизить количество травмированных корнеплодов и луковиц.

Цель работы – обоснование конструктивных и режимно-технологических параметров автоматизированных сепарирующих рабочих органов картофелеуборочного комбайна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При решении поставленных задач использовали методологии системного анализа и синтеза, физического моделирования, основанные на теории искусственных нейронных сетей, теории вероятностей и математической статистики, численные методы решения аналитических зависимостей, классической механики, основные положения теории разрушения, механики грунтов, общепринятые методы проведения лабораторно-полевых исследований. [15, 17, 19]

Достоверность полученных данных обеспечена методами математической обработки и статистического анализа результатов исследований, многофакторно-

го анализа, применением программ «Microsoft Excel», «STATISTICA-6.0». [2, 16, 21]

Для увеличения производительности с одновременным повышением качественных показателей уборки картофеля необходимо создание системы функционирующих элементов уборочной машины с определением величины изменяющегося внешнего воздействия X почвенно-климатических условий адаптации функций состояния Z и управляющего воздействия U (изменение режимных и технологических параметров рабочих органов машины для уборки картофеля) к условиям внешней среды для обеспечения оптимального результирующего показателя (Y) работы уборочной машины. Известно, что под фактором, вызывающим отклонение управляемой величины (результирующий показатель (Y) работы машины для уборки картофеля), понимается какое-либо возмущающее воздействие (внешнее воздействие X почвенно-климатических условий), ему соответствует принцип управления по возмущению. [1, 3, 20]

При управлении по возмущению ставится задача компенсации влияния этого воздействия на управляемую величину. [4] Функциональная схема системы управления с принципом управления по возмущению (принцип Понселе-Чиколева) представлена на рисунке 6.

Возмущающее воздействие $F(t)$ через канал возмущения КВ управляемого объекта УО влияет на управляемую величину $\beta(t)$, вызывая ее отклонение $\theta_L(t)$ от требуемого значения. Принцип управления по возмущению состоит в том, что для уменьшения или устранения отклонения $\theta_L(t)$ управляемой величины от требуемого значения, вызываемого возмущающим воздействием $F(t)$, измеряется и в результате его преобразования, вырабатывается управляющее воздействие $\gamma(t)$, которое приложено к входу объекта УО, вызывает компенсирующее отклонение $\theta_\gamma(t)$ управляемой величины противоположного знака, по сравнению с отклонением $\theta_L(t)$.

Для полной компенсации влияния возмущающего воздействия отклонение $\theta_\gamma(t)$ в каждый момент времени должно быть равно по знаку отклонения $\theta_L(t)$, вызываемому возмущающим воздействием $F(t)$. Измерение и преобразование $F(t)$ осуществляется с по-

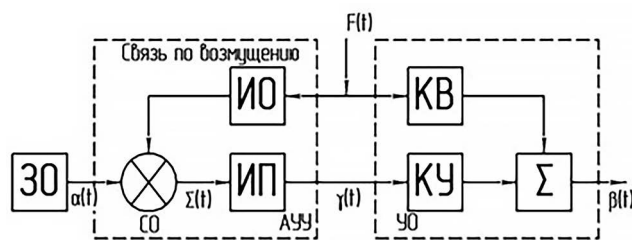


Рис. 6. Схема управления по возмущению.

мощью измерительного элемента (ИЭ), он образует связь по возмущению. Выходное воздействие связи по возмущению (компенсирующее воздействие) в согласующем устройстве (СО) складывается с задающим воздействием $\alpha(t)$, определяющим требуемое значение управляемой величины. Задающее воздействие вырабатывается в задающем органе (ЗО).

Суммарное воздействие $\Sigma(t)$ с помощью усилителя–преобразователя (УП) увеличивается по мощности до величины, необходимой для получения требуемого режима работы объекта. Наряду с усилением $\Sigma(t)$ производится его дополнительное преобразование. Сформированное таким образом управляющее воздействие $\gamma(t)$ с выхода УП поступает на вход объекта и через его канал управления КУ компенсирует влияние возмущающего воздействия, вызывая противоположную реакцию объекта, по сравнению с реакцией, вызываемой возмущающим воздействием через канал возмущения объекта. Связь по возмущению и усилитель–преобразователь образуют автоматическое управляющее устройство (АУУ). АУУ измеряет и преобразует возмущающее воздействие $F(t)$ в соответствии с заложенным алгоритмом управления, вырабатывает управляющее воздействие $\gamma(t)$. Система с принципом управления по возмущению (САУ) имеет алгоритм, общий вид которого представлен функцией: $\gamma(t) = f[F(t)]$ (управляющее воздействие – функция возмущающего воздействия).

На рисунке 6 показано, что в САУ с принципом управления по возмущению имеется два канала влияния возмущающего воздействия $F(t)$ на управляемую величину $\gamma(t)$: канал возмущения (КВ) объекта, считающийся естественным каналом влияния возмущающего воздействия, и канал, образованный обратной связью по возмущению усилителем–преобразователем и КУ объекта – искусственно созданный компенсационный канал. [6]

РЕЗУЛЬТАТЫ

Функциональная схема автоматической системы контроля режимных и технологических параметров сепарирующей системы машины для уборки картофеля представлена на рисунке 7.

Возмущающее воздействие $F_1(t)$ (твердость почвы) воспринимается измерительным органом (ИО) (подкапывающий лемех) и передается на сравнивающий орган (СО) – опорную плиту. Далее сигнал поступает на рабочий орган (РО) (упругий элемент), который создает управляющее воздействие, передающееся на объект управления (ОУ) (шток перемещения), который в свою очередь воздействует на управляемую величину $\gamma_1(t)$ (глубина подкапывания). По мере продвижения машины для уборки картофеля изменяются физико-механические свойства почвы, урожайность товарной продукции, а следовательно и подача вороха на сепарирующие рабочие органы уборочной машины, что влияет на качественные показатели уборки. В каждый момент времени происходит изменение возмущающего воздействия $F_2(t)$ (масса вороха картофеля), которое воспринимается измерительным органом (ИО) (датчик веса) и передается на сравнивающий орган (БУ) (блок управления). Если величина больше определенного значения, то сигнал поступает на РО (механизм вертикального перемещения) и передается на ОУ (вал ведомого ролика приемного элеватора и вал ведомого основного элеватора), изменяющий управляемую величину $\gamma_2(t)$ и $\gamma_3(t)$.

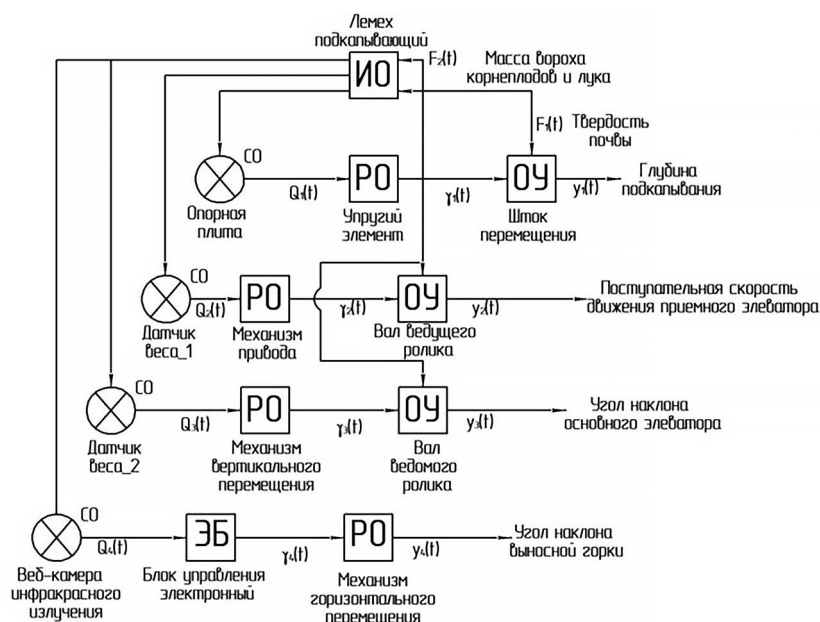


Рис. 7. Функциональная схема системы автоматического контроля режимных и технологических параметров сепарирующей системы машины для уборки картофеля.

элеватора диаметром $D_{\text{пр}}$, то требуемое расстояние S_1 перемещения штока актуаторов в теле цикла рассчитывается по формуле:

$$S_1 = \left[L_{\text{пг}} - \left(\frac{D_{\text{вед}}}{2} + \frac{D_{\text{пр}}}{2} \right) \right] \cdot \sin \alpha_1, \quad (3)$$

где $L_{\text{пг}}$ — длина выносной пальчатой горки, м; $D_{\text{вед}}$ — диаметр ведомого вала барабана пальчатой горки, м; $D_{\text{пр}}$ — диаметр приводного вала барабана пальчатой горки, м.

Моделирование выносной пальчатой горки с регулируемым углом наклона полотна с элементами ИИ, обеспечивающими распознавание почвенных комков и их отделение от товарной продукции картофеля на клубненосный ворох для обоснования конструктивных и технологических параметров, при которых обеспечивается высокая полнота сепарации и минимальные повреждения товарной продукции, выполним при допущениях: стебли ботвы и сорняков расположены на полотне равномерно; компоненты вороха движутся по рабочей поверхности полотна без скольжения; объемный вес растительных и почвенных примесей, соответственно $\gamma_p = 135 \text{ кг/м}^3$, $\gamma_{\text{п}} = 1500 \text{ кг/м}^3$.

Основные свойства изображений при распознавании почвенных комков и клубней картофеля соответствуют дифференцированию оригинала при умножении на p разности между его изображением и значением оригинала в начальный момент:

$$\frac{df(t)}{dt^2} \leftarrow pF(p) - pf(0). \quad (4)$$

Изображение второй производной определяется формулой:

$$\frac{d^2f(t)}{dt^2} \leftarrow p^2F(p) - p^2f(0) - p \left(\frac{df}{dt} \right)_0, \quad (5)$$

n -й производной:

$$\frac{d^nf(t)}{dt^n} \leftarrow p^nF(p) - \sum_{k=0}^{n-1} p^{n-k} f_{(0)}^{(k)}. \quad (6)$$

Для нулевых начальных условий можно записать:

$$\frac{df(t)}{dt} \leftarrow pF(p). \quad (7)$$

Соответственно изображение n -й производной функции при нулевых начальных условиях равносильно умножению изображения этой функции на оператор p в n -й степени:

$$\frac{d^nf(t)}{dt^n} \leftarrow p^nF(p). \quad (8)$$

Рассмотрим звено проектируемой сепарирующей системы (пальчатая горка), описываемое дифференциальным уравнением:

$$T \frac{dx}{dt} + x(t) = K_1 y(t), \quad (9)$$

где $y(t)$ — входное воздействие; $x(t)$ — измерение выходной величины.

Входное воздействие на сепарирующие устройства — сход $Q_{\text{вэл}}$ клубненосного вороха с подкапывающих рабочих органов, который определяется:

$$Q_{\text{вэл}} = \frac{[V_{\text{в}} \cdot (\rho_{\text{п}} + \rho_{\text{л}})] \cdot v_{\text{л}}}{l_{\text{л}}}, \quad (10)$$

где $\rho_{\text{п}}$ — плотность почвы, кг/м^3 ; $\rho_{\text{л}}$ — плотность клубней, кг/м^3 ; $v_{\text{л}}$ — поступательная скорость подкапывающего лемеха, м/с ; $l_{\text{л}}$ — длина подкапывающего лемеха, м.

Сход клубненосного вороха с поверхности сепарирующих устройств находится по выражению:

$$Q_{\text{вэл}} = \frac{m \cdot v_{\text{эл}}}{L_{\text{эл}}}, \quad (11)$$

где m — масса клубненосного вороха на пальчатой горке, кг ; $L_{\text{эл}}$ — длина пальчатой горки, м.

Масса клубненосного вороха на сходе $m_{\text{схэл}}$ с поверхности сепарирующих устройств:

$$m_{\text{схэл}} = 2P' \cdot (m_2 + m_3 + m_{\text{к}}) - (m_2 + m_3 + m_{\text{к}}), \quad (12)$$

где m_1 — масса мелких почвенных примесей, кг ; m_2 — комков почвы, соизмеримых по размерам с клубнями, кг ; m_3 — крупных почвенных комков, кг ; $m_{\text{к}}$ — клубней картофеля, кг ; m_5 — растительных примесей, кг .

Предположим, что $y(t)$ имеет вид единичного скачка:

$$y(t) = Q_{\text{вэл}} = \begin{cases} 1 & \text{при } t \geq 0 \\ 0 & \text{при } t < 0 \end{cases} \quad (13)$$

и до его приложения звено находилось в состоянии покоя, то есть предначальные условия нулевые.

Применяя преобразование Лапласа, решение исходного уравнения в операционной форме получим в виде:

$$X(p) = Y(p)W(p), \quad (14)$$

где $X(p)$ и $Y(p)$ — изображение функций $x(t)$ и $y(t)$;

$$W(p) = \frac{K_1}{T_p + 1} \text{ — передаточная функция звена пальчатой горки.}$$

Изображение единичного скачка:

$$Y(p) = 1. \quad (15)$$

Тогда полученное решение:

$$X(p) = \frac{K_1}{T_p + 1}. \quad (16)$$

Переходя от изображения к оригиналу, найдем закон изменения во времени величины $x(t)$ при заданном характере изменения входной величины.

$$x(t) = K_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (17)$$

Функция, описывающая изменения выходной величины объекта во времени, в результате изменения внешнего воздействия в виде единичного скачка, если

при $t < 0$ объект находился в установившемся состоянии, называется переходной.

Поведение объектов или систем автоматического регулирования обычно описывается более сложными дифференциальными уравнениями. Их операторное решение получается в виде отношения полиномов $M(p)$ и $N(p)$, причем обычно $n > m$:

$$X(p) = \frac{M(p)}{N(p)}. \quad (18)$$

$$M(p) = b_1 p^m + b_2 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m. \quad (19)$$

$$N(p) = a_1 p^n + a_2 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n. \quad (20)$$

Угол α_{Π} подъема полотна пальчатой горки в поперечном направлении определяется по формуле:

$$\alpha_{\Pi} > \varphi_{\text{эл}} + \arctg \frac{a_e}{g}, \quad (21)$$

где $\varphi_{\text{эл}}$ — угол трения клубненосного вороха по поверхности пруткового элеватора, град; a_e — переносное ускорение материальной точки, м/с²; g — ускорение свободного падения материальной точки, м/с².

Выводы. Выполнено теоретическое обоснование конструктивных и режимно-технологических параметров комплекса сепарирующих и комкоразрушающих рабочих органов с элементами искусственного интеллекта, обеспечивающих распознавание почвенных комков и их отделение от товарной продукции картофеля.

Определена мощность, затрачиваемая на привод интенсификаторов сепарации (комкоразрушающие устройства) пальчатой горки — 1,7097 кВт, включающая мощность, расходуемую на деформацию почвы и мощность на отбрасывание почвенных частиц с учетом их площади (не более 0,094 м²) и скорости движения.

Установлено, что относительное изменение управляемого перемещения рабочего исполнительного механизма, регулирующего углы α наклона элеваторов и выносной пальчатой горки определяется подачей вороха клубней картофеля на подкапывающий лемех, коэффициентом преобразования тензодатчика веса в частоту электрического сигнала и частотой электрического сигнала на выходе из тензодатчика.

Разработана конструктивно-технологическая схема сепарирующей системы картофелеуборочного комбайна с цифровой системой управления. Основные свойства изображений при распознавании почвенных комков и клубней картофеля соответствуют дифференцированию оригинала при умножении разности между его изображением и значением оригинала в начальный момент.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Альт В.В., Исакова С.П. Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. № 17(4). С. 12–18. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18>
2. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. № 17(4). С. 62–67. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67>
3. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. Аналитические исследования машинно-технологических комплексов для сорто-фиточистки посадок картофеля и овощных культур в селекции и семеноводстве // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 76–82. Режим доступа: <https://agrojr.ru/index.php/asj/article/view/2005>
4. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. и др. Концептуальные основы создания автоматизированного комбайна для уборки картофеля с цифровой системой идентификации почвенных комков и их отделения от товарной продукции // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № (5). С. 98–104. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/5/98-104>
5. Казаков С.С., Живаев О.В., Никулин А.В. Конструкционные пути снижения повреждаемости клубней посадочного картофеля при работе цепочно-ложечного высаживающего аппарата // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 3. С. 29–34. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-3-29-34>
6. Лачуга А.Ю., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2018. № 7. С. 2–7. Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-iyul-7-253-2018-g>
7. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // Электро-технологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 36. С. 40–45. Режим доступа: <https://vestnik.viesh.ru/journal/vypusk-3-36-2019/>
8. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. № 15(4). С. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
9. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. № 16(4). С. 4–12. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>
10. Отчет Отделения сельскохозяйственных наук РАН о выполнении фундаментальных и поисковых научных исследований в 2017 г. / А.В. Гарист, А.А. Алферов, Е.А. Демакова и др. М.: ОСХН РАН. 2018. 412 с.
11. Петухов С.Н. Состояние технического и технологического обеспечения селекции и оригинального семеноводства картофеля // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4. С. 76–84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36852656> (дата обращения: 20.04.2022).
12. Федоренко В.Ф., Мишурунов Н.П., Неменуша Л.А. Анализ состояния и перспективы развития селекции и семеноводства овощных культур: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 96 с. <https://rosinformagrotech.ru/data/elektronnye-kopii-izdaniy/rastenievodstvo/send/5-rastenievodstvo/1396-analiz-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya-selektcii-i-semenovodstva-ovoshchnykh-kultur-2019>
13. Abd El-Rahman M.M.A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets // Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2014. Vol. 2. Issue 2. PP. 213–226. <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>

14. Azizi P., Dehkordi N.S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade // *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2014. Vol. 47. PP. 5–13. URL: <https://clck.ru/bnNAf> (дата обращения: 20.04.2022).
15. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey // *Robotics*. 2015. Vol. 4. Issue 2. PP. 194–222. <https://doi.org/10.3390/robotics4020194>
16. Dongre A.U. et al. Development of Potato Harvesting Model // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017. Vol. 4. Issue 10. PP. 1567–1570. <https://www.irjet.net/archives/V4/i10/IRJET-V4I10288.pdf> (дата обращения: 20.04.2022).
17. Dongxia S., Aimin Z., Jianxun G. Design and Experiment on 1SZL–250A Type Sub Soiling Rotary Tillage Fertilizer Combined Soil Working Machine [Электронный ресурс] // *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*. 2016. Vol. 37. Issue 4. https://caod.orioprobe.com/articles/47747497/Design_and_experiment_on_1SZL%E2%80%9494250A_type_sub_soilin.htm (дата обращения: 20.04.2022).
18. Dandekar I. et al. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine // *Journal of Information and Computational Science*. 2019. Vol. 9. Issue 12. PP. 333–337. <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (дата обращения: 20.04.2022).
19. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine // *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12. Issue 5. PP. 4489–4490. http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0817_6236.pdf (дата обращения: 20.04.2022)
20. Shangyu M. et al. Soil Water Use, Grain Yield and Water Use Efficiency of Winter Wheat in a Long-Term Study of Tillage Practices and Supplemental Irrigation on the North China Plain // *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 150. PP. 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.011>
21. Zhang Z.J., Jia H.L., Sun J.Y. Review of Application of Biomimetics for Designing Soil-Engaging Tillage Implements in Northeast China // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016. Vol. 9. Issue 4. PP. 12–21. <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1437> (дата обращения: 20.04.2022).
1. Al't V.V., Isakova S.P. Planirovanie rabot pri vozdeleyanii zernovykh kul'tur: programmnye komponenty // *Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. № 17(4). S. 12–18. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18>
2. Ahalaya B.H., Cench Yu.S. Kombinirovannyj agregat dlya obrabotki pochvy impul'snym vozdeystviem udarnoj volny // *Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. № 17(4). S. 62–67. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67>
3. Dorohov A.S., Aksenov A.G., Sibiryov A.V., Mosyakov M.A. Analiticheskie issledovaniya mashinno-tekhnologicheskikh kompleksov dlya sorto-fitoprochistki posadok kartofelya i ovoshchnykh kul'tur v selekcii i semenovodstve // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2022. № 4. S. 76–82. Rezhim dostupa: <https://agrojr.ru/index.php/asj/article/view/2005>
4. Dorohov A.S., Sibiryov A.V., Mosyakov M.A. i dr. Konceptual'nye osnovy sozdaniya avtomatizirovannogo kombajna dlya uborki kartofelya s cifrovoj sistemoy identifikacii pochvennykh komkov i ih otdeleniya ot tovarnoj produkcii // *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2023. № (5). S. 98–104. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/5/98-104>
5. Kazakov S.S., Zhivaev O.V., Nikulin A.V. Konstrukcionnye puti snizheniya povrezhdaemosti klubnej posadochnogo kartofelya pri rabote sepochno-lozhechnogo vysazhivayushchego apparata // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2019. № 3. S. 29–34. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-3-29-34>
6. Lachuga Yu.F., Izmajlov A.Yu., Lobachevskij Ya.P., Shogenov Yu.H. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i cifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skohozyajstvennoj produkcii // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. № 7. S. 2–7. Rezhim dostupa: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/tekhnika-i-oborudovanie-dlya-sela-iyul-7-253-2018-g>
7. Lobachevskij Ya.P., Bejlis V.M., Cench Yu.S. Aspekty cifrovizacii sistemy tekhnologii i mashin // *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. № 36. S. 40–45. Rezhim dostupa: <https://vestnik.viesh.ru/journal/vypusk-3-36-2019/>
8. Lobachevskij Ya.P., Dorohov A.S. Cifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo hozyajstva // *Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. № 15(4). S. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
9. Lobachevskij Ya.P., Cench Yu.S. Principy formirovaniya sistem mashin i tekhnologii dlya kompleksnoj mekhanizacii i avtomatizacii tekhnologicheskikh processov v rastenievodstve // *Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. № 16(4). S. 4–12. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>
10. Otchet Otdeleniya sel'skohozyajstvennykh nauk RAN o vypolnenii fundamental'nykh i poiskovykh nauchnykh issledovanij v 2017 g. / A.V. Garist, A.A. Alferov, E.A. Demakova i dr. M.: OSHN RAN. 2018. 412 s.
11. Petuhov S.N. Sostoyanie tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo obespecheniya selekcii i original'nogo semenovodstva kartofelya // *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2018. № 4. S. 76–84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36852656> (дата обращения: 20.04.2022).
12. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Nemenushchaya L.A. Analiz sostoyaniya i perspektivy razvitiya selekcii i semenovodstva ovoshchnykh kul'tur: nauch. analit. obzor. M.: FGBNU «Rosinformagrotech», 2019. 96 s. <https://rosinformagrotech.ru/data/electronnye-kopii-izdaniy/rastenievodstvo/send/5-rastenievodstvo/1396-analiz-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya-selekcii-i-semenovodstva-ovoshchnykh-kul'tur-2019>
13. Abd El-Rahman M.M.A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets // *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2014. Vol. 2. Issue 2. PP. 213–226. <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>
14. Azizi P., Dehkordi N.S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade // *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2014. Vol. 47. PP. 5–13. URL: <https://clck.ru/bnNAf> (дата обращения: 20.04.2022).
15. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey // *Robotics*. 2015. Vol. 4. Issue 2. PP. 194–222. <https://doi.org/10.3390/robotics4020194>
16. Dongre A.U. et al. Development of Potato Harvesting Model // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017. Vol. 4. Issue 10. PP. 1567–1570. <https://www.irjet.net/archives/V4/i10/IRJET-V4I10288.pdf> (дата обращения: 20.04.2022).
17. Dongxia S., Aimin Z., Jianxun G. Design and Experiment on 1SZL–250A Type Sub Soiling Rotary Tillage Fertilizer Combined Soil Working Machine [Электронный ресурс] //

- Journal of Chinese Agricultural Mechanization. 2016. Vol. 37. Issue 4. https://caod.oriprobe.com/articles/47747497/Design_and_experiment_on_1SZL%E2%80%94type_sub_soilin.htm (дата обращения: 20.04.2022).
18. Dandekar I. et al. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine // Journal of Information and Computational Science. 2019. Vol. 9. Issue 12. PP. 333–337. <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (дата обращения: 20.04.2022).
 19. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. Issue 5. PP. 4489–4490. http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0817_6236.pdf (дата обращения: 20.04.2022).
 20. Shangyu M. et al. Soil Water Use, Grain Yield and Water Use Efficiency of Winter Wheat in a Long-Term Study of Tillage Practices and Supplemental Irrigation on the North China Plain // Agricultural Water Management. 2015. Vol. 150. PP. 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.011>
 21. Zhang Z.J., Jia H.L., Sun J.Y. Review of Application of Biomimetics for Designing Soil-Engaging Tillage Implements in Northeast China // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2016. Vol. 9. Issue 4. PP. 12–21. <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1437> (дата обращения: 20.04.2022).

Поступила в редакцию 27.04.2024

Принята к публикации 11.05.2024



Агрохим XXI

АЛЕБАРДА

высокоэффективный селективный гербицид
системного действия для подавления злаковых
сорняков при послевсходовом применении
на посевах зерновых культур.



МИКСФИЛ

двухкомпонентный фунгицид
для протравливания семян.



Москва, 119331, проспект Вернадского, д. 29
тел.8(499) 138-31-28, 138-31-33
www.agrochim-xxi.ru