

---

*Научно-теоретический журнал*

# ВЕСТНИК

*Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*

---

*октябрь – декабрь 2025 №4 (72)*

*Scientific-theoretical journal*

# VESTNIK

*Of Ulyanovsk State Agricultural Academy*

#### УЧРЕДИТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
"Ульяновский государственный аграрный  
университет имени П.А. Столыпина"

432000, Ульяновская область, г.о. город  
Ульяновск, г. Ульяновск, б-р Новый Венец, зд.1  
Тел. 8 (8422)55-95-83

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

А.А. Павлушин, д.т.н., профессор, (Ульяновск)

#### ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

В.И. Курдюмов, д.т.н., профессор (Ульяновск)

В.А. Исачев, д.с.-х.н., профессор, (Ульяновск)

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

М.В. Арисов, д.в.н., профессор (Москва)

А.В. Бушов, д.б.н., профессор (Ульяновск)

В.Г. Васин, д.с.-х.н., профессор (Самара)

А.А. Волков, д.в.н., профессор (Саратов)

Ю.А. Гусева, д.с.-х.н., профессор (Саратов)

В.Г. Захаров, д.с.-х.н., (Ульяновск)

Б.Г. Зиганшин, д.т.н., профессор (Казань)

А. В. Козлов, д.б.н., доцент (Москва)

А.Г. Кошарев, д.б.н., профессор (Краснодар)

А.А. Курочкин, д.т.н., профессор (Пенза)

Е.Н. Кузин, д.с.-х.н., профессор (Пенза)

О.С. Ларионова, д.б.н., доцент (Саратов)

В.И. Максимов, д.б.н., профессор (Москва)

Е.М. Марьин, д.в.н. (Ульяновск)

С.М. Надежкин, д.б.н., профессор (Москва)

Р. В. Некрасов, профессор РАН (Подольск)

И.Л. Обухов, д.б.н., профессор (Москва)

Н.В. Пименов, д.б.н., профессор РАН (Москва)

Е.М. Романова, д.б.н., профессор (Ульяновск)

П.В. Сенин, д.т.н., профессор (Саранск)

М.А. Спыну, д.в.н., профессор (Клуж-Напока, Румыния)

А.А. Стекольников, д.в.н., академик РАН (Санкт-Петербург)

С.Ф. Суханова, д.с.-х.н., профессор (Санкт-Петербург)

А.Л. Тойгильдин, д.с.-х.н. (Ульяновск)

Н. М. Троц, д.с.-х.н., профессор (Самара)

А.Л. Хохлов, д.т.н., профессор (Ульяновск)

М. Эйнгор, д.в.н. (Израиль)

И. В. Юдаев, д.т.н., профессор (Краснодар)

П. Мите, доктор (Бад-Лангензальц, Германия)

Д. Трауц, доктор, профессор (Оснабрюк, Германия)

#### РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

Выпускающий редактор

И.С. Раксина

Дизайн, верстка

Д.Н. Хлынов

Корректор

И.А. Нурутдинова

Перевод на английский язык

М.Н. Наумова

ISSN 1816-4501

DOI 10.18286/1816-4501

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий и массовых  
коммуникаций (Роскомнадзор) 13.06.2019 г.  
Регистрационный номер ПИ № ФС 77-75896

По решению ВАК РФ журнал входит в Перечень ведущих рецен-  
зируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть  
опубликованы основные научные результаты кандидатских  
и докторских диссертационных работ.  
Издание включено в систему Российского индекса научного ци-  
тирования.

Подписано в печать 15.12.2025

Дата выхода в свет 15.12.2025

Формат 70 Х108 / 8

Печ. л. 8,0 Усл. п.л.25,0

Тираж 500 экз. Свободная цена

Адрес издателя, редакции, типографии  
432000, Ульяновская область, г.о. город  
Ульяновск, г. Ульяновск, б-р Новый Венец, зд.1  
Тел. 8 (8422)55-95-83,  
e-mail: rid-ugsha@yandex.ru

© ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2025

#### в номере:

#### 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж., Щербина Е. В.

Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы  
в чернозёмной степи Среднего Поволжья ..... 6

Гулянов Ю. А.

К вопросу о современных климатических вызовах устойчивому  
земледелию в степных регионах России..... 12

Митрофанов Д. В.

Влияние почвенно-климатических условий, минеральных удобрений  
и предшественников на продуктивность сидеральных севооборотов  
и плодородие степных чернозёмов Предуралья ..... 20

Пех А. А., Козырев А. Х.

Продуктивность могоара в зависимости от норм, способов и сроков сева  
..... 29

Сафина Д. Р., Ярмиева А. И., Шаймуллина Г. Х., Сафин Р. И.

Влияние эндофитных бактерий на эффективность азотфиксирующего  
симбиоза у различных сортов сои ..... 36

Тойгильдин А. Л., Мухаметвалеев Л. Р., Тойгильдина И. А.

Режим органического вещества и баланс гумуса почвы при  
возделывании сои по технологии прямого посева в лесостепи Среднего  
Поволжья ..... 42

#### 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

Ковтунова Н. А.

Сравнительная оценка перспективных сортов и линий суданской травы  
..... 49

Козьякова Н. Н., Понажев В. П.

Эффективность методов отбора растений льна-долгунца по новым  
признакам в первичном семеноводстве ..... 55

#### 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л.

Агрономическая эффективность действия органических удобрений  
на урожайность, содержание белка и азота в зерне и соломе озимой  
пшеницы ..... 61

Волкова Е. С., Куликова А. Х., Яшин Е. А.

Цеолитсодержащие удобрения для озимой пшеницы: экономическая  
целесообразность и агроэнергетическая оценка ..... 70

Селиванова М. В., Есаулко А. Н.

Влияние агрофизических свойств субстрата на урожайность томата  
в условиях шестой световой зоны ..... 77

Чичигинаров В. В., Петрова И. И.

Оценка агрохимических и эколого-токсикологических показателей  
неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв ..... 83

#### 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки)

Алмакаева И. А., Марьин Е. М., Терентьева Н. Ю.

Лейкоцитарный профиль крови коров, больных послеродовым  
эндометритом ..... 92

Полянская А. И., Васильев Д. В.

Чревная артерия козы зааненской породы ..... 99

Савинков А. В., Андриец К. Д.

Клиническая эффективность использования препарата  
«Полиметилсилоксана полигидрат (ЭнтероЗоо)» при гастроэнтеральных  
расстройствах с диарейным синдромом бактериального  
происхождения у лабораторных крыс ..... 106

#### 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (биологические науки)

Душенина О. А., Карпенко Л. Ю., Домнина Т. Н. Морфологическое исследование лимфатических узлов крыс при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений.....	114
Жданова О. Б., Мартусевич А. К., Часовских О. В. Возможности биомоделирования трихинеллеза, вызванного <i>Trichinella pseudospiralis</i> и <i>Trichinella spiralis</i> , у морских свинок .....	121

#### 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

Морозов В. Ю., Суханова С. Ф., Салеева И. П., Колесников Р. О. Использование нового дезинфицирующего препарата на основе органических кислот для обеззараживания поверхности скорлупы инкубационных яиц.....	127
---	-----

#### 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (биологические науки)

Картакаева С. С., Ломакин А. А., Феоктистова Н. А. Изучение основных биологических свойств полевых изолятов <i>Aeromonas salmonicida</i> .....	133
Сулдына Е. В., Раксина И. С., Нафеев А. А. Разработка и оптимизация видоспецифичной праймерной системы для детекции <i>Listeria seeligeri</i> .....	140

#### 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)

Евстифеев В. В., Яковлев С. И., Мингалева Д. Н. Подбор адъюванта для поливидовой инактивированной вакцины против хламидиоза сельскохозяйственных животных .....	146
Кабардиев С.Ш., Карпущенко К.А., Оздемирова Д.М. Эпизоотологические особенности смешанной инвазии фасциолеза и дикроцелиоза крупного рогатого в республике Дагестан .....	152
Межиева З. Х., Моторыгин А. В., Панин А.Н., Шестаков А. Г. Оценка переносимости сухой антиоксидантной сыворотки против эшерихиоза у телят черно-пестрой породы .....	159

#### 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)

Тренина А. С., Юдин В. М., Воробьева С. Л. Аборигенные и интродуцированные породы пчел в Удмуртии: сравнительная оценка продуктивных и адаптивных качеств .....	166
Чепуштанова О.В. Шляхтина Н.Н. Мясная продуктивность перепелов при применении кормовой добавки «Биогерм» .....	173

#### 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)

Гостева Е. Р., Дунина В. А. Генетический потенциал симментальской породы, разводимой в Нижнем Поволжье .....	180
Лукьянова Р. В., Катмаков П. С., Бушов А. В. Молочная продуктивность коров разных генеалогических линий, отобранных в группу матерей быков .....	187

#### 4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки)

Свешникова Е.В., Тураева Е. Е., Романова Е. М., Романов В. В. Влияние абиотических факторов на темпы роста и выживаемость пресноводной креветки <i>Macrobrachium rosenbergii</i> в условиях аквакультуры .....	194
---	-----

#### 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Зыкин Е.С., Курдюмов В.И., Албутов С.П. Сравнительная оценка энергетической эффективности технологий возделывания сои .....	200
Морозов А.В., Еремеев А.Н., Болтенков А. А. Напряженно-деформированное состояние при несвободном объемном электромеханическом дорновании тонкостенных бронзовых втулок .....	207
Прошкин В. Е., Курдюмов В. И., Богатский Р. В., Прошкин Е. Н. Производственные исследования планчато-волнового катка .....	214
Сафин Р. Г., Родионов А. С., Тимербаев Н. Ф. Определение коэффициента влагопроводности вторичного растительного сырья решением обратной задачи массопроводности .....	221
Хохлов А. А., Хохлов А. Л., Цыбин А. А. Определение кинематической вязкости и плотности дизельного смесового топлива .....	229

## FOUNDER

Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education  
"Ulyanovsk State Agrarian University  
named after P.A. Stolypin"

432000, Ulyanovsk Region, Ulyanovsk City  
Ulyanovsk, Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, building 1  
Tel. 8 (8422) 55-95-83

## EDITOR-IN-CHIEF

A. A. Pavlushin, doctor of technical sciences, professor, (Ulyanovsk)

## DEPUTY CHIEF EDITOR

V. I. Kurdyumov, doctor of technical sciences, professor (Ulyanovsk)

V. A. Isaychev, doctor of agricultural sciences, professor, (Ulyanovsk)

## EDITORIAL TEAM:

M. V. Arisov, doctor of veterinary sciences, professor (Moscow)

A. V. Bushov, doctor of biological sciences, professor (Ulyanovsk)

V. G. Vasin, doctor of agricultural sciences, professor (Samara)

A. A. Volkov, doctor of biological sciences, professor (Saratov)

Yu. A. Guseva, doctor of agricultural science, professor (Saratov)

V. G. Zakharov, doctor of agricultural sciences (Ulyanovsk)

B. G. Ziganshin, doctor of technical sciences, professor (Kazan)

A. V. Kozlov, doctor of biological sciences, professor

A. G. Koschaev, doctor of biological sciences, professor (Krasnodar)

E. N. Kuzin, doctor of agricultural sciences, professor (Penza)

A. A. Kurochkin, doctor of technical sciences, professor (Penza)

O. S. Larionova, doctor of biological sciences, professor (Saratov)

E. M. Maryin, doctor of veterinary sciences, professor, (Ulyanovsk)

V. I. Maksimov, doctor of biological sciences, professor (Moscow)

S. M. Nadezhkin, doctor of biological sciences, professor (Moscow)

R. V. Nekrasov, Professor of the RAS

I. L. Obukhov, doctor of biological sciences, professor (Moscow)

N. V. Pimenov, doctor of biological sciences, professor of the RAS (Moscow)

E. M. Romanova, doctor of biological sciences, professor (Ulyanovsk)

P. V. Senin, doctor of technical sciences, professor (Saransk)

A. A. Stekolnikov, doctor of veterinary sciences, academician RAS

(Sankt-Petersburg)

M. A. Spinu doctor of veterinary science, professor (Cluj – Napoca, Romania)

S. F. Sukhanova, doctor of agricultural sciences, professor (Sankt-Petersburg)

A. L. Toygildin, doctor of agricultural sciences (Ulyanovsk)

N. M. Trots, doctor of agricultural sciences, professor (Samara)

A. L. Khokhlov doctor of technical sciences, professor (Ulyanovsk)

I. V. Yudaev, doctor of technical sciences, professor (Krasnodar)

M. Einhor, doctor of veterinary sciences (Israel)

P. Miethe, doctor (Germany)

D. Trautz, doctor, professor (Germany)

## EDITORIAL STAFF:

Executive editor I. S. Raksina

Design and layout D. N. Khlynov

Corrector I. A. Nurutdinova

English translation M. N. Naumova

ISSN 1816-4501

DOI 10.18286/1816-4501

The edition is registered by Federal service for supervision in the sphere  
of communications, information technology and mass communications  
13 June 2019. Registration ПИ № ФЦ 77-75896

Signed for printing 15.12.2025

Publication – 15.12.2025

Format 70 x 108/8

Pr. sheet 8,0 Conv. pr. sheet 25,0

Printing 500 iss. Free price

Address of publisher, editorial office, printing house

432000, Ulyanovsk Region, Ulyanovsk City

Ulyanovsk, Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, building 1

Tel. 8 (8422) 55-95-83,

e-mail: rid-ugsha@yandex.ru

© FSBEI HE Ulyanovsk SAU, 2025

## contents:

### 4.1.1. General Agriculture and Crop Production (Agricultural Sciences)

Goryanin O.I., Dzhangabaev B.Zh., Shcherbina E.V.  
Economic efficiency of winter wheat cultivation in the black soil steppe of  
the Middle Volga region ..... 6

Gulyanov Yu.A.  
On the current climate challenges to sustainable agriculture in the steppe  
regions of Russia ..... 12

Mitrofanov D.V.  
The impact of soil and climatic conditions, mineral fertilizers, and forecrops  
on the productivity of green manure crop rotations and the fertility of  
steppe black soils in the Cis-Urals ..... 20

Pekh A.A., Kozyrev A.Kh.  
Mogar Productivity Depending on Sowing Rates, Methods and Timing ..... 29

Safina D.R., Yarmieva A.I., Shaimullina G.Kh., Safin R.I.  
Influence of endophytic bacteria on the efficiency of nitrogen-fixing  
symbiosis in different soybean varieties ..... 36

Toygildin A.L., Mukhametvaleev L.R., Toygildin I.A.  
Organic matter regime and soil humus balance during direct-seeding  
soybean cultivation in the Forest-steppe of the Middle Volga region ..... 42

### 4.1.2. Plant selection, seed production, and biotechnology (Agricultural sciences)

Kovtunova N.A.  
Comparative evaluation of promising sudangrass varieties and lines ..... 49

Kozyakova N.N., Ponazhev V.P.  
Efficiency of methods for selecting fiber flax plants for new traits in primary  
seed production ..... 55

### 4.1.3. Agrochemistry, soil science, plant protection and quarantine (Agricultural sciences)

Bakaeva N.P., Saltykova O.L.  
Agronomic efficiency of organic fertilizers on yield, protein and nitrogen  
content in grain and straw of winter wheat ..... 61

Volkova E.S., Kulikova A.Kh., Yashin E.A.  
Zeolite-containing fertilizers for winter wheat: economic feasibility and  
agroenergy assessment ..... 70

Selivanova M.V., Esaulko A.N.  
The influence of the agrophysical properties of the substrate on tomato yield  
in the conditions of the sixth light zone ..... 77

Chichiginarov V.V., Petrova I.I.  
Assessing the Agrochemical and Eco-Toxicological Parameters of Unused  
Cropland in Permafrost Soils ..... 83

### 4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology (Veterinary sciences)

Almakaeva I.A., Maryin E.M., Terentyeva N.Yu.  
Leukocyte profile of the blood of cows with postpartum endometritis ..... 92

Polyanskaya A.I., Vasiliev D.V.  
Celiac artery of the Saanen goat ..... 99

Savinkov A.V., Andriets K.D.  
Clinical efficacy of «Polymethylsiloxane polyhydrate (Enterozoo)» for  
gastroenteric disorders with diarrheal syndrome of bacterial origin in  
laboratory rats ..... 106

### 4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology (Biological sciences)

Dushenina O.A., Karpenko L.Yu., Domnina T.N.  
Morphological study of lymph nodes of rats administered a chelated mineral  
feed supplement ..... 114



Zhdanova O.B., Martusevich A.K., Chasovskikh O.V.

Potential for biomodeling of trichinellosis caused by *Trichinella pseudospialis* and *Trichinella spiralis* among guinea pigs ... 121

#### 4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Veterinary sciences)

Morozov V.Yu., Sukhanova S.F., Saleeva I.P., Kolesnikov R.O.

Use of a new disinfectant based on organic acids for decontamination of egg shell surfaces in incubation ..... 127

#### 4.2.3. Infectious diseases and animal immunology (Biological sciences)

Kartakaeva S.S., Lomakin A.A., Feoktistova N.A.

Study of the main biological properties of field isolates of pathogen *Aeromonas salmonicida* ..... 133

Suldina E.V., Raksina I.S., Nafeev A.A.

Development and optimization of a species-specific primer system for detecting *Listeria seeligeri*..... 140

#### 4.2.3. Infectious diseases and animal immunology (Veterinary sciences)

Evstifeev V.V., Yakovlev S.I., Mingaleev D.N.

Adjuvant selection for a multispecies inactivated chlamydia vaccine for farm animals ..... 146

Kabardiev S.Sh., Karpushchenko K.A., Ozdemirova D.M.

Epizootological features of mixed Infestations of fascioliasis and dicrocoeliasis in bovines in the republic of Dagestan ..... 152

Mezhieva Z.Kh., Motorygin A.V., Panin A.N., Shestakov A.G.

Evaluation of the tolerability of a dry antitoxic serum against *E. coli* in black-and-white calves ..... 159

#### 4.2.4. Special animal husbandry, feeding, feed production technologies and livestock product manufacturing (Agricultural sciences)

Tronina A.S., Yudin V.M., Vorobyeva S.L.

Meat productivity of quail fed with the Biogerm feed additive ..... 173

Gosteva E.R., Dunina V.A.

Genetic potential of the Simmental breed raised in the Lower Volga region ..... 180

Lukyanova R.V., Katmakov P.S., Bushov A.V.

Milk productivity of cows of different pedigree lines selected as bull sires ..... 187

#### 4.2.6. Fisheries, aquaculture and industrial fishing (Biological sciences)

Sveshnikova E.V., Turaeva E.E., Romanova E.M., Romanov V.V.

The influence of abiotic factors on the growth rate and survivability of the *Macrobrachium rosenbergii* freshwater shrimp in aquaculture ..... 194

#### 4.3.1. Technologies, machines and equipment for agro-industrial complex (Technical sciences)

Zykin E.S., Kurdyumov V.I., Albutov S.P.

Comparative assessment of the energy efficiency of soybean cultivation technologies ..... 200

Morozov A.V., Ereemeev A.N., Boltenkov A.A.

Stress-strain state during constrained volume electromechanical mandling of thin-walled bronze bushings ..... 207

Proshkin V.E., Kurdyumov V.I., Bogatsky R.V., Proshkin E.N.

Industrial research of a slatted-wave roller..... 214

Safin R.G., Rodionov A.S., Timerbaev N.F.

Determining the moisture conductivity coefficient of secondary plant materials by solving the inverse problem of mass conductivity ..... 221

Khokhlov A.A., Khokhlov A.L., Tsybin A.A.

Specification of the kinematic viscosity and density of diesel blend fuel ..... 229

## 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-6-11

УДК 551.58:631.58:633.1 (470.40/43)

**Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в чернозёмной степи Среднего Поволжья**

**О. И. Горянин**✉, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела земледелия и новых технологий

**Б. Ж. Джангабаев**, старший научный сотрудник отдела земледелия и новых технологий

**Е. В. Щербинина**, младший научный сотрудник отдела земледелия и новых технологий

Самарский Федеральный исследовательский центр РАН, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова,

446254, Самарская область, п. Безенчук, ул. К.-Маркса, дом 41, ✉ samniisch@mail.ru

**Резюме.** Работу выполняли с целью выявления оптимальных элементов технологии при выращивании озимой мягкой пшеницы в чернозёмной степи Среднего Поволжья для получения максимальной эффективности производства. Семь вариантов элементов технологий озимой пшеницы Базис (Фактор А) изучали в двух шестипольных севооборотах (Фактор Б) в 2021-2024 гг. на чернозёме обыкновенном. Предшественник озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте – чёрный и ранний чистый пар, в зернопаропропашном – горох Волжанин. Максимальная урожайность озимой пшеницы в среднем за три года исследований получена на вариантах с внесением азотного удобрения: 4,64...4,68 т/га (чистый пар) и 3,29...3,31 т/га (занятый пар), что соответственно на 0,16...0,74 т/га (3,6...18,8%) и 0,09...0,76 т/га (2,8...29,8%) больше остальных вариантов. Наибольший условный чистый доход установлен при выращивании пшеницы по гороху при ресурсосберегающей технологии с внесением минеральных удобрений 30477,4...31538,1 руб./га, что на 1807,5...11540,9 руб./га (6,3...57,7%) больше остальных исследуемых вариантов. Максимальный уровень рентабельности выявлен при ресурсосберегающей технологии с применением биопрепаратов по чистому пару 126,9%, что на 8,0...52,9% больше остальных вариантов. При выращивании озимой пшеницы в регионе рекомендуется размещать её по раннему пару. При оптимальном увлажнении дополнительно высевать по гороху, что обеспечивает увеличение стоимости произведённой продукции за счёт более высокой цены на зерно этой культуры, на 25,9...42,0%, по сравнению с паровым звеном. Однако, в зерновом звене, по сравнению с паровым, происходит увеличение производственных затрат на 46,8...59,1%, что приводит к снижению окупаемости затрат на 0,15...0,47. При возобновлении весенней вегетации пшеницы, рекомендуется вносить аммиачную селитру (N<sub>40</sub>) и применять некорневую подкормку биопрепаратом Бионекс Кеми в конце кущения.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, элементы технологии, экономическая эффективность.

**Для цитирования:** Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж., Щербина Е. В. Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в чернозёмной степи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 6-11. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-6-11

**Economic efficiency of winter wheat cultivation in the black soil steppe of the Middle Volga region**

**O. I. Goryanin**✉, **B. Zh. Dzhangabaev**, **E. V. Shcherbinina**

Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaikov,

446254, Samara Region, Bezenchuk v., K.-Marksa Street, Building 41 ✉ samniisch@mail.ru

**Abstract.** This study was conducted to identify appropriate technological elements for cultivation of winter soft wheat in the Black soil Steppe of the Middle Volga Region to achieve maximum production efficiency. Seven variants of winter wheat technology elements of Basis variety (Factor A) were studied in two six-field crop rotations (Factor B) in 2021-2024 on typical black soil. The forecrop of winter wheat in the grain-fallow-row rotation was black and early bare fallow, and in the grain-row crop rotation – Volzhanin pea variety. The maximum winter wheat yield, on average over three years of research, was obtained in the variants with the application of nitrogen fertilizer: 4.64...4.68 t/ha (bare fallow) and 3.29...3.31 t/ha (occupied fallow), which is 0.16...0.74 t/ha (3.6...18.8%) and 0.09...0.76 t/ha (2.8...29.8%) higher than the other variants, respectively. The highest conditional net income was observed when cultivating wheat after peas using resource-saving technology with the application of mineral fertilizers: 30,477.4–31,538.1 rubles/ha, which is 1,807.5–11,540.9 rubles/ha (6.3–57.7%) higher than the other studied variants. The maximum level of profitability was revealed with the resource-saving technology using biological products after bare fallow: 126.9%, which is 8.0–52.9% higher than the other variants. When growing winter wheat in the region, it is recommended to place it after early fallow. With appropriate moisture, additional sowing after peas ensures an increase in the value of the produced goods, due to the higher price of grain for

this crop, by 25.9–42.0%, compared to the fallow link. However, in the grain sector, compared to the fallow sector, production costs increase by 46.8–59.1%, resulting in a 0.15–0.47% reduction in return on investment. When resuming spring wheat growth, it is recommended to apply ammonium nitrate (N<sub>40</sub>) and foliar fertilization with the biopreparation Bionex Kemi at the end of tillering phase.

**Keywords:** winter wheat, technology elements, economic efficiency.

**For citation:** Goryanin O. I., Dzhangabaev B. Zh., Shcherbinina E. V. Economic efficiency of winter wheat cultivation in the black soil steppe of the Middle Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 6-11 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-6-11

## Введение

Основным показателем ведения растениеводства в настоящее время является экономическая эффективность.

Озимая мягкая пшеница – востребованная культура, обеспечивающая рентабельное производство. При этом доказано, что её возделывание в европейской части России намного эффективнее яровой [1, 2, 3]. В последние годы наметилась тенденция увеличения разницы в урожайности между этими культурами, связанная с погодными условиями и наличием новых адаптированных сортов [1, 4, 5].

Основной предшественник озимой пшеницы в засушливых условиях чистый чёрный и ранний пар [6, 7, 8], который способствует сохранению высоких запасов продуктивной влаги к посеву, накопленных за вневегетационный период, улучшению питательного и фитосанитарного режимов почвы, продуктивности растений.

Однако поле чистого пара – это самый большой расточитель гумуса, кроме того в этом звене продукция производится один раз за два года [9, 10]. Поэтому для сохранения почвенного плодородия и повышения эффективности возделывания необходим поиск оптимальных предшественников и приёмов интенсификации.

В исследованиях доказано, что при возделывании озимой пшеницы наиболее целесообразно применение ресурсосберегающих технологий [11, 12, 13]. При этом в засушливых условиях недостаточно изучено применение средств интенсификации в ресурсосберегающих технологиях возделывания озимой пшеницы по занятым парам [14, 15, 16].

Цель исследований состояла в выявлении оптимальных элементов технологии при выращивании озимой мягкой пшеницы в чернозёмной степи Среднего Поволжья для получения максимальной эффективности производства.

## Материалы и методы

Эффективность возделывания озимой мягкой пшеницы Базис изучали в стационарном опыте отдела земледелия Самарского НИИСХ. Фактор А включал в себя семь вариантов различных элементов технологии. Фактор Б состоял из двух шестипольных севооборота.

В зернопаропропашном севообороте предшественником озимой пшеницы был чистый пар. В зернопропашном севообороте посеы озимой пшеницы размещали по предшественнику гороху Волжанин.

При возделывании озимой пшеницы изучали следующие варианты (табл.1).

**Таблица 1. Испытание элементов технологии возделывания озимой пшеницы Базис**

Способ основной обработки почвы	Удобрение
1. Вспашка (Контроль)	-
2. Вспашка	N40
3. Без осенней обработки почвы (Фон)	
4. Фон	Биопрепарат
5. Фон	N40
6. Фон	N40
7. Фон	N40 + Биопрепарат

При зяблевой вспашке по обоим предшественникам в сентябре применяли плуг ПЛН-5-35. При уходе за парами проводили пять культиваций (ОПО-4,25, Компактор).

По вегетации гороха на всех вариантах применяли гербицид. На вариантах 2, 5, 6, 7 испытывали последствие азотоски по 16 кг д.в. На вариантах 4 и 7 вносили биопрепарат Бионекс Кемии.

Посев гороха и озимой пшеницы на всех вариантах опыта проводили посевным агрегатом (Т-150 + АУП-18.05).

Почва в опыте – чернозем обыкновенный среднесуглинистый с содержанием гумуса в слое 0...30 см – 4,1...4,6%, гидролизующего азота – 61...71 мг/кг, подвижных фосфатов – 171...221 мг/кг, калия – 181...211 мг/кг почвы (по Чирикову).

Количество повторений в опыте 3. Общий размер делянок – 550 м<sup>2</sup>, учетная площадь делянок – 200 м<sup>2</sup>. Учёт урожайности проводили комбайном «Сампо-130».

При проведении исследований лучшие условия для выращивания озимой пшеницы выявлены в 2022 г. Гидротермический коэффициент (ГТК) за весенне-летний вегетационный период пшеницы в этом году составил 1,40. В 2023 и 2024 гг. при раннем начале вегетации получена урожайность на уровне и выше среднемноголетних значений. В 2021 г. выявлены неблагоприятные условия для возделывания пшеницы, при ГТК за вегетационный период 0,79 и температуре воздуха – 19,1 °С. Продукционный процесс гороха за исследуемый период в большей степени зависел от температурного режима воздуха за вегетационный период. В 2020 и 2022 гг. он был пониженным 16,8 и 17,8 °С, в 2021 и 2023 гг. более высокий – 18,4...21,8 °С.

Урожайность зерна приводили к 100% чистоте и 14% влажности. Результаты учёта урожая обрабатывали методом дисперсионного анализа на компьютере (Программа AGROS ver. 2.09.).

Экономическую оценку эффективности возделывания полевых культур рассчитывали в соответствии с общепринятой методикой по фактическим ценам за каждый год (Пронин В. М., Прокопенко В. А. *Технико-экономическая оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий по критерию часовых эксплуатационных затрат*. М, 2008. 162 с.).

#### Результаты

В 2021 г. урожайность зерна озимой пшеницы была наименьшей за годы исследований от 1,80 до 2,09 т/га по чистому пару. По занятому, по сравнению с чистым, она снижалась на 0,84...1,21 т/га (76,4...147,6%) (табл. 2).

В 2022 г. выявлена наибольшая урожайность за анализируемые годы, которая по чистому пару колебалась от 6,59 до 7,75 т/га, по занятому была меньше на 1,73...3,21 т/га или в 1,5...1,7 раза меньше. В засушливых условиях 2023 года преимущество озимых по чистому пару по урожайности, по сравнению с занятым, было наименьшим за анализируемый четырёхлетний период 0,58...0,92 т/га (15,3...28,2%). В условиях 2024 г. урожайность озимой пшеницы по чистому пару составила 3,43...4,31 т/га, по занятому снижалась до 1,78...2,39 т/га.

В среднем за 2021-2024 гг. установлена высокая урожайность озимой пшеницы, которая по чистому пару составила 3,94...4,68 т/га, занятому – 2,55...3,31 т/га.

На вариантах без внесения удобрений выявлено преимущество контроля по сравнению с вариантом без осенней обработки почвы. По чистому пару оно составило 0,31 т/га (7,9%), по занятому – 0,26 т/га (10,2%).

На удобренном фоне разница между изучаемыми способами основной обработки почвы была не значительной. Максимальные значения получены на интенсивном фоне и ресурсосберегающей и традиционной технологии: 4,64...4,68 т/га (чистый пар) и 3,29...3,31 т/га (занятый пар).

Подкормка азотными удобрениями значительно повышала урожайность зерна. На варианте с ежегодной вспашкой в севообороте по чистому пару прибавка составила 0,43 т/га (10,1%), по занятому – 0,48 т/га (17,1%).

При ресурсосберегающих технологиях обработка посевов биопрепаратом повышала урожайность по чистому пару на 0,31 т/га (8,7%), гороху – 0,10 т/га (3,9%). Применение азотных удобрений на этих технологиях обеспечивало возрастание урожайности до 0,51...0,54 т/га (12,9...13,7%), при совместном действии удобрения и биопрепарата – до 0,69 т/га (17,7%). По занятому пару прибавка урожайности от применения удобрений составила 0,56...0,65 т/га (22,0...25,5%), при совместном действии удобрения и биопрепарата – 0,76 т/га (29,8%).

**Таблица 2. Урожайность зерна озимой пшеницы Базис в зависимости от элементов технологии и предшественников, т/га**

Вариант	Предшественник	Год				
		2021	2022	2023	2024	среднее
1. (контроль)	пар	2,03	7,13	4,14	3,72	4,25
	горох	0,82	4,95	3,59	1,90	2,81
2.	пар	2,09	7,75	4,74	4,16	4,68
	горох	1,02	5,73	4,04	2,39	3,29
3.	пар	1,80	6,59	3,96	3,43	3,94
	горох	0,78	4,54	3,12	1,78	2,55
4.	пар	1,87	7,19	4,18	3,85	4,27
	горох	0,82	4,72	3,26	1,83	2,65
5.	пар	1,97	7,39	4,51	3,96	4,45
	горох	1,06	5,56	3,71	2,12	3,11
6.	пар	1,94	7,22	4,50	4,26	4,48
	горох	1,10	5,70	3,77	2,25	3,20
7.	пар	2,09	7,46	4,70	4,31	4,64
	горох	1,15	5,86	3,91	2,35	3,31
Среднее	пар	1,97	7,25	4,39	3,95	4,39
	горох	0,96	5,29	3,62	2,09	2,99
НСР <sub>05</sub> : Варианты		0,16	0,23	0,21	0,19	0,20
Фактор А		0,12	0,16	0,15	0,13	0,14
Фактор В		0,07	0,08	0,07	0,07	0,07

При вынашивании предшественника гороха в среднем за четыре года (2020-2023 гг.) урожайность зерна колебалась в зависимости от исследуемых вариантов от 1,72 до 2,26 т/га. Последствия сложных удобрений увеличивало урожайность бобов при традиционной технологии не значительно на 0,17 т/га (9,0%), вариантах с ресурсосберегающей технологией – значительно на 0,37...0,47 т/га (21,5...26,2%), при НСР<sub>05</sub> -0,19 т/га. Наибольшая прибавка установлена на варианте с ресурсосберегающей технологией, где проявлялось последствие удобрений и вносился биопрепарат – 0,54 т/га (31,4%).

Основным показателем ведения сельскохозяйственного производства в условиях рыночной экономики является экономическая эффективность.

При относительно высокой стоимости на зерно 14 000 руб./т при возделывании озимой пшеницы по чистому пару в 2021 г. наибольший условный чистый доход установлен на вариантах без осенней обработки, при этом более высокие значения выявлены на варианте с максимальным уровнем интенсивности – 12993,5 руб./га. Самый высокий уровень рентабельности выявлен на вариантах с ранним паром без минеральных удобрений и с внесением биопрепарата 83,5...83,7%, что на 3,6...10,9% больше остальных изучаемых вариантов.

При выращивании озимой пшеницы по предшественнику горох рентабельное производство зерна в 2021 г. установлено только на интенсивных фонах ресурсосберегающей технологии.

Несмотря на самую низкую стоимость зерна за годы исследований (8 000 руб./т), при высокой урожайности возделывание озимой пшеницы в 2022 г. было рентабельным по обоим предшественникам.

Максимальный условный чистый доход по чистому пару получен на вариантах с внесением

удобрений – 36652... 38408 руб./га. Наибольший уровень рентабельности установлен при возделывании пшеницы по раннему пару с обработкой посевов биопрепаратом 194,6%, что значительно на 16,0...31,8% выше значений, полученных на других вариантах.

При возделывании пшеницы по занятому пару наибольший условный чистый доход в 2022 г. был установлен на вариантах с ресурсосберегающей технологией и внесением удобрений – 39982,6... 41175,6 руб./га, что на 1574,6 руб./га больше остальных вариантов.

Наибольшие экономические показатели в 2023 г. по обоим предшественникам получены при комплексном применении аммиачной селитры и биопрепарата на варианте без осенней обработки. Условный чистый доход на этом варианте при возделывании пшеницы по занятому пару составил 45036,2 руб./га, что на 1197,5... 9777,3 руб./га (2,7... 27,7%) больше других вариантов. По чистому пару условный чистый доход по лучшему варианту

составил 21482,1 руб./га, что на 1051,0...4430,5 руб./га (5,1... 26,0%) больше остальных изучаемых вариантов.

В условиях 2024 г. при выращивании озимой пшеницы по традиционной технологии наибольшая стоимость продукции с единицы площади получена в паровом звене севооборота 37200,0... 41600,0 руб./га, что способствовало увеличению условного чистого дохода и уровня рентабельности по сравнению со значениями, полученными в звене горох-озимая пшеница.

В среднем за 2021-2024 гг. наибольший условный чистый доход получен при выращивании пшеницы по гороху на ресурсосберегающей технологии с внесением минеральных удобрений 30477,4... 31538,1 руб./га, что на 1807,5...11540,9 руб./га (6,3... 57,7%) больше остальных исследуемых вариантов. Максимальный уровень рентабельности выявлен при ресурсосберегающей технологии с применением биопрепаратов по чистому пару 126,9%, что на 8,0... 52,9% больше остальных вариантов (табл. 3).

**Таблица 3. Эффективность выращивания пшеницы в зависимости от предшественника и элементов технологии, руб./га (среднее за 2021-2024 гг.)**

Вариант	Предшественник	Стоимость продукции	Производственные затраты	Условный чистый доход	Уровень рентабельности, %
1. (контроль)	пар	39980,0	19432,9	20547,1	105,7
	горох	51437,5	29558,2	21879,3	74,0
2.	пар	43880,0	21642,2	22237,8	102,8
	горох	58177,5	31766,9	26410,6	83,1
3.	пар	36965,0	16967,8	19997,2	117,9
	горох	46840,0	26790,4	20049,6	74,8
4.	пар	39955,0	17607,5	22347,5	126,9
	горох	50295,0	28020,7	22274,3	79,5
5.	пар	41722,5	19184,7	22537,8	117,5
	горох	57797,5	29127,6	28669,9	98,4
6.	пар	42005,0	19189,3	22815,7	118,9
	горох	59622,1	29144,7	30477,4	104,6
7.	пар	43585,0	19910,9	23674,1	118,9
	горох	61869,6	30331,5	31538,1	104,0
среднее	пар	41156,1	19133,6	22022,5	115,1
	горох	55148,5	29248,6	25899,9	88,6

Более высокая стоимость продукции, полученная в звене горох-озимая пшеница, обеспечила, за исключением 3 и 4 варианта существенное увеличение условно чистого дохода на 6,5...33,2% по сравнению с посевами, размещёнными по чистому пару.

Внесение азотных удобрений окупалось прибавкой урожайности и способствовало увеличению условного чистого дохода при традиционной технологии по чистому пару на 1690,7 руб./га (8,2%), по занятому – 4531,3 руб./га (20,7%).

При ресурсосберегающих технологиях внесение азотных удобрений по чистому пару увеличивало чистый доход на 2540,6...2818,5 руб./га (12,7...14,1%) и 2,2%, по занятому преимущество удобренных фонов возрастало на 8620,3... 10247,8 руб./га (43,0...52,0%).

#### Обсуждение

В засушливых условиях Поволжья при сложившихся климатических условиях и рыночных отношениях ведущим звеном производства зерна считаются

посевы озимой пшеницы, размещённые по чистому пару. В этом случае стабильность и устойчивость урожайности качественного зерна достигается в любой по увлажнению год, что согласуется с данными, полученными в других опытах и учреждениях [3, 4, 7].

При оптимальном увлажнении для получения всходов сельхозпроизводителю следует дополнительно высевать в регионе озимую пшеницу по гороху. Установлено, что при возделывании пшеницы по этому предшественнику стоимость произведённой продукции на единицу площади за счёт более высокой цены на горох возрастает на 25,9...42,0% по сравнению с паровым звеном. Однако, в зерновом звене по сравнению с паровым происходит увеличение производственных затрат на 46,8...59,1%, что приводит к снижению их окупаемости на 0,15... 0,47 руб./руб. Основное возрастание затрат в этом звене, по сравнению с пшеницей по пару, связано с приобретением семян в 3,8 раза. На приобретение гербицидов и инсектицидов затраты в звене

с горохом увеличиваются в 3 раза, на посев, уход за ним и уборку – в два раза.

При применении ресурсосберегающих технологий выращивания озимой пшеницы для повышения эффективности производства следует производить подкормку озимой пшеницы аммиачной селитрой в период начала весенней вегетации культуры. В конце весеннего кущения – начале трубкования следует применять биопрепараты. Данные агроприёмы окупаются практически во все годы, при этом в благоприятные эффективность применения удобрений существенно возрастает.

Проведённые исследования и расчеты экономической эффективности свидетельствуют о высокой окупаемости полученных затрат, что позволяет оптимизировать технологические приёмы при возделывании пшеницы в засушливых условиях Среднего Поволжья.

#### Заключение

Максимальная урожайность озимой пшеницы в среднем за годы исследований получена на вариантах с внесением азотного удобрения: 4,64...4,68 т/га (чистый пар) и 3,29...3,31 т/га (занятый пар), что соответственно на 0,16...0,74 т/га (3,6...18,8%) и 0,09...0,76 т/га (2,8...29,8%) больше остальных вариантов.

Наибольший условный чистый доход выявлен при выращивании пшеницы по гороху при ресурсосберегающей технологии с внесением минеральных удобрений 30477,4...31538,1 руб./га, что на 1807,5...11540,9 руб./га (6,3...57,7%) больше остальных исследуемых вариантов. Максимальный уровень рентабельности выявлен при ресурсосберегающей технологии с применением биопрепаратов по чистому пару 126,9%, что на 8,0...52,9% больше остальных вариантов.

При выращивании озимой пшеницы в чернозёмной степи рекомендуется высевать её по раннему пару, при оптимальном увлажнении дополнительно высевать по гороху. При возобновлении весенней вегетации вносить аммиачную селитру ( $N_{40}$ ) и применять некорневую подкормку биопрепаратом Бионекс Кеми в конце кущения. Для более высокой окупаемости затрат предлагается применение биопрепарата Бионекс Кеми в начале возобновления весенней вегетации пшеницы.

#### Литература

1. Бакаева Н. П. Эффективность применения микроудобрений в хелатной форме при возделывании пшеницы в лесостепи Поволжья. Кинель: Самарский государственный аграрный университет. 2024. 243 с.
2. Стукалов Р. С. Эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от технологий в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2(6). С. 107-121.
3. Солодовников А. П., Уполовников Д. А., Линьков А. С. Эффективность чистого пара для сохранения

запасов влаги в почве под посев озимой пшеницы в Саратовском Заволжье // Вестник Курской ГСХА. 2023. № 1. С. 13-17.

4. Горянин О. И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья // Земледелие. 2024. № 4. С. 19-24. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24

5. Мадякин Е. В. Горянин О. И. Адаптивность сортов озимой мягкой пшеницы в Поволжье // Аграрный научный журнал. 2022. №8. С. 16-19. doi: 10.28983/asj.y2022i8pp16-19

6. Гилев С. Д., Цымбаленко И. Н., Суркова Ю.В. Продуктивность и экономическая эффективность короткоротационных зернопаровых севооборотов в центральной лесостепной зоне Зауралья // Земледелие. 2016. № 6. С. 8-11.

7. Солодовников А. П., Максимчук В.Н. Влияние способов подготовки чистого пара на агрофизические свойства, влажность почвы и урожайность озимой пшеницы в Нижнем Поволжье // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 56-60. doi: 10.28983/asj.y2024i1pp56-60

8. Эффективность посева без основной обработки почвы в плодосменном и зернопаровом севооборотах центрального лесостепного Зауралья / С. Д. Гилев, И. Н. Цымбаленко, А. Н. Копылов и др. // Земледелие. 2021. № 6. С. 3-8. doi: 10.24412/0044-3913-2021-6-3-8

9. Дригидер В. К., Стукалов Р. С., Гаджимаров Р. Г. Экономическая эффективность севооборотов при возделывании полевых культур без обработки почвы // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 4 (12). С. 1-14. doi: 10.25930/0372-3054/001.4.12.2019

10. Морозов Н. А., Хрипунов А. И., Община А. Н. Продуктивность зернопропашного звена в шестипольных зерновых севооборотах с чистым и занятым паром // Известия Горского ГАУ. 2019. Т. 56. № 2. С. 32-37.

11. Кузина Е. В., Немцев С. Н. Итоги изучения различных систем обработки почвы в зернопаровом севообороте на черноземах Среднего Поволжья // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5(12). С. 65-71. doi: 10.25930/0372-3054/010.5.12.2019

12. Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от метеословий и способов обработки почвы при многолетних исследованиях // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 3-10. doi: 10.55170/19973225\_2023\_8\_4\_3

13. Increasing yield and quality of grain wheat in steam grainsteamed crop rotation in the lower Volga region / A. P. Solodovnikov, A. Y. Lyovkina, A. S. Linkov, et al. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 723. P. 022093. doi: 10.1088/1755-1315/723/2/022093

14. Ивенин А. В., Богомоллова Ю. А., Саков А. П. Экономическая эффективность выращивания зерновых культур в зависимости от систем обработки почвы и применения удобрений // Вестник

Казанского ГАУ. 2021. Т. 16, № 1(61). С. 22-27. doi: 10.12737/2073-0462-2021-22-27

15. Продуктивность агроценозов и качество зерна пшеницы в зависимости от обработки почвы и средств интенсификации / В. И. Усенко, С. В. Усенко, В. П. Олешко и др. // Земледелие. 2018. № 8. С. 30-33. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10809

16. Эффективность биологизированной технологии возделывания пшеницы мягкой озимой в Среднем Поволжье / Г. В. Ермолаева, А. Х. Куликова, Е. А. Борисов и др. // Земледелие. 2024. № 6. С. 17-21. doi: 10.24412/00443913-2024-6-17-21

## References

1. Bakaeva N. P. Efficiency of using chelated micro-fertilizers in wheat cultivation in the forest-steppe of the Volga region. Kinel: Samara State Agrarian University, 2024. 243 p.

2. Stukalov R. S. Efficiency of winter wheat cultivation depending on technologies in the unstable moisture zone of Stavropol Krai // Tavrichesky Vestnik of Agricultural Science. 2016. No. 2 (6). P. 107-121.

3. Solodovnikov A. P., Upolovnikov D. A., Linkov A. S. Efficiency of clean fallow for preserving soil moisture reserves under winter wheat sowing in the Saratov Trans-Volga region // Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2023. No. 1. P. 13-17.

4. Goryanin O. I. The influence of climate and weather conditions on the yield of grain crops in arid conditions of the Volga region // Agriculture. 2024. No. 4. P. 19-24. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24

5. Madyakin E. V. Goryanin O. I. Adaptability of winter soft wheat varieties in the Volga region // Agrarian scientific journal. 2022. No. 8. P. 16-19. doi: 10.28983/asj.y2022i8pp16-19

6. Gilev S. D., Tsymbalenko I. N., Surkova Yu. V. Productivity and economic efficiency of short-rotation grain-fallow crop rotations in the central forest-steppe zone of the Trans-Urals // Agriculture. 2016. No. 6. P. 8-11.

7. Solodovnikov A. P., Maksimchuk V. N. Effect of clean fallow preparation methods on agrophysical properties, soil moisture and winter wheat yield in the Lower Volga region // Agrarian scientific journal. 2024. No. 1. P. 56-60. doi: 10.28983/asj.y2024i1pp56-60

8. Efficiency of sowing without primary tillage in crop-replacement and grain-fallow crop rotations of the

central forest-steppe Trans-Urals / S. D. Gilev, I. N. Tsymbalenko, A. N. Kopylov, et al. // Agriculture. 2021. No. 6. P. 3-8. doi: 10.24412/0044-3913-2021-6-3-8

9. Dridiger V.K., Stukalov R.S., Gadzhumarov R.G. Economic efficiency of crop rotations in the cultivation of field crops without tillage // Agricultural Journal. 2019. No. 4 (12). P. 1-14. doi: 10.25930/0372-3054/001.4.12.2019

10. Morozov N.A., Khripunov A.I., Obshchiya A.N. Productivity of the grain-row crop link in six-field grain crop rotations with bare and occupied fallow // Vestnik of the Gorsk State Agrarian University. 2019. Vol. 56, No. 2. P. 32-37.

11. Kuzina E. V., Nemtsev S. N. Results of the study of various tillage systems in grain-fallow crop rotation on black soils of the Middle Volga region // Agricultural journal. 2019. No. 55 (12). P. 65-71. doi: 10.25930/0372-3054/010.5.12.2019.

12. Bakaeva N. P., Saltykova O. L. Winter wheat productivity depending on weather conditions and soil cultivation methods in long-term studies // Vestnik of Samara State Agricultural Academy. 2023. No. 4. P. 3-10. doi: 10.55170/19973225\_2023\_8\_4\_3

13. Increasing yield and quality of grain wheat in steam-steamed crop rotation in the lower Volga region / A. P. Solodovnikov, A. Y. Lyovkina, A. S. Linkov, et al. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. No. 723. P. 022093. doi: 10.1088/1755-1315/723/2/022093.

14. Ivenin A.V., Bogomolova Yu.A., Sakov A.P. Economic efficiency of growing grain crops depending on tillage systems and fertilizer application // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No. 1(61). P. 22-27. doi: 10.12737/2073-0462-2021-22-27

15. Productivity of agroцenoses and quality of wheat grain depending on soil cultivation and intensification means / V. I. Usenko, S. V. Usenko, V. P. Oleshko, et al. // Agriculture. 2018. No. 8. P. 30-33. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10809

16. Efficiency of biologized technology for cultivating soft winter wheat in the Middle Volga region / G. V. Ermolaeva, A. Kh. Kulikova, E. A. Borisov, et al. // Agriculture. 2024. No. 6. P. 17-21. doi: 10.24412/00443913-2024-6-17-21

### К вопросу о современных климатических вызовах устойчивому земледелию в степных регионах России

**Ю. А. Гулянов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела степеведения и природопользования

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

460000, г. Оренбург, улица Пионерская, 11

✉ iury.gulyanov@yandex.ru.

**Резюме.** В статье представлены актуализированные сведения о современных климатических тенденциях в степных регионах России на примере модельных постцелинных территорий Оренбургского Зауралья. Отмечена нарастающая засушливость климата, определяемая отрицательным трендом годовых атмосферных осадков, составившим 74 мм или 24,8% от средней за период (1990-2024 гг.) величины (298 мм) и сумм осадков активного периода (58 мм или 31,5% от 184 мм). Определено повышение среднегодовой температуры воздуха на 0,6 °C или 17,6% от средней за период величины (3,4 °C) и отмечен рост сумм активных (выше 10 °C) температур на 160 °C или 5,8% от 2756 °C. Подтверждена высокая разбалансированность климата, выражающаяся в сочетании засушливости с непродолжительными периодами аномального атмосферного увлажнения в виде ливней (дождевых зарядов), нередко с ураганными ветрами и градом. Приведён анализ последствий неблагоприятных метеорологических проявлений, отнесённых к числу вызовов, препятствующих высокой реализации урожайного потенциала полевых культур. Обоснована необходимость тщательной оценки рисков и переосмысления устоявшихся технологических подходов. Сформулированы предложения по адаптации земледелия к сложившимся метеорологическим условиям и повышению его устойчивости путём реализации комплекса мероприятий технологической, технической и социальной направленности. В него рекомендовано включить оптимизацию структуры земельного фонда, расширение видового состава возделываемых культур и внедрение научно-обоснованных севооборотов, реализацию мер по рациональному использованию осадков, селекцию и семеноводство адаптивных сортов, повышение технической и кадровой оснащённости хозяйств, разработку зональных научно-обоснованных систем на ландшафтно-адаптивной основе.

**Ключевые слова:** степная зона РФ, Оренбургское Зауралье, климатические вызовы, устойчивость земледелия

**Для цитирования:** Гулянов Ю. А. К вопросу о современных климатических вызовах устойчивому земледелию в степных регионах РФ // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 12-19. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-12-19

### On the current climate challenges to sustainable agriculture in the steppe regions of Russia

**Yu. A. Gulyanov**

Steppe Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

460000, Orenburg, Pionerskaya Street, 11

✉ iury.gulyanov@yandex.ru.

**Abstract.** The article presents updated data on current climatic trends in the steppe regions of Russia using the model post-virgin land territories of the Orenburg Trans-Urals as an example. A growing aridity of the climate is noted, determined by a negative trend in annual precipitation, amounting to 74 mm, or 24.8% of the average for the period (1990-2024) (298 mm), and the total precipitation of the active period (58 mm, or 31.5% of 184 mm). An increase in the average annual air temperature of 0.6 °C, or 17.6% of the average for the period (3.4 °C) was determined, and an increase in the total active (above 10 °C) temperatures by 160 °C, or 5.8% from 2756 °C, is noted. A highly imbalanced climate is confirmed, manifested in a combination of aridity and short periods of abnormal atmospheric moisture in the form of downpours (rainstorms), often accompanied by hurricane-force winds and hail. An analysis of the consequences of adverse meteorological phenomena, classified as challenges hindering the full realization of the yield potential of field crops is presented. The need for a thorough risk assessment and a rethinking of established technological approaches is substantiated. Proposals are formulated for adapting agriculture to the current meteorological conditions and increasing its sustainability through implementation of a set of technological, technical and social measures. These measures include improvement of the land fund structure, expansion of the species composition of cultivated crops, the introduction of scientifically based crop rotations, the implementation of measures for the rational use of precipitation, selection and seed production of adaptive varieties, improvement of technical and personnel resources at farms and development of zonal scientifically based systems based on landscape adaptation.

**Keywords:** steppe zone of the Russian Federation, Orenburg Trans-Urals, climatic challenges, agricultural sustainability

**For citation:** Gulyanov Yu. A. On the current climate challenges to sustainable agriculture in the steppe regions of Russia // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 12-19 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-12-19



**Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № ГР АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем»**

### **Введение**

Степные регионы России, находящиеся в не самых благоприятных для устойчивого земледелия климатических условиях, принимают весомое участие в обеспечении продовольственной безопасности и экспортного потенциала страны [1]. В первую очередь это касается производства продовольственного зерна пшеницы, отличающегося высоким качеством при относительно невысокой урожайности [2].

Характерный для степных регионов режим ограниченной влагообеспеченности на протяжении уже нескольких десятилетий развивается в сторону ещё большей засушливости за счёт нарастания термических ресурсов при заметном сокращении атмосферных осадков [3]. Подобная динамика метеорологических параметров отмечается и в других регионах России и в целом носит глобальный характер [4, 5]. Это создаёт достаточно серьёзные риски для полеводства, выражающиеся в нестабильности урожайности и валовых сборов, ставящие под сомнение экономическую целесообразность земледелия и создающие угрозу продовольственной безопасности во всём мире [6-8].

При этом неблагоприятная для полеводства нарастающая засушливость климата во многих регионах степной зоны России сопровождается ещё и его высокой разбалансированностью. Она выражается в сочетании засушливости с периодами сильного переувлажнения, вызываемого ливневыми дождями, нередко с ураганскими ветрами и градом. Примером могут служить условия чрезвычайного атмосферного переувлажнения на фоне многолетней засухи в Оренбургском Зауралье (2023, 2024 гг.), отрицательно сказавшиеся на формировании урожая и создавшие трудности с его уборкой [9].

Указанные метеорологические проявления выступают серьёзными препятствиями для высокой реализации урожайного потенциала полевых культур, отрицательно сказываются на качестве продукции [10, 11].

В соответствии с этим, актуализация сведений о современных климатических тенденциях, анализ их последствий и разработка предложений по повышению устойчивости земледелия в степных регионах России имеют высокую актуальность.

Цель исследования – анализ современных климатических изменений, оценка рисков и обоснование предложений по повышению устойчивости земледелия.

Для выполнения намеченной цели были сформулированы следующие задачи:

- обобщить сведения о современных климатических тенденциях в степных регионах России на примере модельных территорий Оренбургского Зауралья;

- оценить последствия неблагоприятных метеорологических проявлений, риски снижения валовых сборов и качества растениеводческой продукции;

- сформулировать предложения по повышению устойчивости земледелия степных регионов России в условиях современных климатических изменений

### **Материалы и методы**

В качестве объектов исследований выступали расположенные в Зауралье территории землепользования Кваркенского, Адамовского и Домбаровского муниципальных образований Оренбургской области, характеризующиеся резко-континентальным климатом, определяемым значительным удалением от морей и океанов, исключая смягчающее воздействие морских воздушных масс [9]. Оренбургское Зауралье отличается ограниченным количеством атмосферных осадков, повышенной температурой воздуха в летний период и критически низкой температурой зимой с абсолютной амплитудой годовых температур на уровне 85-90 °С. В тёплое время года здесь отмечается сильное нагревание поверхности почвы, сопровождающееся жарой с засухами и суховеями. В зимний период крепкие морозы нередко сочетаются с сильными выюгами и метелями [12].

В северной и центральной частях Оренбургского Зауралья наиболее распространёнными почвами являются чернозёмы обыкновенные и южные, южнее которых почвенный покров представлен тёмно-каштановыми почвами. В подзоне чернозёмов южных и тёмно-каштановых почв распространены их комплексы с солонцами, доля которых составляет около 36% [13].

При подготовке статьи использовали результаты полевых экспедиционных исследований 2019-2024 гг. В качестве наземной метеорологической информации использовали данные метеорологических станций Росгидромета, расположенных в посёлках Домбаровский (синоптический индекс 35233) и Красноярский (синоптический индекс 35039), представленные в виде временных рядов среднесуточных и среднемесячных значений осадков и температуры воздуха за 1990-2024 гг. [14]. Характеристику исследуемых территорий по гидротермическому коэффициенту (ГТК) осуществляли в соответствии с принятой классификацией по Г.Т.Селянинову [15].

Энергию прорастания семян определяли одновременно со всхожестью путём подсчёта числа нормально проросших (всхожих) зёрен через три (энергия прорастания) и семь (всхожесть) дней после закладки опыта.

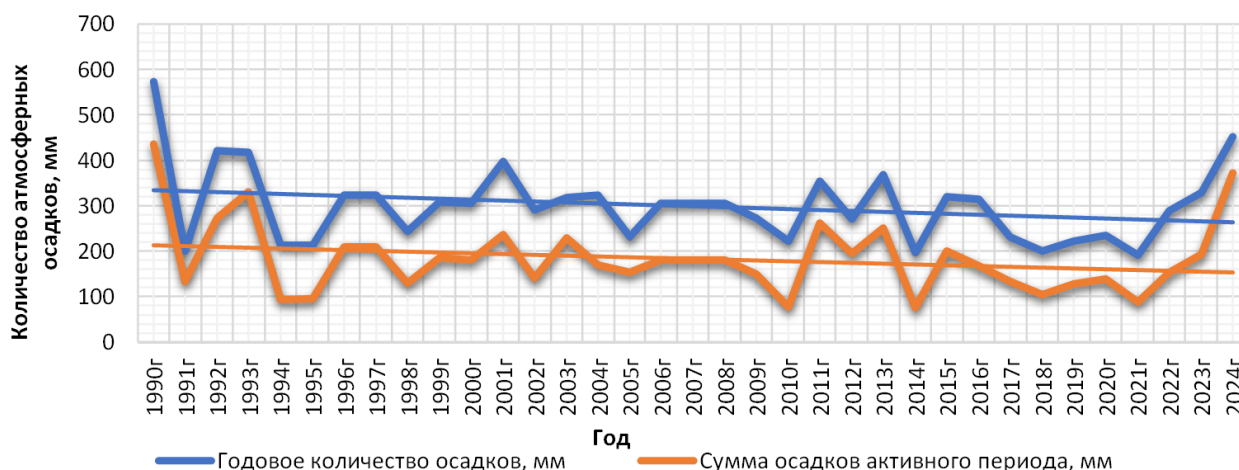
При обработке цифрового материала применяли стандартные методы статистического анализа (Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.)

**Результаты**

В результате анализа динамики метеорологических параметров (1990-2024 гг.) исследуемых территорий Оренбургского Зауралья выявлены их стихийные изменения, проявившиеся в виде уже ставших привычными многолетних засух, включающих непродолжительные периоды повышенного атмосферного увлажнения.

В числе определяющих факторов засушливости климата выделено значительное сокращение атмосферных осадков на фоне заметного потепления. Так,

по сведениям Красноярской ГМС, приуроченной к юго-восточным территориям Кваркенского района и северо-восточной части Адамовского района, за период с 1990 по 2022 г наблюдали отрицательную динамику (тренд) как среднегодовых осадков, составившую 114 мм или 38,7% от среднего за период количества (294 мм), так и сумм осадков активного периода (со среднесуточной температурой воздуха выше 10 °C) – 105 мм или 59,0% (от 178 мм) (рис.1).



**Рис. 1. Динамика годовых атмосферных осадков и сумм осадков активного периода, ГМС п. Красноярский, 1990-2024 гг.**

В последующие два года приведённые метеорологические параметры превышали среднюю величину предшествующих лет на 58 (19,7%, 2023 г) – 145 мм (49,3%, 2024 г) и 15 (8,4%, 2023 г) – 194 мм (108,9%, 2024 г) соответственно.

В целом же за 35-летний период сохранился отрицательный тренд годовых атмосферных осадков, составивший 74 мм или 24,8% от средней за период величины (298 мм), и сумм осадков активного периода – 58 мм или 31,5% (от 184 мм)

Наибольшее их снижение наблюдали в первом десятилетии анализируемого периода (1990-1999 гг.), когда оно составило 154 мм (47,6% от 323 мм) в среднегодовом измерении и 151 мм (72,2% от 209 мм) - за активный период. В последующие два десятилетия периода отмечали менее выраженное снижение указанных параметров, составившее 67...47 мм (21,9 – 26,1%) за 2000 – 2009 гг и 65...67 мм (24,8...44,1%) за 2010...2022 гг. соответственно.

Характерной особенностью анализируемого периода стал и значительно изменившийся температурный режим, выразившийся в повышении среднегодовой температуры воздуха на 0,6 °C или 17,6% от средней за период величины в 3,4 °C и росте сумм активных (выше 10 °C) температур на 160 °C или 5,8% (от 2756 °C) (рис. 2).

Наибольший прирост термических ресурсов, выразившийся в положительном тренде среднегодовой температуры воздуха на 0,7 °C при сумме

активных температур в 2844 °C наблюдали в период с 2010 по 2022 годы. В предшествующие два десятилетия среднегодовая температура воздуха и сумма активных температур были ниже на 0,4 °C (11,4%) – 0,2 °C (5,7%) и 112 °C (3,9%) – 184 °C (6,5%) соответственно.

Приведённые тенденции в изменении режима увлажнения и термических ресурсов оказали существенное влияние на динамику гидротермических условий в целом, придав ей отрицательную направленность. Тренд средней за 35-летний период величины ГТК Селянинова составил 0,28 единицы или 41,1% от средней величины в 0,68 единицы. При этом отрицательная направленность его изменений отмечалась в каждый из трёх промежуточных периодов и составила 0,67 единицы или 84,8% от средней величины в 0,79 единицы за 1990-1999 гг., 0,17 единиц или 25,0% от средней величины в 0,68 единицы за 2000-2009 гг. и 0,2 единицы или 38,9% от средней величины в 0,54 единицы за 2010-2022 гг. В итоге в течение анализируемого периода благоприятность гидротермических условий последовательно снижалась (ГТК 0,79 – 0,68 – 0,54) и в среднем в соответствии с принятой градацией они характеризовались как очень засушливые (0,4-0,7 единицы ГТК).

Обычным для зоны исследований в анализируемый период стало наличие продолжительных бездождевых или бесснежных периодов, сменяющихся проливными дождями или снегопадами,

продолжающимися несколько дней подряд. К примеру, совсем не отмечали осадков с 9 января по 15 февраля (37 дней) и с 15 марта по 13 апреля 2023 г (28 дней). С 15 апреля по 9 мая (24 дня) и с 13 мая по 17 июня 2023 г (36 дней) наблюдали только 2 и 3 дождливых дня, за которые выпало 0,6 и 7,9 мм осадков. При этом с середины августа до конца

ноября (106 дней) этого же года было отмечено 49 дождливых дней (46,2%), за которые выпало 210 мм осадков или 59,6% от их суммарного количества за год (352 мм). Зима 2023 г началась очень поздно, осадки в виде снега появились только в декабре и характеризовались крайне неравномерным распределением по дням (рис. 3).

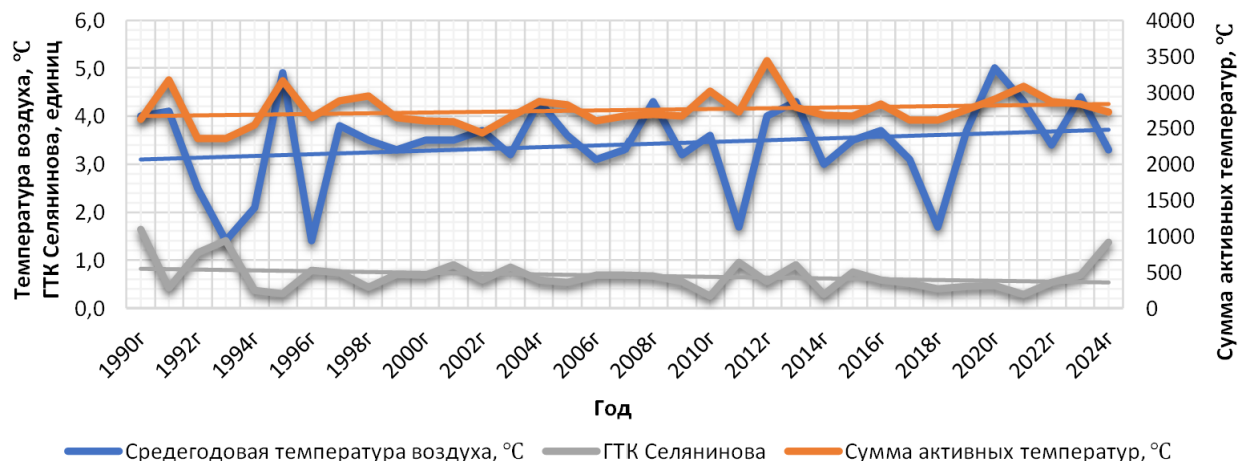


Рис. 2. Динамика среднегодовой температуры воздуха, сумм активных температур и ГТК Селянинова, ГМС п. Красноярский, 1990-2024 гг.

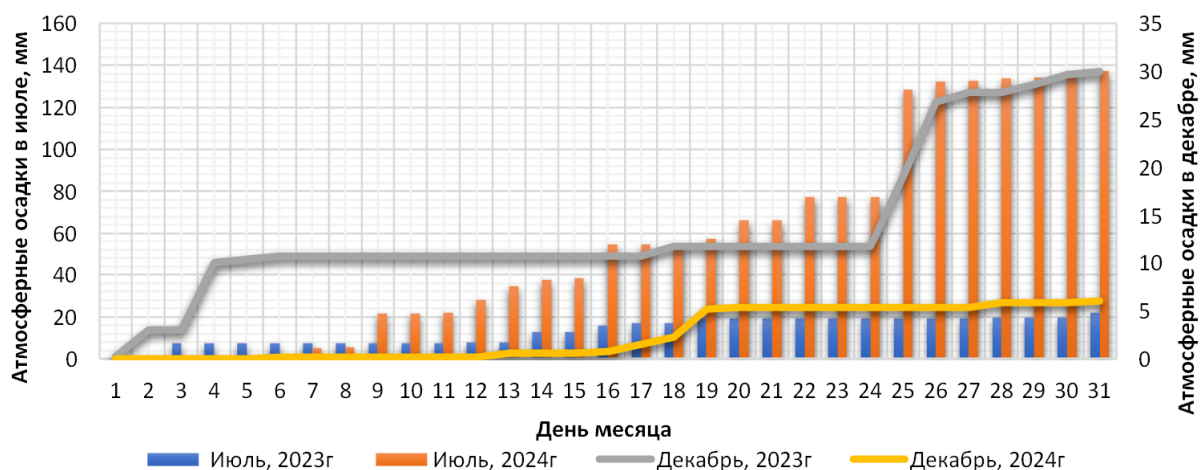


Рис. 3. Накопление атмосферных осадков по отдельным летним и зимним месяцам в контрастные по увлажнению годы (ГМС п. Красноярский)

В 2024 г наиболее обильными на осадки оказались поздневесенние и летние месяцы, а осенью и в начале зимы их было значительно меньше. Так, в мае отмечалось 12 дождливых дней (38,7%), в июне – 16 (53,3%), в июле – 20 (64,5%) и 18 дней (58,1%) в августе. За эти месяцы выпало 70,4% (309 мм) осадков от их годового количества (439 мм) – 32 мм в мае, 92 мм в июне, 124 мм – в июле и 61 мм в августе. Самым скудным на осадки оказался сентябрь (менее 1,0 мм), в октябре выпало 7 мм, 14 мм отмечалось в ноябре и 6 мм –

в декабре, а в целом за четыре месяца 28 мм или только 6,4% от годового количества.

Следует отметить и периоды с максимальным количеством осадков, преимущественно ливневого характера, нередко с градом, в течение одних суток. В сентябре 2022 г, мае, августе, сентябре, октябре 2023 г, июне, июле и августе 2024 г. наблюдались дни с количеством осадков выше 15 мм, а абсолютный рекорд зафиксирован 25 июля 2024 г, когда в течение одних суток выпало 51 мм осадков или 11,6% от их годового количества.



Рис. 4. Динамика минимальной температуры воздуха и высоты снежного покрова, декабрь 2023г (ГМС п. Домбаровский)

В исследуемых территориях часто отмечали понижение температуры воздуха до 30 °C и ниже до установления снежного покрова, в целом характеризовавшегося небольшой мощностью. Его максимальная высота по данным ГМС п. Красноярский в среднем составила 63 см и 37 см по данным ГМС п. Домбаровский (рис. 4).

На открытых степных поверхностях, подверженных ветрам, высота снежного покрова всегда оказывалась меньше величин, фиксируемых метеостанциями. Более высокие снегозапасы отмечали на убранных на высоком срезе полях, на стерневых фонах обработанных полей или необработанных полей, оставленных под прямой посев (рис. 5).

Следует отметить, что при общей схожести направленности и величины изменений метеорологических параметров между исследуемыми территориями совместные вариации их временных рядов наблюдались только в отношении среднегодовой температуры воздуха и суммы активных температур. Их связь оказалась сильной с коэффициентом

корреляции Пирсона ( $r$ ) 0,93...0,91. Временные ряды годовых атмосферных осадков, сумм осадков за период активных температур и ГТК Селянинова оказались связанными в средней степени ( $r = 0,58...0,66$ ) (табл. 1).



Рис. 5. Высота снежного покрова на одном из полей после яровой пшеницы в КФХ «Д.Ж.Досов», п. Ушкатты, Домбаровский район, 28 января 2025г.

Таблица 1. Гидротермическая характеристика исследуемых территорий Оренбургского Зауралья, средние за 1990-2024г

Показатели		Степная зона (Кваркенский, Адамовский МО)	Сухостепная зона (Домбаровский МО)	Коэффициент корреляции
Количество годовых атмосферных осадков, мм	средние	298	314	0,66
	коэфф вар	30,7	22,5	
	тренд	-74	-60	
Количество осадков периода активных (>10 °C) температур, мм	средние	184	172	0,58
	коэфф вар	43,6	34,0	
	тренд	-58	-38	
Среднегодовая температура воздуха, °C	средние	3,4	4,6	0,93
	коэфф вар	26,4	21,7	
	тренд	0,6	1,4	
Сумма активных (>10 °C) температур, °C	средние	2756	3067	0,91
	коэфф вар	8,2	8,8	
	тренд	160	410	
ГТК Селянинова	средние	0,68	0,57	0,64
	коэфф вар	47,5	38,5	
	тренд	-0,28	-0,23	
Характеристика условий увлажнения		засушливые-очень засушливые	очень засушливые	

На фоне многолетней засушливости, значительно снижающей урожайные перспективы полевых культур, чрезвычайное количество атмосферных осадков в отдельные годы является не меньшим препятствием для высокой реализации урожайного потенциала и отрицательно сказывается на качестве продукции.

Как показали экспедиционные исследования, при уборке урожая в переувлажнённые годы (2023 г) в партиях зерна высока вероятность присутствия наклюнувшихся и проросших зёрен, характеризующихся низкими посевными кондициями и малопригодных для посева (табл. 2).

**Таблица 2. Посевные качества семян зерновых культур при различном содержании наклюнувшихся зёрен в пробе, из урожая 2023 г**

Культура	Содержание наклюнувшихся зёрен в пробе, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
Пшеница мягкая	100	8	14
	50	32	45
	0	83	94
Пшеница твёрдая	100	6	12
	50	28	41
	0	80	92
Ячмень	100	9	15
	50	33	43
	0	87	96

По устойчивости к прорастанию на корню более слабыми оказались голозерные культуры, из которых менее устойчивой была мягкая пшеница. Ячмень при большей устойчивости к прорастанию характеризовался меньшей устойчивостью к полеганию, особенно в период обильных дождей.

#### Обсуждение

Проведённый анализ метеорологических условий (1990-2024 гг.) свидетельствует о сохраняющейся тенденции повышения засушливости климата Оренбургского Зауралья, несмотря на атмосферное переувлажнение отдельных месяцев. Он также свидетельствует о высокой разбалансированности климата, обостряющей многие хозяйственные проблемы.

Наблюдающиеся изменения метеорологических условий создают значительные препятствия для высокой реализации урожайного потенциала полевых культур и могут расцениваться как современные вызовы устойчивому земледелию.

Ливневые (залповые) дожди в переувлажнённые периоды препятствуют качественному проведению технологических операций по уходу за посевами, что сопровождается активным развитием сорной растительности, отрицательно сказывающейся на формировании урожая и создающей трудности с его уборкой. Дополнительный урон урожаю наносят ураганные ветры и град в период уборки, вызывающие полегание хлебов, выбивающие созревшее зерно из колоса.

Значительное переувлажнение периода уборки зачастую сопровождается наличием в семенных партиях наклюнувшихся и проросших зёрен, израсходовавших определённую часть запасённых питательных веществ на прорастание ещё задолго до посева и существенно уступающих полноценным семенам по посевным свойствам. Их использование для посева может привести к формированию недружных всходов с низкой полнотой и жизнеспособностью, что в последующем может выразиться в изреженности продуктивного стеблестоя и значительном снижении урожайности.

В зимний период длительное отсутствие снежного покрова или его недостаточная мощность при критическом понижении температуры воздуха крайне неблагоприятно для осваиваемых отдельными хозяйствами озимых культур, существенно снижающих зимостойкость и сохранность к уборке [16].

Обозначенная тенденция метеорологических параметров при прогрессирующей деградации почвенного покрова нуждается в тщательной оценке рисков для устойчивого производства растениеводческой продукции, требует переосмысления устоявшихся технологических подходов.

В соответствии с изложенным, при адаптации земледельческих технологий к «метеорологическим качелям» для снижения остроты засушливых проявлений, наряду с уже отмеченной нами перспективностью внедрения в технологический процесс приёмов влагосберегающей и почвовосстанавливающей направленности, таких как минимизация обработки почвы или её полное исключение с мульчированием поверхности, соблюдения научно-обоснованных севооборотов [17], их насыщения многолетними травами и создания травяных экосистем, селекции и семеноводства скороспелых, засухоустойчивых и жаростойких сортов, расширения видового состава и интродукции нетрадиционных культур с высокими адаптационными и хозяйственными признаками, а также использования цифровых ресурсов [9], целесообразно сокращение площадей под почвозатратными монокультурами (подсолнечник), сосредоточение технологической нагрузки на землях с высоким запасом органики, неподверженных эрозии и отличающихся высокой водопоглощательной и вододерживающей способностью, устойчивых к переуплотнению и заплыванию при чрезмерном увлажнении.

Ввиду относительно невысокого количества годовых атмосферных осадков улучшение условий влагообеспеченности может обеспечить осуществление комплекса мероприятий по снегонакоплению (уборка очёсывающими жатками, выращивание кулис из высокостебельных растений, снегозадержание с использованием технических средств). Положительный эффект можно ожидать и от перехода хозяйств к смешанной зерноживотноводческой специализации, обеспечивающей поддержание продуктивных свойств почв

пополнением их гумусового запаса внесением органических удобрений.

Снижению климатических рисков может способствовать внедрение короткостебельных сортов зерновых культур, успешно противостоящих влиянию засух и полеганию от аномальных ветров или града, включение в севообороты плёнчатых культур (ячмень, овёс) как более устойчивых к прорастанию на корню, насыщение парка сельскохозяйственных машин и орудий, позволяющее оперативно проводить технологические операции, повышение информационной и кадровой оснащённости хозяйств, в т.ч. специалистами агрономического профиля, и других мероприятий, направленных на качественное проведение полевых работ при нестабильной погоде.

Для снижения пролонгированного эффекта переувлажнённых лет в виде недоброкачественного семенного материала можно рекомендовать возвращение к практике формирования переходящего (страхового) фонда семян, включающего также и сухое товарное зерно из урожая предыдущих лет, после соответствующей подготовки (очистка, калибровка) более пригодное для использования на посевные цели.

Учитывая свойственные степным регионам России пространственные особенности почвенных и климатических условий, проявляющиеся даже в границах относительно небольших по российским меркам территорий, чрезвычайную важность имеет реализация зональных научно-обоснованных систем на ландшафтно-адаптивной основе [18]. Этому может способствовать организация научно-образовательных центров (НОЦ) на базе региональных НИИ и ВУЗов соответствующего профиля, располагающих для их разработки необходимой лабораторно-производственной базой и специалистами соответствующей квалификации.

#### Заключение

Результаты проведённых в Оренбургском Зауралье исследований подтвердили наблюдающуюся во многих регионах степной зоны России высокую разбалансированность климата, выражающуюся в нарастающей засушливости, включающей периоды повышенного атмосферного увлажнения, сопровождающиеся аномальными метеорологическими проявлениями в виде ливней, нередко с ураганскими ветрами и градом. Наблюдающиеся изменения метеорологических условий являются серьёзными препятствиями для высокой реализации урожайного потенциала полевых культур и негативно сказываются на качестве продукции. Для повышения устойчивости земледелия путём снижения климатических рисков высокую целесообразность имеет адаптация технологического процесса к складывающимся условиям, включающая мероприятия технологической, технической и социальной направленности.

#### Литература

1. Кумратова А. М., Алещенко В. В. Продуктивность зернового производства России: тенденции

и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 142-146. doi: 10.12737/2073-0462-2021-142-146

2. Зеленев А. В., Сухарева Е. П., Беликина А. В. Агроэкологическая оценка продуктивности сортов пшеницы озимой на южных чернозёмах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 77-88. doi: 10.32786/2071-9485-2021-03-07

3. Кононенко О. В. Климатические изменения температурных факторов продуктивности, роста и развития зерновых культур на территории Российской Федерации // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2024. № 4 (78). С. 47-58. doi: 10.24411/2078-1318-2024-4-47-58

4. Формирование урожайности яровой пшеницы в условиях изменения климата в Зауральской степи / К. Р. Исмагилов, Р. С. Кираев, А. С. Шаяхметов, Р. Р. Исмагилов // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 4. С. 31-36. — doi: 10.53859/02352451\_2025\_39\_4\_31. EDN JCUAXT.

5. Grosse-Heilmann M., Cristiano E., Deidda R., Viola F. Durum wheat productivity today and tomorrow: A review of influencing factors and climate change effects // Resources, Environment and Sustainability. 2024. Vol. 17. P. 100170. doi: 10.1016/j.resenv.2024.100170

6. Переведенцев Ю. П., Васильев А. А. Изменение климата и его влияние на сельское хозяйство // Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 5-13. doi: 10.52002/0130-2906-2023-9-5-13

7. Impacts of climate change on crop production and soil carbon stock in a continuous wheat cropping system in southeast England / S. Liang, N. Sun, J. Meersmans, et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2024. Vol. 365. P.108909. doi: 10/1016/j.agee.2024.108909

8. Impacts of climate change on vegetation phenology and net primary productivity in arid Central Asia / L. Wu, X. Ma, X. Dou, et al. // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 796. P. 149055. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149055

9. Гулянов Ю. А., Чибилёв А. А., Левыкин С. В. Новационные подходы к снижению природозатратности в высокопродуктивных агротехнологиях степной зоны России // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 6-16. doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-6-16

10. Павлова В. Н., Караченкова А. А., Варчева С. Е. Региональный мониторинг агроклиматических условий формирования урожая при изменении климата // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2020. № 596. С. 55-77.

11. Водопотребление и продуктивность яровой пшеницы на разных технологиях возделывания в условиях лесостепи Среднего Поволжья А. Л. Тойгильдин, И. А. Тойгильдина, И. А. Богданов и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4 (64). С. 13-20. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-13-20



12. Леонтьева Т. В. Климатические особенности формирования водных ресурсов Восточного Оренбуржья // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 4. С. 244-247.

13. Климентьев А. И. Почвы степного Зауралья: ландшафтно-генетическая и экологическая оценка. Екатеринбург: Издательство УрО РАН, 2000. 433 с.

14. Расписание погоды [Электронный ресурс] Режим доступа: URL <https://rp5.ru/> (дата обращения 23.01.2025).

15. Журина Л.Л., Лосев А.П. Агрометеорология. СПб.: ООО «Квадро», 2012. 366 с.

16. Гулянов Ю. А. Пути повышения зимостойкости и сохранности к уборке озимой пшеницы в степи Южного Урала // Земледелие. 2005. № 6. С. 24-25.

17. Гулянов Ю. А., Балдина Е.Ю. Эффективность использования ресурсного потенциала степных агроландшафтов при выращивании яровой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (74). С. 22-26.

18. Кирюшин В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. 2021. № 2. С. 3-7. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10201

## References

1. Kumratova A. M., Aleshchenko V. V., Grain production productivity in Russia: trends and prospects, // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No. 3 (63). P. 142-146. doi: 10.12737/2073-0462-2021-142-146

2. Zelenev A. V., Sukhareva E. P., Belikina A. V. Agroecological assessment of the productivity of winter wheat varieties on the southern black soils of the Volgograd region // Vestnik of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 3 (63). P. 77-88. doi: 10.32786/2071-9485-2021-03-07

3. Kononenko O. V. Climatic changes in temperature factors of productivity, growth and development of grain crops in the Russian Federation // Vestnik of the St. Petersburg State Agrarian University. 2024. No. 4 (78). P. 47-58. doi: 10.24411/2078-1318-2024-4-47-58

4. Formation of spring wheat yield under climate change conditions in the Trans-ural steppe / K.R. Ismagilov, R.S. Kiraev, A.S. Shayakhmetov, et al. // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025;39(4):. Russian. doi: 10.53859/02352451\_2025\_39\_4\_31

5. Grosse-Heilmann M., Cristiano E., Deidda R., Viola F. Durum wheat productivity today and tomorrow: A review of influencing factors and climate change effects // Resources, Environment and Sustainability. 2024. Vol. 17. P. 100170. doi: 10.1016/j.resenv.2024.100170

6. Perevedentsev Yu. P., Vasiliev A. A. Climate change and its impact on agriculture // Meteorology and Hydrology. 2023. No. 9. P. 5-13. doi: 10.52002/0130-2906-2023-9-5-13

7. Impacts of climate change on crop production and soil carbon stock in a continuous wheat cropping system in southeast England / S. Liang, N. Sun, J. Meersmans, et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2024. Vol. 365. P.108909. doi: 10/1016/j.agee.2024.108909

8. Impacts of climate change on vegetation phenology and net primary productivity in arid Central Asia / L. Wu, X. Ma, X. Dou, et al. // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 796. P. 149055. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149055

9. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A., Levykin S. V. Innovative approaches to reducing environmental costs in highly productive agricultural technologies in the steppe zone of Russia // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 4 (68). P. 6-16. doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-6-16

10. Pavlova V. N., Karachenkova A. A., Varcheva S. E. Regional monitoring of agroclimatic conditions for crop formation under climate change // Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov. 2020. No. 596. P. 55-77.

11. Water consumption and productivity of spring wheat under different cultivation technologies in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region A. L. Toygildina, I. A. Toygildina, I. A. Bogdanov et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 4 (64). P. 13-20. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-13-20

12. Leontieva T. V. Climatic features of water resources formation in Eastern Orenburg Region // Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan. 2019. No. 4. P. 244-247.

13. Klimentyev A. I. Soils of the Steppe Trans-Urals: Landscape-genetic and ecological assessment. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. 433 p.

14. Weather Schedule [Electronic resource] Access mode: URL <https://rp5.ru/> (access date: 23.01.2025).

15. Zhurina L.L., Losev A.P. Agrometeorology. St. Petersburg: ООО Quadro, 2012. 366 p.

16. Gulyanov Yu. A. Ways to improve winter hardiness and survivability of winter wheat in the Southern Ural steppe // Agriculture. 2005. No. 6. P. 24-25.

17. Gulyanov Yu. A., Baldina E.Yu. Efficiency of using the resource potential of steppe agrolandscapes when cultivating spring wheat in the Orenburg Cis-Urals // Vestnik of the Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 6 (74). P. 22-26.

18. Kiryushin V.I. State and problems of development of adaptive-landscape agriculture // Agriculture. 2021. No. 2. P. 3-7. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10201

**Влияние почвенно-климатических условий, минеральных удобрений и предшественников на продуктивность сидеральных севооборотов и плодородие степных чернозёмов Предуралья**

**Д. В. Митрофанов**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела «Технологии зерновых и кормовых культур»

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук

460000, г. Оренбург, улица 9 Января, 29; ✉dvm.80@mail.ru

**Резюме.** В статье приведены результаты исследования сидеральных севооборотов и почвы в условиях Оренбуржья. Запланированные полевые опыты проведены с 2022 по 2024 гг. на тридцатипятилетнем стационаре севооборотов в Оренбургском районе. Цель работы – изучить влияние метеорологических условий, температуры, продуктивной влаги, макроэлементов питания и целлюлозоразрушающей активности почвы, минеральных удобрений и предшественников на урожайность полевых культур в системе севооборотов для повышения и сохранения плодородия почвы. Объекты исследования – чернозём южный малогумусный тяжелосуглинистый и полевые культуры. В работе применены следующие методы исследований: метеонаблюдений, полевой, лабораторный, расчётов урожайности, дисперсионный, регрессионный. По схеме двухфакторного опыта взяты двенадцать вариантов выращивания полевых культур на двух фонах (нитроаммофоска и без удобрения) питания. В работе выявлены результаты среднего значения за вегетационный период (май...август): температура воздуха – 19,8 °С, дождевые осадки – 180,7...182,3 мм; число суховейных дней – 45,3; гидротермический коэффициент – 0,8; температура почвы – 21,6...22,9 °С, продуктивная влага в фазе всходов – 64,0...120,6 мм, в фазе спелости – 6,6...38,9 мм; расход влаги – 54,8...97,8 мм; целлюлозоразрушающая активность почвы – 6,8...17,7%; N-NO<sub>3</sub> – 20,1...46,6 мг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 38,6...93,6 мг, K<sub>2</sub>O – 424,4...677,5 мг/кг; гумус – 3,6...5,6%; pH водной вытяжки – 6,5...7,7; продуктивность зелёной массы – 11,2...14,3 т, зерна – 0,6...1,6 т/га. По результатам данных регрессионного анализа установлена положительная зависимость повышения продуктивности сидеральных севооборотов и плодородия почвы от влияния (39,17...64,92%,  $r=0,62...0,80^*$ ) продуктивной влаги в фазе спелости, температуры почвы (39,77%,  $r=0,63^*$ ), подвижного фосфора (53,84%,  $r=0,73^*$ ) и обменного калия (89,48%,  $r=0,94^*$ ) в фазе всходов полевых культур. Совокупность других изучаемых факторов не влияло на повышение и сохранение продуктивности и плодородия почвы. В засушливых метеорологических условиях рекомендуется осваивать сидеральные севообороты с кукурузой на силос и просом с применением нитроаммофоски.

**Ключевые слова:** полевые культуры, температура воздуха, температура почвы, дождевые осадки, продуктивная влага, целлюлозоразрушающая активность почвы, плодородие почвы.

**Для цитирования:** Митрофанов Д. В. Влияние почвенно-климатических условий, минеральных удобрений и предшественников на продуктивность сидеральных севооборотов и плодородие степных чернозёмов Предуралья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 20-28. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-20-28

**The impact of soil and climatic conditions, mineral fertilizers, and forecrops on the productivity of green manure crop rotations and the fertility of steppe black soils in the Cis-Urals**

**D. V. Mitrofanov**

Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies, Russian Academy of Sciences

460000, Orenburg, 29 9 Yanvarya Street;

✉dvm.80@mail.ru

**Abstract.** This article presents results of the study of green manure crop rotations and soils in the Orenburg region. Planned field experiments were conducted from 2022 to 2024 at a 35-year-old crop rotation station in the Orenburg district. The aim of the work is to study the influence of meteorological conditions, temperature, productive moisture, macronutrients and cellulose-destroying activity of the soil, mineral fertilizers and forecrops on the yield of field crops in the crop rotation system to increase and maintain soil fertility. The objects of the study are southern low-humus heavy loamy black soil and field crops. The following research methods were used in the work: meteorological observations, field, laboratory, yield calculations, dispersion, regression. According to the two-factor experiment scheme, twelve variants of field crops on two backgrounds (nitroammophoska and without fertilizer) of nutrition were taken. The work revealed the results of the average value for the growing season (May... August): air temperature - 19.8 °C, rainfall - 180.7... 182.3 mm; number of dry wind days - 45.3; hydrothermal coefficient - 0.8; Soil temperature is 21.6...22.9 °C, productive moisture in the germination phase is 64.0...120.6 mm, in the ripeness phase – 6.6...38.9 mm; moisture consumption is 54.8...97.8 mm; cellulose-destroying activity of the soil is 6.8...17.7%; N-NO<sub>3</sub> – 20.1...46.6 mg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 38.6...93.6 mg, K<sub>2</sub>O – 424.4...677.5 mg/kg; humus – 3.6...5.6%; pH of aqueous extract is 6.5...7.7; green mass productivity is 11.2...14.3 t, grain – 0.6...1.6 t/ha. Regression



analysis revealed a positive correlation between the increase in productivity of green manure crop rotations and soil fertility and the influence (39.17% to 64.92%,  $r=0.62\%$  to  $0.80\%*$ ) of productive moisture at maturity, soil temperature (39.77%,  $r=0.63*$ ), available phosphorus (53.84%,  $r=0.73*$ ) and exchangeable potassium (89.48%,  $r=0.94*$ ) at the emergence stage of field crops. The combination of other studied factors did not affect the increase and preservation of soil productivity and fertility. In dry weather conditions, it is recommended to develop green manure crop rotations with corn for silage and millet using nitroammophoska.

**Keywords:** field crops, air temperature, soil temperature, rainfall, productive moisture, cellulose-destroying activity of the soil, soil fertility.

**For citation:** Mitrofanov D. V. The impact of soil and climatic conditions, mineral fertilizers, and forecrops on the productivity of green manure crop rotations and the fertility of steppe black soils in the Cis-Urals // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 20-28 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-20-28

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2024-2030 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН,  
тема № FNWZ-2022-0014**

### Введение

Севооборот играет важнейшую роль в повышении и сохранении плодородия почвы. Влияние севооборота на содержание в почве гумуса определяется, прежде всего, составом, структурой выращиваемых культур и агротехникой их возделывания. Севооборот повышает роль удобрений в накоплении гумуса, уменьшает его потери и улучшает качественные параметры [1]. Для повышения плодородия почвы выявлена необходимость введения в структуру посевных площадей севооборота бобовых растений, возделывания сидеральных культур, замены чистого пара на сидеральный, запашки измельчённой соломы зерновых культур [2]. Вид севооборота существенно влияет на урожайность полевых культур. Применение минеральных удобрений повышает плодородие почвы и продуктивность зернопарового севооборота. Существенное влияние оказывают минеральные удобрения (аммофоска) на прибавку зерна гороха в зернопаровых севооборотах [3]. В длительных опытах применение минеральных удобрений постепенно увеличивает плодородие почвы в севооборотах. Минеральные удобрения являются важным фактором повышения продуктивности и устойчивости полевых культур зернопропашного севооборота [4]. Запашка сидератов в паровом поле севооборота без применения минеральных удобрений обеспечивает получение наибольшей урожайности зерновых культур. Применение минеральных удобрений на фоне питания способствует дополнительному сбору зерна. Сидеральный севооборот имеет своё преимущество перед зернопаровым за счёт наибольшей урожайности зерновых культур [5].

Минеральная система удобрений с двойной дозой NPK обеспечивает наибольшую урожайность мягкой пшеницы за девять ротаций севооборота. В вариантах без применения минеральных удобрений снижается продуктивность севооборота [6]. За шесть ротаций севооборота формируется наибольшая продуктивность на фоне с минеральными удобрениями, чем без их применения. В благоприятных метеорологических условиях наибольшая урожайность мягкой пшеницы наблюдается на удобренных почвах, и недобор выпавших осадков снижает

выход зерна [7]. Мягкая пшеница при возделывании в зернопаровых севооборотах формирует наибольшую урожайность с применением нитроаммофоски. Урожайность мягкой пшеницы снижается по предшественникам без применения минерального удобрения [8]. Внесение минеральных удобрений под посев мягкой пшеницы повышает целлюлозолитическую активность почвы, содержание нитратного азота и продуктивность. Наибольшая активность разлагающих микроорганизмов наблюдается под посевом культуры после гороха [9].

Наибольшая урожайность зерновых культур формируется на удобренном фоне питания по предшественникам (сидеральный пар, горох и мягкая пшеница после проса) в севооборотах [10]. Урожайность твёрдой пшеницы зависит от предшественников севооборотов и действия минеральных удобрений. Возделывание твёрдой пшеницы в сидеральном севообороте сопровождается целлюлозолитической активностью почвы. Действие минеральных удобрений повышают целлюлозолитическую активность почвы при выращивании твёрдой пшеницы после сидерального пара [11]. Активность микроорганизмов в почве повышается с наибольшим содержанием веществ питания ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) под посевом твёрдой пшеницы. Применение минеральных удобрений после сидерального пара (овёс и горох) приводит к увеличению содержания подвижного фосфора и обменного калия, целлюлозоразлагающей активности почвы и урожайности твёрдой пшеницы. [12]. Весеннее применение минеральных удобрений под культивацию в севообороте усиливает биологическую активность почвы. Севооборот оптимизирует микробиологические процессы в почве и увеличивает устойчивость микробного сообщества [13].

Применение минеральных удобрений положительно влияет на наибольшие прибавки урожая ячменя. В засушливых условиях отмечается снижение урожайности ячменя на удобренном и неудобренном фоне питания. Такое наблюдение связано с повышенным температурным стрессом и с водным дефицитом в условиях засухи [14, 15]. Внесение двойной дозы минеральных удобрений под посев ячменя повышает урожайность

в зернопаропропашном севообороте. Наибольшая урожайность ячменя получена с осенним внесением азотосодержащих удобрений под основную обработку почвы. Применение минеральных удобрений повышает продуктивность ячменя в севообороте [16, 17].

Внесение минеральных удобрений в почву увеличивает урожайность кукурузы в благоприятных погодных условиях. В связи с эффективностью применения удобрений под посев кукурузы происходит сбалансированное питание, которое снижает расход продуктивной влаги и питательных веществ из почвы, тем самым повышается и сохраняется почвенное плодородие [18, 19]. Урожайность проса в два и более раз выше в севооборотах, чем у мягкой и твёрдой пшеницы в разнообразных погодных условиях. Просо обладает высокой устойчивостью и стабильностью урожайности в условиях засухи вегетационного периода, чем яровые зерновые культуры [20].

В связи с этим, основные вопросы по проблеме повышения и сохранения урожайности и плодородия почвы в современном земледелии практически мало решались в условиях степной зоны Южного Урала. Таким образом, для достижения цели решения проблемы проводили исследования по выявлению влияния абиотических и ключевых факторов среды на урожайность полевых культур в севооборотах и на плодородие чернозёмов южных Оренбургского Предуралья.

Цель исследования состояла в изучении влияния метеорологических условий, температуры, продуктивной влаги, макроэлементов питания и целлюлозоразрушающей активности почвы, минеральных удобрений и предшественников на урожайность полевых культур в системе севооборотов для повышения и сохранения плодородия почвы.

#### **Материалы и методы**

Научные исследования проводили на экспериментальном участке по севооборотам с применением минеральных удобрений в условиях Оренбургского Предуралья, заложенном 35 лет назад (51°46'30.45"N, 55°18'23.57"E). В 2022-2024 гг. сидеральный пар и полевые культуры возделывали в шестипольных севооборотах на территории Оренбургского района центральной зоны области. Климат изучаемой зоны резко континентальный, так как наблюдается большая разность между средними температурами самого холодного и тёплого месяцев и неравномерность выпадения осадков в течение года.

В объекты исследования входили чернозём южный изучаемого участка и полевые культуры в сидеральных севооборотах. Среднее содержание гумуса чернозёма южного малогумусного тяжелосуглинистого опытного поля (по методу И.В. Тюрина) варьирует 3,2...4,0%, в сидеральном пару – 3,5...3,8%. Реакция среды в слое почвы 0...30 см в опыте нейтральная и слабощелочная: рН водной вытяжки – 7,0...8,1, в пару – 7,3...7,5; содержание

нитратного азота (по ионометрическому методу) – среднее 19,7...40,9 мг, подвижного фосфора – низкое 5...25 мг и обменного калия (по методу Б.П. Мачигина) – высокое 300...380 мг/кг. Показатели плодородия почвы определяли этими методами в центре коллективного пользования (<http://цкп-бст.рф>).

Исследования проводили по методам: метеонаблюдений по данным ЦГМС г. Оренбурга, полевого осадкомера и термометра Checktemp - HI 145; полевой по Б. А. Доспехову, термостатно-весовому по С.А. Воробьёву, аппликационно-весовому по Е.Н. Мишустину и др., расчётов урожайности с помощью взвешивания зелёной массы и зерна с учётом чистоты и влажности, дисперсионному по программе А. В. Самойлова (Россия) и статистическому по программе Statistica 12.0 разработанная компанией Stat Soft (США).

Изучали сидеральные севообороты по разработанной схеме полей: 1. Пар сидеральный «одно-временный посев овса и гороха» ...2. Твёрдая пшеница...3. Мягкая пшеница...4. Разделённое поле на посевы «кукуруза на силос, просо, горох» ...5. Мягкая пшеница...6. Ячмень. В работе применяли двухфакторный опыт по схеме:  $12A_1 \times 2B_1$ , где  $A_1$  – предшественники сидеральных севооборотов (двенадцать вариантов опыта);  $B_1$  – первый фон питания с удобрением (нитроаммофоска), второй – контрольный (без удобрения). Закладка полевых опытов проведена в четырёхкратной повторности и в трёхкратной во времени.

Варианты опытного поля представляют пар, культуры по предшественникам сидеральных севооборотов: А. Пар сидеральный...ячмень; Б. Твёрдая пшеница...сидеральный пар; В. Мягкая пшеница...твёрдая пшеница; Г. Кукуруза на силос...мягкая пшеница; Д. Просо...мягкая пшеница; Ж. Горох...мягкая пшеница; З. Мягкая пшеница...кукуруза на силос; К. Мягкая пшеница...просо; Л. Мягкая пшеница...горох; М. Ячмень в последствии кукурузы...мягкая пшеница; Н. Ячмень в последствии проса...мягкая пшеница; П. Ячмень в последствии гороха...мягкая пшеница.

В полевом опыте пары и полевые культуры сидеральных севооборотов систематически размещали на 48 делянках в шахматном порядке. В основных полях севооборота размер прямоугольной формы делянок составил 14,4 м на 90 м с  $S^2 = 1296 \text{ м}^2$ . В разделённом поле делянки состояли из наименьшего размера 3,6 м на 90 м с  $S^2 = 324 \text{ м}^2$ . Длина фона с нитроаммофоской на делянках составила тридцать метров и фона без удобрения – шестьдесят в соответствии с размером поля. Общая площадь сидеральных севооборотов в опыте составила 50544 м<sup>2</sup> или 5,0 га. На экспериментальном поле вносили (сеялка СЗП-3,6) на первой части делянок нитроаммофоску (содержание NPK = по 16%) в осенний период перед глубокой вспашкой (плуг ПЛН-4-35) почвы на 25...27 см с рекомендуемой

экономически оправданной нормой агрохимиками ( $N_{40}P_{40}K_{40}$  кг/га действующего вещества). Учёт урожайности зерновых культур проводили методом расчётов с площади 180 м<sup>2</sup>. Учёт урожайности горохово-яровой смеси и кукурузы проводили вручную методом пробных площадок с площади 20 и 14 м<sup>2</sup>.

В весенний период проводили боронование в два следа (БЗСС-1) и предпосевную культивацию (КПС-4У) почвы. В первой и во второй половине мая высевали семена полевых культур районированных сортов твёрдой (Оренбургская 10, 21, Целинная), мягкой пшеницы (Оренбургская 13, Саратовская 42, Учитель), просо (Оренбургское 9, 20; 24), овёс (Скакун), горох (Усач неосыпающийся, Чижминский 95, 229), ячмень (Анна, Натали, Миар) и гибридов кукурузы (РОСС-144 МВ, РОСС-199 МВ, РОСС-197 АМВ). Посев сортов проводили дисковой сеялкой (VITA СЗП-3,6А) и гибридов (Веста-8 и УПС-8) с установленной нормой полевых культур (млн шт. семян/га): твёрдая пшеница (4,0), мягкая пшеница (4,5), кукуруза на силос (0,05), просо (3,0), овёс (3,0), горох (1,2) и ячмень (3,8). После посева прикатывали семена кольчато-шпоровыми трехсекционными катками (З-ККШ-6). В фазу цветения овса и гороха измельчали косилкой и запахивали зелёную массу отвальным плугом, что в результате создавали зелёное удобрение в сидеральном пару. На делянках кукурузы в течение вегетации проводили междурядную обработку почвы против сорной растительности (КРН-4,2). На делянках не применяли инсектициды и фунгициды. В 2022-2023 гг. в фазе кущения зерновых культур (пшеница, просо, ячмень) и фазе 3...5 листьев гороха обрабатывали посевы гербицидом (Аметил с нормой расхода 0,7...1,5 и 0,5...0,8 л/га) против однолетних и многолетних двудольных сорняков. Для определения в физическом весе урожайности зерновых культур в конце вегетации (август-сентябрь) убрали селекционным

комбайном (TERRION-SAMPO SR2010) с измельчителем соломы.

### Результаты

В засушливом 2023 г. за вегетационный период (май...август) отмечалась наибольшая температура воздуха и составила 20,8 °С или больше средне-годового показателя (19,1 °С) на 8,9%. Во влажном 2024 г. наблюдалась наименьшая температура воздуха и составила 18,9 °С или на 1,0% меньше нормы.

В 2024 г. максимальное количество дождевых осадков выпало на районе 212,0 мм и на поле 224,0 мм, что на 36,8 и 44,5% выше средне-годового показателя 155 мм. В 2023 г. минимальное количество дождевых осадков составило на районе 153,0 мм и на поле 135,0 мм, что на 1,3 и 12,9% ниже нормы. В 2023 г. наибольшее число суховейных дней составило 64,0 или на 14,3% больше средне-годового показателя 56,0. В 2024 г. наименьшее число суховейных дней составило 26,0 или на 53,6% меньше нормы. В 2022 г. гидротермический коэффициент увлажнения по Г.Т. Селянинову вегетационного периода составил 0,8 (недостаточно засушливый), 2023 – 0,6 (очень засушливый) и 2024 – 1,0 (влажный).

В среднем за годы исследований показатели температуры воздуха превосходили норму на 0,7 °С, осадков – на 27,3 мм, кроме числа суховейных дней. В среднем гидротермический коэффициент составил 0,8, что на 0,1 выше средне-годового показателя 0,7.

За вегетационный период кукурузы на силос (вариант Г) на фонах питания (удобрения и контроль) наблюдалась наибольшая средняя температура в слое почвы 0...30 см 22,7 и 22,9 °С, гороха (Ж) – 21,6 и 21,9 °С. В других вариантах эксперимента средняя температура почвы за время парования и вегетационный период в сидеральных севооборотах была на уровне 21,8...22,7 °С (табл. 1).

**Таблица 1. Почвенные наблюдения за время парования и вегетационный период полевых культур сидеральных севооборотов в зависимости от варианта опытного поля и фона питания, 2022-2024 гг.**

Вариант опытного поля		Температура в слое почвы 0...30 см, °С	Продуктивная влага в слое почвы 0...100 см, мм			Целлюлозоразрушающая активность в слое почвы 0...30 см,%
			в фазе всходов	в фазе полной спе- лости	расход с осад- ками	
А		22,2/22,4	114,2/112,2	28,8/27,3	85,4/84,9	14,7/12,2
Б		22,6/22,7	106,3/104,2	14,2/12,9	92,1/91,3	12,1/10,2
В		22,1/22,3	100,8/98,7	16,6/14,8	84,2/83,9	8,6/8,8
Г		22,7/22,9	111,1/108,3	33,3/31,3	77,8/77,0	15,1/16,3
Д		22,1/22,2	94,5/92,3	38,9/37,5	55,6/54,8	17,2/10,2
Ж		21,6/21,9	110,7/106,9	27,5/26,2	83,2/80,7	6,8/15,0
З		22,0/22,1	88,1/86,0	8,0/6,6	80,1/79,4	9,5/9,1
К		22,3/22,2	107,7/105,2	16,2/14,3	91,5/90,9	9,9/7,6
Л		21,8/22,0	120,6/118,0	22,8/20,6	97,8/97,4	11,5/10,7
М		22,6/22,4	86,1/83,5	13,6/12,0	72,5/71,5	17,7/14,7
Н		22,5/22,4	99,6/64,0	10,5/8,7	89,1/55,3	11,6/10,0
П		22,3/22,2	100,6/98,7	12,9/11,2	87,7/87,5	11,7/11,8
НСР <sub>05</sub>	I	0,46	24,15	15,26	29,63	4,42
	II	0,19	9,86	6,23	12,10	1,80

Примечание. Здесь и далее: перед чертой – фон питания с удобрением, после черты – контрольный фон (без удобрения); НСР<sub>05</sub> фактор I – предшественник сидеральных севооборотов, НСР<sub>05</sub> фактор II – нитроаммофоска (удобрение)

Повышение запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см по вариантам отмечалось в фазе всходов мягкой пшеницы по гороху (Л) на фоне с удобрением 120,6 мм и на контрольном фоне 118,0 мм. В фазе полной спелости мягкой пшеницы по гороху происходило снижение запасов на фонах питания 22,8 и 20,6 мм, что повышало расход влаги с осадками до 97,8 и 97,4 мм. Снижение запасов продуктивной влаги наблюдали в фазе всходов ячменя по кукурузе (М) на удобренном фоне 86,1 мм и по просу (Н) на фоне без удобрения – 64,0 мм. Наибольшее количество продуктивной влаги отмечалось в фазе полной спелости проса по мягкой пшенице (Д) на фонах питания 38,9 и 37,5 мм, что снижало расход влаги с осадками до 55,6 и 54,8 мм. В других вариантах опытного поля наблюдались запасы продуктивной влаги в фазе всходов на фоне питания с удобрением в пределах 88,1...114,2 мм и на контрольном фоне – 83,5...112,2 мм. В фазе полной спелости уровень содержания влаги на фонах питания составил 8,0...33,3 и 6,6...31,3 мм соответственно. Расход влаги с осадками находился

на удобренном фоне в пределах 72,5...92,1 мм и на фоне без удобрения – 55,3...91,3 мм соответственно.

Увеличение целлюлозоразрушающей активности в слое почвы 0...30 см по вариантам отмечалось под посевом ячменя (М), проса (Д) на фоне питания с удобрением 17,7; 17,2% - при температуре почвы 22,6; 22,1 °С и наименьшей влаги - в фазе всходов и полной спелости. Уменьшение активности почвенных микроорганизмов, разрушающих целлюлозу, происходило под посевом гороха (Ж) на удобренном фоне 6,8% при наименьшей температуре почвы. Слабая активность микрофлоры почвы наблюдалась в остальных вариантах полевого эксперимента на фоне питания с удобрением в пределах 8,6...15,1% и на контрольном фоне – 7,6...16,3%.

Возрастание содержания нитратного азота в слое почвы 0...30 см по вариантам отмечалось в фазе всходов под посевом мягкой пшеницы по кукурузе (вариант 3) на удобренном фоне 46,6 мг и на фоне без удобрения – 40,8 мг/кг (табл. 2).

**Таблица 2. Плодородие почвы (0...30 см) и урожайность полевых культур в сидеральных севооборотах в зависимости от варианта опытного поля и фона питания, 2022-2024 гг.**

Вариант опытного поля	Питательные вещества почвы в фазе всходов (макроэлементы), мг/кг			Фракционный со- став гумуса, %	рН водной вытяжки	Урожайность, т/га
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
А	40,6/39,3	71,7/45,2	517,9/473,2	4,4/4,3	7,4/7,3	13,3/11,2
Б	36,9/27,1	66,7/40,8	548,5/475,1	4,4/4,0	7,4/7,2	0,8/0,9
В	43,2/28,9	62,8/41,1	499,2/456,7	3,6/3,6	7,2/7,2	1,1/1,2
Г	39,2/28,7	71,7/48,1	556,1/472,7	4,1/4,1	7,5/7,4	14,3/11,5
Д	37,5/20,1	83,0/52,7	564,8/483,2	4,4/4,2	7,6/7,5	1,5/1,3
Ж	38,7/33,9	81,3/45,4	610,4/493,8	4,5/4,4	7,7/7,6	0,7/0,6
З	46,6/40,8	78,2/42,1	581,1/436,3	4,5/3,6	6,9/6,8	1,0/1,0
К	42,6/33,1	79,4/38,6	593,5/424,4	4,6/3,6	6,7/6,8	1,0/0,9
Л	45,0/34,5	87,1/40,0	618,3/477,0	4,7/3,8	6,6/6,5	1,0/1,0
М	46,0/33,6	88,7/44,5	623,6/581,1	5,5/4,9	7,3/7,2	1,6/1,4
Н	37,3/29,4	88,0/43,3	642,5/554,0	5,5/5,0	7,4/7,3	1,6/1,5
П	42,5/40,4	93,6/48,4	677,5/569,9	5,6/5,2	7,5/7,4	1,5/1,4
НСР <sub>05</sub>	I	0,74	0,85	0,21	0,08	1,77
	II	0,30	0,35	0,08	0,03	0,72

*Примечание. НСР<sub>05</sub> питательных веществ выражена в мг на 100 г почвы*

Снижение содержания нитратного азота в почве наблюдалось под посевом твёрдой пшеницы по сидеральному пару (Б) на фоне питания с удобрением 36,9 мг и проса по мягкой пшенице (Д) на контрольном фоне 20,1 мг/кг. Уровень нитратного азота в почвенном горизонте по остальным вариантам составил 27,1...46,0 мг/кг. Наибольшее содержание подвижного фосфора в почве просматривалось в вариантах посева ячменя по мягкой пшенице (М, Н, П) на удобренном фоне 88,0...93,6 мг и проса (Д) на фоне без удобрения – 52,7 мг/кг. Наименьшее содержание подвижного фосфора в почве зафиксировано в вариантах посева мягкой пшеницы по твёрдой (В) на удобренном фоне 62,8 мг и по просу (К) на контрольном фоне 38,6 мг/кг. Диапазон содержания подвижного фосфора в почве по другим вариантам опытного поля варьировал 40,0...87,1 мг/кг. Максимальные запасы обменного калия в почве отмечались под посевами

ячменя на фонах питания 554,0...677,5 мг/кг. Минимальные запасы обменного калия в почвенном горизонте просматривались в вариантах мягкой пшеницы (В) на интенсивном (нитроаммофоска) фоне 499,2 мг и (К) на естественном (контроль) фоне 424,4 мг/кг. Уровень высокого содержания обменного калия в остальных вариантах опытного поля составил 436,3...618,3 мг/кг.

Наибольшее содержание гумуса в слое почвы 0...30 см наблюдали под посевами ячменя на фоне питания с удобрением 5,5...5,6% и на контрольном фоне 4,9...5,2%. Наименьшее процентное содержание органического вещества (гумус) в почве отмечалось под посевом мягкой пшеницы по твёрдой (В) на фонах питания 3,6%. Диапазон содержания гумуса в почве по другим вариантам опытного поля варьировал 3,6...4,7%.

Реакция почвенного раствора (рН водной вытяжки) по вариантам эксперимента имела слабокислую и слабощелочную среду ближе к нейтральной. Повышение щелочной среды наблюдалось под посевом гороха (Ж) на удобренном фоне 7,7 и на фоне без удобрений 7,6. Повышение кислой среды отмечали под посевом мягкой пшеницы (Л) на интенсивном фоне 6,6 и на естественном – 6,5. Уровень реакции почвенного раствора по другим вариантам опыта составил 6,8...7,6.

В варианте сидерального пара (А) на фоне питания с удобрением просматривалась наибольшая урожайность зелёной массы горохоовсяной смеси 13,3 т в сравнении с контрольным фоном – 11,2 т/га. В варианте с кукурузой на силос (Г) на интенсивном фоне повысилась урожайность до 14,3 т, на естественном фоне снизилась – до 11,5 т/га. Самой урожайной культурой из зерновых оказался ячмень по всем вариантам посева на удобренном фоне 1,5...1,6 т и неудобренном – 1,4...1,5 т/га. Почти одинаковая урожайность зерна наблюдалась по вариантам посева мягкой пшеницы по кукурузе, просу и гороху (З, К, Л) на фонах питания 0,9...1,0 т, как и по предшественнику твёрдая пшеница (В) – 1,1...1,2 т/га. Урожайность проса (Д) составила среднее значения на фоне питания с удобрением 1,5 т и на контрольном фоне 1,3 т/га. Снижение урожайности зерна на фонах питания отмечалась в посевах гороха и твёрдой пшеницы, что в вариантах (Ж) составило 0,6...0,7 и (Б) – 0,8...0,9 т/га.

Наибольший выход зелёной массы составил с зернопаропропашного севооборота «пар сидеральный...твёрдая пшеница...мягкая пшеница...кукуруза на силос...мягкая пшеница...ячмень» на фоне с нитроаммофоской 13,8 т и на фоне без удобрения – 11,3 т/га и зерна – 1,1 и 1,0 т/га, соответственно. Максимальный выход зерна составил с зернопарового севооборота «пар сидеральный...твёрдая пшеница...мягкая пшеница...просо...мягкая пшеница...ячмень» на интенсивном фоне 1,2 т и на контрольном фоне – 1,1 т/га и зелёной массы – 13,3 и 11,2 т/га, соответственно. Минимальный выход зерна составил с зернопарового севооборота «пар сидеральный...твёрдая пшеница...мягкая пшеница...горох...мягкая пшеница...ячмень» на удобренном фоне 1,0 т и на неудобренном – 1,0 т/га.

Процент положительного влияния продуктивной влаги в фазе спелости на продуктивность сидеральных севооборотов на фоне питания с удобрением составил 64,92 с коэффициентами:  $b=0,59$ ,  $r=0,80$ ,  $r^2=0,64$  и критерием значимости  $p=0,04$ . Оптимальная температура почвы оказывала значительное положительное воздействие на продуктивность сидеральных севооборотов на фоне без удобрения, и доля влияния составила 39,77% при коэффициенте корреляции 0,63 и уровнем значимости регрессии 0,02.

Количество подвижного фосфора в почве за вегетационный период на фоне питания без удобрения

зависела от положительного влияния содержания продуктивной влаги в фазе спелости и доля составила 39,17% при  $r=0,62$  и  $p=0,03$ . Расход содержания продуктивной влаги отрицательно воздействовал на запасы подвижного фосфора в почве на неудобренном фоне, что процентное влияние составило 34,46 при  $r=0,58$  и  $p=0,04$ .

Запасы подвижного фосфора и обменного калия значительно оказывали влияние на гумус почвы на фоне питания с удобрением, и доля составила 75,79 и 78,46% при  $r=0,87$  и  $0,88$ ,  $p=0,0002$  и  $0,0001$ . Наибольшее воздействие на гумус почвы на фоне питания без удобрения оказывало повышенное содержание обменного калия и процентное влияние составило 89,48 при  $r=0,94$  и  $p=0,000003$ .

Содержание нитратного азота отрицательно влияло на кислотность почвы на удобренном фоне питания, и доля составила 44,22% при  $r=0,66$  и  $p=0,02$ . Содержание подвижного фосфора наоборот положительно воздействовало на кислотность почвы на неудобренном фоне питания, и доля влияния составила 53,84 при коэффициенте корреляции 0,73 и критерии значимости 0,006.

### Обсуждение

Изучение влияния почвенно-климатических условий, минеральных удобрений и предшественников на продуктивность сидеральных севооборотов и плодородие почвы являлось своевременным и актуальным. Новизна в научной работе заключалась в установлении в засушливом вегетационном периоде положительного значительного влияния продуктивной влаги в фазе спелости, температуры почвы (39,77...64,92% при  $r=0,63$ ...0,80\*) на продуктивность сидеральных севооборотов и подвижного фосфора, обменного калия (53,84...89,48% при  $r=0,73$ ...0,94\*) на почвенное плодородие в отличие от других исследований. Впервые выявлена положительная зависимость содержания подвижного фосфора в почве под посевами культур за вегетационный период на фоне питания без удобрения от воздействия запасов продуктивной влаги в фазе спелости по сравнению с другими научными работами.

В неблагоприятных метеоусловиях достигнута наибольшая продуктивность сидеральных севооборотов с кукурузой и просом при применении минерального удобрения (нитроаммофоска), и выход зелёной массы и зерна составил 13,8 и 1,2 т/га в отличие от других засушливых районах Оренбургской области – 8,5 и 0,8 т/га. В засушливые 2022-2023 гг. применение гербицида (Аметил) снижало засорённость посевов и урожайность на 0,2...0,3 т/га. Во влажном 2024 г. не обрабатывали посевы сидеральных севооборотов пестицидами, что усугубило фитосанитарную обстановку культур. Развитие болезней и сорной растительности негативно сказалось на росте и развитии полевых культур, приводящих к снижению урожайности на 0,2...1,2 т/га.

В результате ухудшения метеорологических условий, водной, питательной, плодородной среды

почвы происходило понижение урожайности полевых культур в сидеральных севооборотах. Несмотря на данные условия, применение минерального удобрения повышало урожай зелёной массы и зерна почти во всех вариантах опыта на 2,1...2,8 и 0,1...0,2 т/га, кроме посева твёрдой и мягкой пшеницы в последствии сидерального пара. Внесение нитроаммофоски под посев твёрдой и мягкой пшеницы после сидерального пара (зелёное удобрение) на интенсивном фоне питания было неэффективным, так как происходил дисбаланс между минеральными и органическими питательными веществами в почве при засушливых условиях вегетационного периода, что снижало урожайность на 0,1 т/га. В общем совместное влияние рассматриваемых факторов не приводило к повышению урожайности полевых культур и плодородию почвы в сидеральных севооборотах.

В связи с этим для достижения цели повышения и сохранения урожайности и плодородия почвы в условиях засухи впервые выявлены инструменты решения проблемы в сравнении с другими исследованиями в России и за рубежом. Такими инструментами являлись агротехнологии возделывания полевых культур в сидеральных севооборотах с наилучшими предшественниками кукуруза на силос и просо при применении минерального удобрения (нитроаммофоска), что повышало и сохраняло урожайность и плодородие почвы в засушливых условиях Оренбургского Предуралья.

##### Заключение

1. В результате метеонаблюдений за время парования и вегетационный период выявлено, что температура воздуха (19,8 °C) превышала среднееголетние данные (19,1 °C) на 0,7 °C, и гидротермический коэффициент был равен 0,8, что характеризовало засушливые условия, которые снижали урожайность полевых культур сидеральных севооборотов и плодородие почвы.

2. В работе установлена зависимость урожайности сидеральных культур (13,3 и 11,2 т/га) и кукурузы на силос (14,3 и 11,5 т/га) на фонах питания от влияния засушливых метеорологических условий и температуры почвы. Температура воздуха и почвы (19,8 и 22,7...22,9 °C) существенно влияли на снижение урожайности горохоовсяной смеси и кукурузы на силос. Количество выпавших осадков (180,7...182,3 мм) положительно влияли на урожайность кормовых культур на фоне питания с нитроаммофоской. Таким образом, в данных условиях наибольшая урожайность кормовых культур сформировалась при применении минерального удобрения.

3. Несмотря на наименьшие запасы продуктивной влаги в почве (8,7...100,6 мм) формировалась наибольшая урожайность ячменя (1,4...1,6 т/га) во всех вариантах опытного поля. Наилучшим предшественником ячменя трактовался посев мягкой пшеницы по просу в последствии сидерального пара. По ячменю была получена наибольшая урожайность в связи с засухоустойчивостью сортов и зависела от

влияния целлюлозоразрушающей активности, температуры, питательных веществ, гумуса и слабощелочной среды почвы.

4. Наименьшая урожайность гороха (0,7 и 0,6 т/га) и твёрдой пшеницы (0,8 и 0,9 т/га) на фонах питания была связана со слабоустойчивыми сортами к засухе и с влиянием сниженной температуры почвы, низких запасов продуктивной влаги в фазе спелости, слабой разрушающей активности почвенных микроорганизмов, высокого количества макроэлементов питания, среднего содержания гумуса и более щелочной среды почвы.

5. Снижение урожайности полевых культур в сидеральных севооборотах происходило в результате неблагоприятных водных, питательных и плодородных условий почвы и действия гербицида. В отдельный 2024 г. не применяли пестициды на посевах, что усугубило фитосанитарную обстановку растений экспериментального участка, приводящую к снижению урожайности зерновых культур (0,3...1,2 т/га) во всех вариантах опыта.

6. В исследовании выявлена положительная зависимость продуктивности шестипольных севооборотов (пар сидеральный...ячмень) от значительного влияния (64,92%,  $r=0,80^*$ ) продуктивной влаги в фазе спелости на фоне питания с нитроаммофоской и от воздействия (39,77%,  $r=0,63^*$ ) температуры почвы за вегетационный период на контрольном фоне без удобрения.

7. В эксперименте установлена положительная зависимость плодородия почвы (подвижного фосфора, гумуса и кислотности) от существенного влияния (39,17%,  $r=0,62^*$ ) запасов продуктивной влаги в фазе спелости и (53,84...89,48%,  $r=0,73...0,94^*$ ) макроэлементов питания ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) в фазе всходов полевых культур.

8. В почвенно-климатических условиях Оренбургского Предуралья для улучшения кормового и зернового производства в сельском хозяйстве рекомендуется внедрение звеньев сидеральных севооборотов с внесением нитроаммофоски в дозе  $N_{40}P_{40}K_{40}$  кг/га действующего вещества: кукуруза на силос...мягкая пшеница...ячмень и просо...мягкая пшеница...ячмень.

##### Литература

1. Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К. Динамика гумуса в полевых севооборотах на осушаемых землях // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. № 25 (1). С. 62-74. doi: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74
2. Дедов А. В., Несмеянова М. А. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 1 (64). С. 50-60. doi: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.50
3. Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В. Влияние сорных растений и аммофоса на выход зерна гороха

в степной зоне Южного Урала // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (57). С. 35-45. doi: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-35-45

4. Золкина Е. И. Изменение продуктивности севооборота и устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений // Аграрная наука Северо-Востока. 2023. № 24 (5). С. 810-819. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.810-819 5

5. Постников П. А., Попова В. В. Влияние удобрений на урожайность культур и вынос питательных элементов в зернопаросидеральном севообороте // Агрохимия. 2021. №4. С. 42-48. doi: 10.31857/S000218812104013X

6. Эффективность длительного применения различных систем удобрений в севообороте / Р. В. Тимошинов, Е. Ж. Кушаева, Л. Е. Марчук и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. № 4. С. 38-43. doi: 10.36718/1819-4036-2023-4-38-43

7. Дзюин А. Г. Продуктивность севооборота в зависимости от систем применения удобрений в длительном опыте // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 66-75. doi: 10.26897/0021-342X-2023-2-66-75

8. Митрофанов Д. В. Зависимость урожайности зерна мягкой пшеницы от неустойчивого увлажнения почвы // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 28-33. doi: 10.28983/asj.y2023i1pp28-33

9. Скороходов В. Ю. Продуктивность пшеницы на фоне биологической активности почвы в севооборотах и монопосеве в условиях Южного Урала // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. № 11 (188). С. 62-69. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-62-69

10. Урожайность зерновых культур в богарных условиях степной зоны Южного Урала / В. Ю. Скороходов, Ю. В. Кафтан, Н. А. Максютин и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 1. С. 161-175. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-161

11. Скороходов В. Ю. Урожайность яровой твердой пшеницы на фоне целлюлозолитической активности почвы // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 75-80. doi: 10.28983/asj.y2023i12pp75-80

12. Митрофанов Д. В. Влияние влажности, целлюлозолитической активности почвы и макроэлементов питания на урожайность твердой пшеницы в степной зоне Оренбургской области // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1 (72). С. 90-100. doi: 10.53914/issn2071-2243-2022-1-90

13. Замятин С. А., Максимова Р. Б. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4 (76). С. 39-44. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44

14. Постников П. А., Попова В. В., Тиханская Е. Л. Влияние биологических факторов на накопление элементов питания и на урожайность зерновых //

Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 32-36. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10019

15. Скороходов В. Ю. Влияние температурного стресса на урожайность ячменя в Оренбуржье // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 10. С. 11-21. doi: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-11-21

16. Дериглазова Г. М. Оценка стабильности урожайности ярового ячменя в условиях ЦЧР // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 3. С. 87-92. doi: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-87-92

17. Иванова О. М. Применение различных видов минеральных удобрений на ячмене в условиях Тамбовской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 4 (32). С. 132-136. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11144

18. Багринцева В. Н., Ивашенко И. Н. Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе // Агрохимия. 2020. № 2. С. 77-83. doi: 10.31857/S0002188120020039

19. Дёмин Е. А., Ерёмин Д. В. Влияние минеральных удобрений и сроков посева на урожайность зелёной массы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (163). С. 27-33. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-27-33

20. Азизов З. М., Архипов В. В., Имашев И. Г. Урожайность проса, яровой мягкой пшеницы и яровой твердой пшеницы в условиях засушливого Поволжья // Аграрный Вестник Юго-Востока. 2020. № 1 (24). С. 11-13.

## References

1. Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. Humus dynamics in field crop rotations on drained lands // Agrarian science of the Euro-North-East. 2024. No. 25 (1). P. 62-74. doi: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74

2. Dedov A. V., Nesmeyanova M. A. Study of the influence of crop rotations on the content of soil organic matter and crop yields // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2020. Vol. 13. No. 1 (64). P. 50-60. doi: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.50

3. Mitrofanov D. V., Kaftan Yu. V. The influence of weeds and amorphous phosphorus on pea grain yield in the steppe zone of the Southern Urals // Vestnik of Novosibirsk State Agrarian University. 2020. No. 4 (57). P. 35-45. doi: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-35-45

4. Zolkina E. I. Changes in crop rotation productivity and stability of agrocenoses with long-term use of fertilizers // Agrarian science of the Euro-North-East. 2023. No. 24 (5). P. 810-819. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.810-819 5

5. Postnikov P. A., Popova V. V. Effect of fertilizers on crop yields and nutrient removal in grain-fallow-green manure crop rotation // Agrochemistry. 2021. No. 4. P. 42-48. doi: 10.31857/S000218812104013X

6. Efficiency of long-term use of various fertilizer systems in crop rotation / R. V. Timoshinov, E. Zh. Kushaeva, L. E. Marchuk, et al. // Vestnik of Krasnoyarsk State

Agrarian University. 2023. No. 4. P. 38-43. doi: 10.36718/1819-4036-2023-4-38-43

7. Dzyuin A. G. Crop rotation productivity depending on fertilizer application systems in a long-term experiment // Vestnik of the Timiryazev Agricultural Academy. 2023. No. 2. P. 66-75. doi: 10.26897/0021-342X-2023-2-66-75

8. Mitrofanov D. V. Dependence of soft wheat grain yield on unstable soil moisture // Agrarian scientific journal. 2023. No. 1. P. 28-33. doi: 10.28983/asj.y2023i1pp28-33

9. Skorokhodov V. Yu. Wheat productivity against the background of soil biological activity in crop rotations and monocropping in the conditions of the Southern Urals // Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2022. No. 11 (188). P. 62-69. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-62-69

10. Yield of grain crops in rainfed conditions of the steppe zone of the Southern Urals / V. Yu. Skorokhodov, Yu. V. Kaftan, N. A. Maksyutov et al. // Animal husbandry and forage production. 2024. Vol. 107. No. 1. P. 161-175. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-161

11. Skorokhodov V. Yu. Yield of spring hard wheat against the background of cellulolytic activity of the soil // Agrarian scientific journal. 2023. No. 12. P. 75-80. doi: 10.28983/asj.y2023i12pp75-80

12. Mitrofanov D. V. Influence of moisture, cellulolytic activity of the soil and macronutrients on the yield of hard wheat in the steppe zone of the Orenburg region // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2022. Vol. 15. No. 1 (72). P. 90-100. doi: 10.53914/issn2071-2243-2022-1-90

13. Zamyatin S. A., Maksimova R. B. Influence of crop rotation crops on the biological activity of the soil //

Grain Economy of Russia. 2021. No. 4 (76). P. 39-44. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44

14. Postnikov P. A., Popova V. V., Tikhanskaya E. L. Influence of biological factors on accumulation of nutrients and grain yield // Agrochemical Vestnik. 2020. No. 2. P. 32-36. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10019

15. Skorokhodov V. Yu. The impact of temperature stress on barley yield in the Orenburg Region // Agrarian Vestnik of the Urals. 2023. Vol. 23. No. 10. P. 11-21. doi: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-11-21

16. Deriglazova G. M. Assessment of Spring Barley Yield Stability in the Central Black Soil Region // Grain Economy of Russia. 2023. Vol. 15. No. 3. P. 87-92. doi: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-87-92

17. Ivanova O. M. Application of various types of mineral fertilizers on barley in the Tambov region // Grain legumes and cereal crops. 2019. No. 4 (32). P. 132-136. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11144

18. Bagrintseva V. N., Ivashenko I. N. Influence of weather conditions in the Stavropol Territory on the effectiveness of nitrogen fertilizer doses on corn // Agrochemistry. 2020. No. 2. P. 77-83. doi: 10.31857/S0002188120020039

19. Demin E. A., Eremina D. V. Effect of mineral fertilizers and sowing time on the yield of green mass of corn in the forest-steppe zone of the Trans-Urals // Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2020. No. 10 (163). P. 27-33. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-27-33

20. Azizov Z. M., Arkhipov V. V., Imashev I. G. Yield of millet, spring soft wheat and spring hard wheat in the arid Volga region // Agrarian Vestnik of the South-East. 2020. No. 1 (24). P. 11-13.



## Продуктивность могара в зависимости от норм, способов и сроков сева

А. А. Пех<sup>1</sup>, старший преподаватель

А. Х. Козырев<sup>2✉</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет»

362040, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Кирова, 37.

<sup>2</sup> Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

363110, РСО-Алания, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1

✉ironlag@mail.ru

**Резюме.** С целью научного обоснования сроков, способов и норм высева семян могара был проведен полевой эксперимент в условиях лесостепной зоны Центрального Предкавказья на среднесуглинистых выщелоченных черноземах, залегающих на галечниковых отложениях. Наши исследования включали: однофакторный опыт, в котором изучали три срока сева (1-ая, 2-ая и 3-я декады мая, когда почва уже достаточно прогрета 10...14 °C) и двухфакторный опыт, в котором изучали три способа посева (рядовой 30 см, ширококорядные 30 и 45 см) и четыре нормы высева (3,0; 3,5; 4,0 и 4,5 млн. шт. семян на гектар). В качестве объекта исследования выбран сорт могара Кабир. Максимальные показатели роста и развития растений могара были получены при ранних и средних сроках посева. Поздний посев привел к существенному снижению всех показателей. С увеличением нормы высева семян процент выживаемости растений снижался. При рядовом способе посева этот показатель был несколько выше (85,9...96,1%), чем при ширококорядном с междурядьями 30 см (83,9...94,4%) и 45 см (82,1...94,1%). При всех способах посева наименьшая выживаемость растений наблюдалась при норме высева 4,5 млн. всхожих семян на гектар. В ширококорядных посевах при нормах высева более 4 млн.шт./га агроценозы могара формировали урожай зеленой массы от 11,8 до 12,1 т/га, что значимо их отличало от рядовых посевов и заниженных норм высева (3,0...3,5 млн. шт./га). При одинаковой норме высева увеличение ширины междурядий показало существенный прирост к урожайности зеленой массы. Для возделывания могара на кормовые цели в условиях предгорной зоны РСО-Алания рекомендованы следующие агротехнические приемы: посев в ранние сроки – 1...2 декада мая, норма высева 4,0...4,5 млн. шт./га, способ посева – ширококорядный с междурядьями 30...45 см.

**Ключевые слова:** могар, сроки сева, способы посева, нормы высева, выживаемость, фотосинтетический потенциал, продуктивность.

**Для цитирования:** Пех А. А., Козырев А. Х. Продуктивность могара в зависимости от норм, способов и сроков сева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 29-35. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-29-35

## Mogar Productivity Depending on Sowing Rates, Methods and Timing

A. A. Pekh<sup>1</sup>, A. Kh. Kozyrev<sup>2✉</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Gorsky State Agrarian University  
362040, Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Kirov Street, 37

<sup>2</sup> North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Scientific Center, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

363110, Republic of North Ossetia-Alania, Mikhailovskoye Village, Williams Street, 1

✉ironlag@mail.ru

**Abstract.** In order to scientifically substantiate the timing, methods and rates of sowing mogar seeds, a field experiment was conducted in the forest-steppe zone of the Central Ciscaucasia on medium-deep heavy loamy leached chernozems lying on pebble deposits. Our research included a single-factor experiment, which examined three sowing dates (the 1st, 2nd and 3rd ten-day periods of May, when the soil is already sufficiently warmed up 10...14 °C) and a two-factor experiment, which examined three sowing methods (row 30 cm, wide-row 30 and 45 cm) and four sowing rates (3.0; 3.5; 4.0 and 4.5 million seeds per hectare). The Kabir mogar variety was selected as the object of the study. The maximum growth and development indicators of mogar plants were obtained with early and middle sowing dates. Late sowing led to a significant decrease in all indicators. With an increase in the seeding rate, the percentage of plant survival decreased. With the row sowing method, this indicator was slightly higher (85.9... 96.1%) than with the wide-row sowing with inter-row spacing of 30 cm (83.9... 94.4%) and 45 cm (82.1... 94.1%). For all sowing methods, the lowest plant survival was observed at a seeding rate of 4.5 million viable seeds per hectare. In wide-row sowings with seeding rates of over 4 million seeds / ha, mogar agroecosystems formed a green mass yield of 11.8 to 12.1 t / ha, which significantly differed from row sowing and reduced seeding rates (3.0... 3.5 million seeds / ha). With the same seeding rate, an increase in the width of the inter-rows showed

a significant increase in the yield of green mass. For cultivating mogar for forage in the foothills of the Republic of North Ossetia-Alania, the following agricultural practices are recommended: early sowing – the first to second ten days of May, seeding rate of 4.0 to 4.5 million seeds/ha, wide-row sowing with row spacing of 30 to 45 cm.

**Keywords:** mogar, sowing timing, sowing methods, seeding rates, survival rate, photosynthetic potential, productivity.

**For citation:** Pekh A. A., Kozyrev A. Kh. Mogar Productivity Depending on Sowing Rates, Methods, and Timing // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 29-35 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-29-35

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (рег. № НИОКТР 125012700817-6).

#### Введение

На современном этапе развития агропромышленного сектора Российской Федерации наблюдается возрастание стратегической роли кормопроизводства. Данное направление выступает фундаментальным элементом, который не только определяет устойчивость и продуктивность животноводческой отрасли, но и оказывает значительное воздействие на смежные сферы, включая растениеводство. Более того, его развитие неразрывно связано с вопросами сохранения агроландшафтов и поддержания экологического равновесия [1, 2, 3]. Столь высокая значимость обусловлена как площадями, отводимыми под кормовые культуры, которые занимают до 75% пахотных земель, так и уникальными биоэкологическими характеристиками кормовых трав. Эти растения обладают превосходной адаптивностью к разнообразным почвенно-климатическим условиям регионов России, что позволяет эффективно использовать природный потенциал территорий при относительно низком уровне антропогенного вмешательства [4, 5, 6]. В условиях дефицита ресурсов этот аспект приобретает особую актуальность, выдвигая травосеяние на передний план в качестве инструмента стабилизации аграрного производства и его биологизации [7, 8].

Одним из перспективных представителей кормовых злаков является могар (*Setaria italica* moharicum L.). Это однолетнее растение, отличающееся высокой устойчивостью к засухе, что делает его незаменимым для возделывания в степных и аридных зонах страны. Агрономы высоко ценят его за эффективность в различных системах севооборота. Благодаря хорошо развитой мочковатой корневой системе, концентрирующейся в пахотном горизонте почвы, могар служит превосходным предшественником для последующих культур, таких как озимые и яровые зерновые [9, 10]. Кроме того, пастбища на основе могара по своей продуктивности часто превосходят аналогичные, засеянные сорго или суданской травой.

Несмотря на свои преимущества, в агроценозах Республики Северная Осетия-Алания могар до сих пор не получил широкого распространения и относится к категории новых культур. Между тем, введение в сельскохозяйственный оборот нетрадиционных видов растений представляет собой эффективный путь повышения общей биологической продуктивности полей. Этот подход позволяет достичь существенных результатов без значительных

капиталовложений за счет оптимизации таких агротехнических параметров, как густота стояния растений и календарные сроки сева. Успешная интродукция подобных культур невозможна без предварительного глубокого изучения их биоэкологических особенностей в конкретных условиях региона [11, 12].

Дальнейший прогресс в области кормопроизводства в РСО-Алания напрямую зависит от способности региона к интенсификации отрасли. Это подразумевает не только расширение посевных площадей, но и повышение урожайности в т.ч. и малоизвестных кормовых растений. Для того чтобы внедрение новых культур и организация их семеноводства проходили на прочной научной базе, требуется целенаправленная разработка и адаптация базовых агротехнологических приемов их культивирования [13, 14].

Важным фактором, определяющим итоговую продуктивность посевов, является плотность травостоя, которая, в свою очередь, регулируется методом и нормой высева семян [15]. Данные вопросы на протяжении многих лет находились в фокусе внимания многочисленных научно-исследовательских институтов. Тем не менее, в аграрной науке до сих пор отсутствует консенсус относительно оптимальных параметров посева для различных целей, будь то получение высококачественного семенного материала или максимального выхода зеленой массы. Эта неопределенность и формирует актуальную научную проблему, требующую разрешения.

В связи с вышеизложенным, цель исследований заключалась в научном обосновании сроков сева, способов посева и норм высева семян могара в условиях лесостепной зоны Центрального Предкавказья.

#### Материалы и методы

Исследования проводятся с 2022 года в центральной части Северного Кавказа на базе Учебно-научно-производственного отдела Горского государственного аграрного университета, расположенного в третьей агроклиматической зоне – лесостепи. Данная территория характеризуется наличием средне-мощных тяжелосуглинистых выщелоченных чернозёмов, залегающих на галечниковых отложениях. Почвенные условия отличаются высоким содержанием гумуса – от 5 до 6,03%, а также значительным запасом основных элементов питания: содержание азота достигает 0,4%, фосфора – от 0,2 до 0,3%, а калия – в пределах 1,62...1,90%. Количество подвижных форм элементов составляет: азот – 10,3...11,4 мг/100 г почвы, фосфор – 10,1...12,5 мг/100

г почвы, калий – 160 мг/100 г почвы. Реакция почвенного раствора (рН) варьирует от 5,48 до 6,92. Почвы данной местности богаты микроэлементами, среди которых можно выделить медь, марганец, железо, а также такие элементы, как свинец, хром, никель и ванадий. Количество бора и кобальта определяется как среднее, тогда как молибден встречается в малых количествах.

Агроклиматические условия территории характеризуются как умеренно-теплые с неустойчивым увлажнением. Среднегодовая температура воздуха составляет +8,4 °С, среднегодовой объем осадков – 670 мм. Гидротермический коэффициент региона варьируется в диапазоне 1,2...1,5, сумма эффективных температур воздуха за вегетационный период составляет от 3000 до 3200 °С.

Для достижения поставленных задач методология работы включала проведение двух полевых опытов. Первый опыт, организованный по однофакторной схеме, был посвящен определению оптимального срока посева. В качестве вариантов изучались три различных срока сева – первая, вторая и третья декады мая, при прогреве почвы до оптимальных 10...14 °С. Второй опыт имел двухфакторную схему. В его рамках изучали сочетание трех способов посева (рядовой с междурядьем 15 и 30 см, а также широко-рядные с междурядьями 30 и 45 см) и четырех различных норм высева семян, а именно 3,0; 3,5; 4,0 и 4,5 млн шт./га.

В качестве объекта исследования выбран сорт могара «Кабир» (оригинатор ФГБУН «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства»). Все агротехнические мероприятия выполнялись согласно региональным технологическим рекомендациям. В качестве предшествующей культуры выступала кукуруза на зерно. Площадь каждой опытной делянки составляла 36 м<sup>2</sup>, из которых учётная площадь – 21 м<sup>2</sup>. Эксперимент закладывался с четырёхкратной повторностью и рендомизированным распределением вариантов.

Методы полевых исследований включали фенологические наблюдения, биометрические измерения, учет густоты растений, определение фотосинтетических показателей и продуктивности растений. Учет урожая проводился методом пробных площадок с последующим пересчетом на стандартные показатели влажности. Статистическая обработка полученных результатов проведена методом дисперсионного анализа с использованием программного пакета Microsoft Office.

### Результаты

Для достижения высоких урожаев кормовых культур, и, в частности могара, ключевым фактором является выбор оптимального времени сева, обоснованный научными данными. Правильно выбранный срок сева способствует равномерному появлению всходов, что в свою очередь обеспечивает активные темпы роста растений и их дальнейшее развитие. Это

также способствует более рациональному использованию фотосинтетически активной радиации растениями, необходимой для формирования биологической массы.

Одним из показателей успешного формирования урожая зеленой массы в агроценозах является высота растений, которая варьируется в зависимости от времени посева. На ранних этапах развития могара, вплоть до наступления фазы кущения, для культуры были характерны замедленные темпы роста, при этом высота растений, как правило, не превосходила 8...12 см. Однако существенные различия в биометрических показателях, обусловленные варьированием сроков сева, стали отчетливо проявляться значительно позже, конкретно в период выметывания: высота растений в этот период колебалась в пределах 30...40 см. Максимальной высоты растения достигли в фазу цветения (табл. 1).

**Таблица 1. Показатели роста и развития растений могара в зависимости от сроков сева (сред. за 3 года)**

Показатели	Сроки сева			НСР <sub>05</sub>
	1 дек. V	2 дек. V	3 дек. V	
Высота растений, см	66,2	72,5	58,8	4,31
Площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	19,6	20,2	17,5	0,67
ЧПФ, г/м <sup>2</sup> ×сутки	2,31	2,35	2,12	0,12

При посеве во второй декаде мая растения достигали максимальной высоты (72,5 см). Это можно объяснить более благоприятными условиями тепло- и влагообеспеченности середины мая. Ранние сроки сева демонстрировали меньшую высоту растений, а поздние сроки давали самые низкие показатели.

Листовая поверхность растений играет ключевую роль в эффективности поглощения фотосинтетически активной радиации. В ходе эксперимента было установлено, что время проведения посевных работ оказывало существенное воздействие на формирование ассимиляционного аппарата растений. Наибольшее развитие листовой поверхности (19,6...20,2 тыс. м<sup>2</sup>/га) наблюдалось при проведении посева в ранние и средние сроки. Статистически значимой разницы между этими двумя вариантами зафиксировано не было. Напротив, смещение посевных работ на более поздние даты приводило к заметному сокращению площади листьев на 10,7...13,4%.

Биологическая продуктивность агроценоза зависит не только от абсолютной величины листового аппарата, но и от длительности его активной жизнедеятельности. Интегральный показатель, учитывающий оба этих аспекта, – фотосинтетический потенциал – продемонстрировал схожую динамику. Максимальное значение ФП (1,32 млн м<sup>2</sup>·дней/га) было достигнуто в варианте со средним сроком сева. Ранний посев показал результат на 7,6% ниже, тогда как при позднем посеве данный показатель снижался уже на 17,4% (рис. 1).

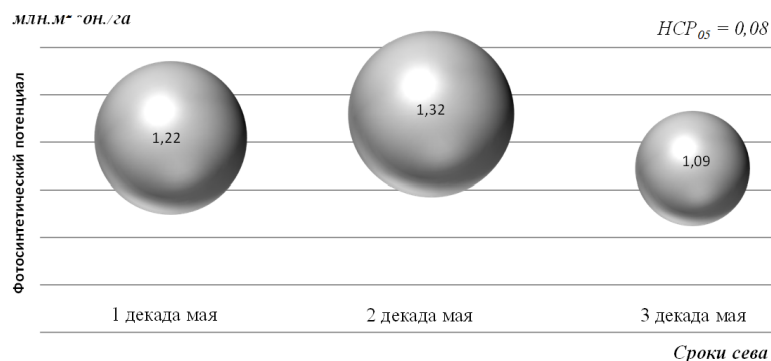


Рис.1. Фотосинтетический потенциал посевов могоара в зависимости от сроков сева (сред. за 3 года), млн.м²·ч/га

Эффективность фотосинтетической ассимиляции на протяжении всего вегетационного цикла, характеризующая чистой продуктивностью фотосинтеза, является критически важным параметром для оценки потенциала урожайности. Анализ данных подтвердил, что растения, посеянные в ранние и средние сроки, демонстрировали более высокую продуктивность фотосинтеза по сравнению с поздними сроками. Разница составляла 0,19 и 0,23 г/м²·сутки соответственно.

Наибольшая урожайность зеленой массы, достигавшая 11,54...11,82 т/га, была зафиксирована при ранних и средних сроках посева. Это связано с более высокой ассимиляционной способностью растений,

что положительно влияло на их продуктивность (рис. 2).

Варианты с поздним посевом показали меньшую эффективность на 1,18...1,46 т/га, что подтверждает важность выбора оптимального времени сева. Аналогичная закономерность прослеживалась и по сбору сухого вещества (2,62...3,31 т/га), с одной лишь разницей, что средний срок посева показал достоверно лучшие результаты в сравнении с другими сроками посева. Следовательно, средние сроки сева (2-я декада мая) обладают наиболее благоприятными условиями для сева могоара в условиях предгорной зоны РСО-Алания.

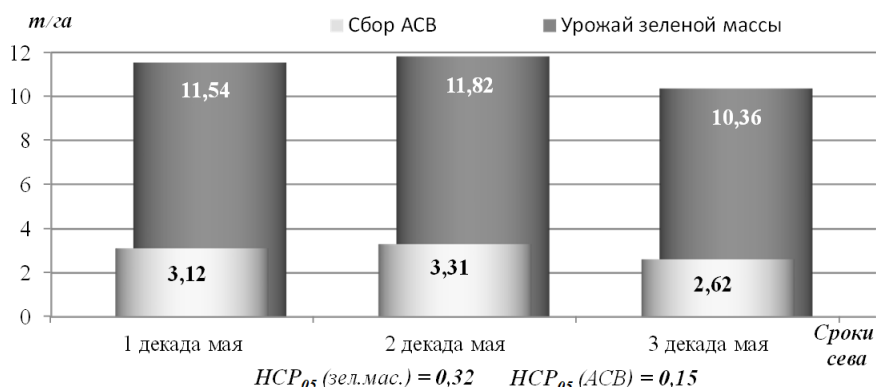


Рис. 2. Продуктивность могоара в зависимости от сроков сева (сред. за 3 года), т/га

Одним из ключевых факторов повышения продуктивности кормовых культур является оптимизация технологии их возделывания. В связи с этим одной из задач нашего исследования стала разработка оптимальных норм и способов посева могоара, для достижения максимальной продуктивности травостоя.

В течение вегетационного периода многие растения погибали, причиной чему были различные факторы, в т.ч. конкуренция за ресурсы, а также развитие болезней и вредителей. Данному вопросу было уделено особое внимание путем мониторинга количества растений от появления всходов до уборки урожая (рис. 3).

Исследования показали, что увеличение нормы посева семян оказывает отрицательное влияние на процент выживаемости растений. Наиболее высокие показатели выживаемости фиксировались при рядовом способе посева, где они варьировались в пределах

85,9...96,1%. Широкоярядный способ с междурядьями 30 см обеспечивал несколько меньшую выживаемость (83,9...94,4%), а при междурядьях 45 см этот показатель снижался до 82,1...94,1%. Это связано, прежде всего, с тем, что при одинаковых нормах высева рядовой способ посева обеспечивал более оптимальную площадь питания для растений, тогда как в широкоярядных посевах растения располагались в слишком загущенных рядах. Более высокая плотность посева создает менее благоприятные условия для выживания растений. В то же время, статистическая обработка полученных результатов подтвердила преимущество рядового способа над широкоярядным (30 см) только при нормах высева 3,0 и 4,5 млн. шт. семян. Широкоярядный способ посева (45 см) при всех нормах высева значительно уступал рядовому способу.

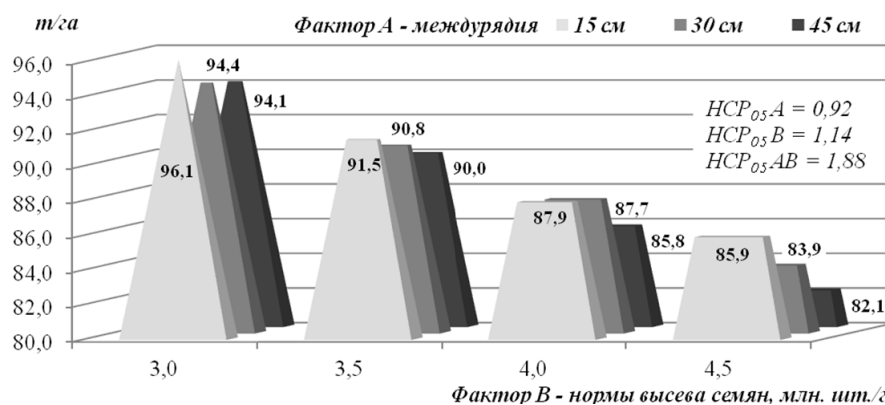


Рис. 3. Выживаемость растений могара в зависимости от способов и норм высева (сред. за 3 года), %

Наименьшая выживаемость растений, независимо от способов посева, проявлялась при норме высева 4,5 млн. всхожих семян на гектар, при этом биометрический анализ показал преимущество загущенных агроценозов по высоте растений. Острая

конкуренция за свет, как правило, вынуждала растения к более значительному линейному росту.

Исследования показали существенное влияние способа посева на урожайность зеленой массы при одинаковой норме высева (рис. 4).

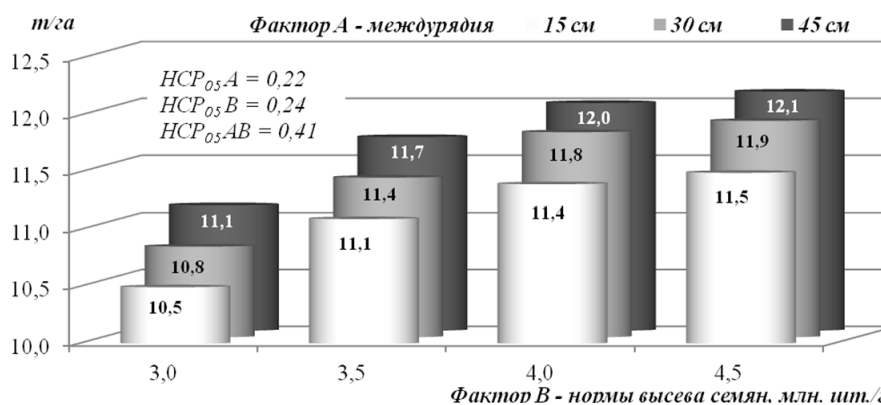


Рис. 4. Урожайность зеленой массы могара в зависимости от способов и норм высева (сред. за 3 года), т/га

Ширококорядные посевы способствовали лучшему освещению растений, в то же время загущенные посевы увеличивали рост растений за счет конкуренции. Эти факторы положительно сказались на продуктивности ширококорядных вариантов с повышенными нормами высева семян.

Агрофитоценозы могара, сформированные при междурядьях в 30 и 45 см и густоте посева свыше 4 млн. всхожих семян на гектар, обеспечивали сбор надземной биомассы в диапазоне от 11,8 до 12,1 т/га. Эти показатели существенно превосходили урожайность, полученную при использовании рядового способа посева или при сниженных нормах

высева – 3,0...3,5 млн.шт./га. Следует также отметить, что при одинаковой норме высева увеличение ширины междурядий показало существенный прирост к урожайности зеленой массы. Данный факт прослеживался между всеми вариантами с нормой высева семян 3,0...3,5 млн. шт./га. При увеличении нормы высева до 4 млн. и более значимый эффект наблюдался лишь между рядовым и ширококорядными способами сева.

Тенденция, аналогичная формированию зеленой массы, наблюдалась и в отношении накопления сухого вещества (табл. 2).

Таблица 2. Влияние норм и способов посева на сбор сухого вещества в агроценозах могара (сред. за 3 года), т/га АСВ

Способ посева (фактор А)	Норма высева, млн. шт./га (фактор В)			
	3,0	3,5	4,0	4,5
Рядовой 15 см	3,11	3,39	3,55	3,63
Ширококорядный 30 см	3,24	3,54	3,69	3,75
Ширококорядный 45 см	3,32	3,64	3,78	3,80

$HCP_{05} A = 0,11$ ;  $HCP_{05} B = 0,14$ ;  $HCP_{05} AB = 0,22$

В рядовых посевах с урожаем было накоплено 3,11...3,63 т/га сухого вещества; в ширококорядных посевах с междурядьями 30 см – на 1,1...4,2% больше;

с междурядьями 45 см – на 4,7...8,4% больше. Статистический анализ полученных результатов показал значимое преимущество ширококорядных посевов

перед рядовым, в то время как между широкорядными вариантами различия в большинстве случаев находились в пределах ошибки опыта.

При анализе влияния нормы высева установлено, что увеличение количества высеваемых семян оказывает значимое влияние только до уровня 4 млн. шт./га.

##### Заключение

Максимальные показатели роста и развития растений могара были получены при ранних и средних сроках посева (1-я и 2-я декады мая): высота растений – 66,2...72,5 см, ФП – 10,22...1,32 млн.м<sup>2</sup>хдней/га, ЧПФ – 2,31...2,35 г/м<sup>2</sup>хсутки, урожайность зеленой массы – 11,54...11,82 т/га, сбор сухого вещества – 3,12...3,31 т/га. Поздний посев привел к существенному снижению всех показателей.

Увеличение нормы высева семян оказывало отрицательное влияние на процент выживаемости растений. Наиболее высокие показатели выживаемости фиксировались при рядовом способе посева, где они варьировались в пределах 85,9...96,1%. Широкорядный метод с междурядьями 30 см обеспечивал несколько меньшую выживаемость (83,9...94,4%), а при междурядьях 45 см этот показатель снижался до 82,1...94,4%.

Агрофитоценозы могара, сформированные при междурядьях в 30 и 45 см и густоте посева свыше 4 млн. всхожих семян на гектар, обеспечивали сбор зеленой массы в диапазоне 11,8...12,1 т/га. Эти показатели существенно превосходили урожайность, полученную при рядовом способе посева и сниженных нормах высева. Кроме того, расширение междурядий при сохранении нормы высева способствовало существенному приросту урожайности зеленой массы.

На основании проведенных исследований выработаны рекомендации. Для достижения максимальной кормовой продуктивности в предгорной зоне республики Северная Осетия-Алания оптимальной стратегией является проведение посевных работ в ранние сроки, а именно в течение первой и второй декад мая. Рекомендуется использовать широкорядный способ посева с междурядьями от 30 до 45 см, поддерживая при этом норму высева в пределах 4,0...4,5 млн. шт. семян на гектар.

##### Литература

1. Жиркова Н. Н., Павлова С. А., Пестерева Е. С. Энергетическая и экономическая эффективность создания и использования однолетних кормовых трав на зеленую массу в зависимости от сроков посева и видов трав // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 6(396). С. 612-615. doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_6\_612

2. Серен, К.Д. Перспектива развития кормопроизводства в Республике Тыва / К.Д. Серен, В.Ч. Донгак // Кормопроизводство. 2024. № 8. С. 39-46. DOI: 10.30906/1562-0417-2024-8-39-46.

3. Шкодина Е. П., Балун О. В. Агроэкологические испытания нетрадиционных для Новгородского региона однолетних кормовых культур для укрепления кормовой базы в Нечерноземной зоне // Аграрная наука. 2023. № 1. С. 56-60. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-366-1-56-60.

4. Скороходов В. Ю. Продуктивность кормовых культур в системе севооборота и при бессменном возделывании в степной зоне Южного Урала // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 2(71). С. 147-156. doi: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-147-156

5. Шпаков А. С., Воловик В. Т. Научное обеспечение полевого кормопроизводства в России: достижения и перспективы / А. С. Шпаков, // Кормопроизводство. 2023. № S11. С. 11-16.

6. Rational use of land resources: regional aspect / V. Kozыrev, E. Tsoraeva, Al. A. Nagam et al. // E3S Web of Conferences: 22. Voronezh, 2021. P. 03018. DOI: 10.1051/e3sconf/202124403018.8

7. Осауленко С. Н., Белый А. И. Влияние обработки почвы на ее агрофизические свойства и урожайность могара в пожнивном посеве // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 87. С. 83-87. doi: 10.21515/1999-1703-87-83-87

8. Полоус В. С., Осауленко С. Н., Степанов С. П. Влияние способов и приемов обработки чернозема обыкновенного в звене севооборота лен масличный – озимая пшеница – могар – горох на баланс гумуса // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 88. С. 105-110. doi: 10.21515/1999-1703-88-105-110.

9. Полоус В. С., Осауленко С.Н. Могар в пожнивном посеве на черноземе обыкновенном центральной зоны Краснодарского края // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т.16. №2(62). С. 34-38. doi:10.12737/2073-0462-2021-34-38

10. Скрининг коллекционных сортообразцов могара по урожайности и биохимическому составу биомассы / Т. В. Родина, А. Н. Астахов, О. С. Башинская и др. // Зерновое хозяйство России. 2023. Т.15. №2. С. 63-71. doi: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-63-71

11. Оценка исходного материала для селекции могара (*Setaria Italica* ssp. *moharicum*) по урожайности и биохимическому составу биомассы и семян / Т.В. Родина, А.Н. Астахов, О.В. Киреева и др. // Научно-агрономический журнал. 2024. №4(127). С.35-42. doi: 10.34736/FNC.2024.127.4.005.35-42

12. Применение ростстимулирующих бактерий на кормовых травах / Е.В. Кузина, С.Р. Мухаматдырова, Ю.Ю. Шарипова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т.36, №7. С.43-48. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_7\_43

13. Родина Т. В., Жужукин В. И., Астахов А. Н. Продуктивность и питательность надземной биомассы однолетних культур в совместных посевах // Зерновое хозяйство России. 2021. №3(75). С.57-61. doi: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-57-61

14. Влияние сроков скашивания на качественные показатели воздушно-сухой массы могоара, чумизы и пайзы / С. И. Капустин, Н. А. Багринцева, А. В. Самойленко и др. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2025. № 1(73). С. 22-27. doi: 10.31563/1684-7628-2025-73-1-22-27.

15. Ecological significance of winter camelina in biological agriculture / S.A. Bekuzarova, S.S. Basiev, A.Kh. Kozyrev, et al. // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. Vol. 10. No. 4. P. 893-895. EDN UYADIA.

#### References

1. Zhirkova N. N., Pavlova S. A., Pestereva E. S. Energy and economic efficiency of the creation and use of annual forage grasses for green mass depending on the sowing time and grass types // International Agricultural Journal. 2023. No. 6 (396). pp. 612-615. doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_6\_612

2. Seren, K. D. Prospects for the development of forage production in the Republic of Tyva / K. D. Seren, V. Ch. Dongak // Forage production. 2024. No. 8. pp. 39-46. DOI: 10.30906/1562-0417-2024-8-39-46.

3. Shkodina E. P., Balun O. V. Agroecological tests of annual forage crops, non-traditional for the Novgorod region, to strengthen the forage base in the Non-Chernozem zone // Agrarian science. 2023. No. 1. pp. 56-60. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-366-1-56-60.

4. Skorokhodov V. Yu. Productivity of forage crops in the crop rotation system and under permanent cultivation in the steppe zone of the Southern Urals // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024. No. 2(71). pp. 147-156. doi: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-147-156

5. Shpakov A. S., Volovik V. T. Scientific support for field forage production in Russia: achievements and prospects / A. S. Shpakov, // Forage production. 2023. No. S11. pp. 11-16.

6. Rational use of land resources: regional aspect / B. Kozyrev, E. Tsoraeva, Al. A. Nagam et al. // E3S Web of Conferences: 22. Voronezh, 2021. P. 03018. DOI: 10.1051/e3sconf/202124403018.8

7. Osaulenko S. N., Bely A. I. The influence of soil cultivation on its agrophysical properties and the yield of mogoar in post-harvest sowing // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 87. P. 83-87. doi: 10.21515/1999-1703-87-83-87

8. Polous V. S., Osaulenko S. N., Stepanov S. P. Influence of methods and techniques of processing ordinary chernozem in the crop rotation link oil flax - winter wheat - mogoar - peas on the humus balance // Transactions of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 88. pp. 105-110. doi: 10.21515/1999-1703-88-105-110.

9. Polous V. S., Osaulenko S. N. Mogoar in stubble sowing on ordinary chernozem of the central zone of Krasnodar Krai // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No. 2(62). Pp. 34-38. doi:10.12737/2073-0462-2021-34-38

10. Screening of collection accessions of mogoar by yield and biochemical composition of biomass / T. V. Rodina, A. N. Astashov, O. S. Bashinskaya, et al. // Grain Economy of Russia. 2023. Vol. 15. No. 2. Pp. 63-71. doi: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-63-71

11. Evaluation of source material for mogoar (*Setaria Italica* ssp. *moharicum*) breeding by yield and biochemical composition of biomass and seeds / T. V. Rodina, A. N. Astashov, O.V. Kireeva, et al. // Scientific and Agromomic Journal. 2024. No. 4 (127). pp. 35-42. doi: 10.34736/FNC.2024.127.4.005.35-42

12. Application of growth-stimulating bacteria on forage grasses / E.V. Kuzina, S.R. Mukhamatdyarova, Yu.Yu. Sharipova, et al. // Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36, No. 7. pp. 43-48. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_7\_43

13. Rodina T. V., Zhuzhukin V. I., Astashov A. N. Productivity and nutritional value of the aboveground biomass of annual crops in joint crops // Grain economy of Russia. 2021. No. 3 (75). pp. 57-61. doi: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-57-61

14. Influence of mowing timing on the qualitative indicators of the air-dry mass of mogoar, chumiza and payza / S. I. Kapustin, N. A. Bagrintseva, A. V. Samoylenko et al. // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2025. No. 1 (73). pp. 22-27. doi: 10.31563/1684-7628-2025-73-1-22-27.

15. Ecological significance of winter camelina in biological agriculture / S.A. Bekuzarova, S.S. Basiev, A.Kh. Kozyrev, et al. // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. Vol. 10.No. 4. P. 893-895. EDN UYADIA.

### Влияние эндофитных бактерий на эффективность азотфиксирующего симбиоза у различных сортов сои

Д. Р. Сафина, младший научный сотрудник Центра агроэкологических исследований

А. И. Ярмиева, младший научный сотрудник Центра агроэкологических исследований

Г. Х. Шаймуллина, заведующий Центром агроэкологических исследований

Р. И. Сафин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Общего земледелия, защиты растений и селекции»

ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет

420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65,

radiksaf2@mail.ru

**Резюме.** Повышение эффективности симбиотической деятельности клубеньковых бактерий сои имеет важное значение для увеличения ее урожайности и качества зерна. Цель исследования – изучение эффективности совместного применения биологического удобрения на основе азотфиксирующих симбиотических ризобий с различными биопрепаратами на основе четырех штаммов эндофитных бактерий семян, полученных из различных культур (зерновые, соя) на двух сортах сои. В качестве объектов исследований выступали раннеспелые сорта сои – Лидия и Апис. Для обработки семян использовали биоудобрение Ризовирт с нормой расхода 0,5 л/т, а также биопрепараты на основе штаммов эндофитных бактерий – *Bacillus amyloliquefaciens* KS25-AU, *Bacillus velezensis* KS38-AU, *Bacillus velezensis* KS63-AU, *Bacillus velezensis* KS65-AU. Полевые опыты проводились в 2025 году на опытных полях ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» в условиях хорошего увлажнения вегетационного периода. Применение смесей инокулянта с биопрепаратами на основе эндофитных бактерий приводит к росту содержания в листьях пролина и каротиноидов. Показано, что на обоих сортах использование смеси Ризовирт + *B. amyloliquefaciens* KS25-AU ведет к росту количества клубеньковых бактерий на корневой системе сои. Использование смесей на основе бактерий, выделенных из семян зерновых культур (*Bacillus amyloliquefaciens* KS25-AU, *Bacillus velezensis* KS38-A) приводит к росту урожайности на обоих сортах сои, способствует увеличению содержания в зерне белка. При применении смесей инокулянта и биопрепаратов необходимо изучить и учитывать возможность снижения отдачи от биоудобрения при использовании некоторых штаммов эндофитных бактерий.

**Ключевые слова:** эндофитные бактерии, симбиотическая азотфиксация, обработка семян, сорта, соя (*Glycine max* (L.) Merr.)

**Для цитирования:** Сафина Д. Р., Ярмиева А. И., Шаймуллина Г. Х., Сафин Р. И. Влияние эндофитных бактерий на эффективность азотфиксирующего симбиоза у различных сортов сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 36-41. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-36-41

### Influence of endophytic bacteria on the efficiency of nitrogen-fixing symbiosis in different soybean varieties

D. R. Safina, A. I. Yarmieva, G. Kh. Shaimullina R. I. Safin✉

Kazan State Agrarian University

420015, Republic of Tatarstan, Kazan, st. K. Marksa St., 65,

✉radiksaf2@mail.ru

**Abstract:** Improving the efficiency of symbiotic activity of soybean nodule bacteria is important for increasing yield and grain quality. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of the combined use of a biological fertilizer based on nitrogen-fixing symbiotic rhizobia with various biopreparations based on four strains of endophytic seed bacteria obtained from different crops (cereals, soybeans) on two soybean varieties. The early-ripening soybean varieties, Lydia and Apis, were used as subjects for the study. The seeds were treated with the Rizovirt biofertilizer at a rate of 0.5 l/t, as well as biopreparations based on endophytic bacterial strains: *Bacillus amyloliquefaciens* KS25-AU, *Bacillus velezensis* KS38-AU, *Bacillus velezensis* KS63-AU, and *Bacillus velezensis* KS65-AU. Field trials were conducted in 2025 on the experimental fields of the Kazan State Agrarian University under well-watered conditions during the growing season. The use of mixtures of inoculant and biopreparations based on endophytic bacteria resulted in increased proline and carotenoid content in leaves. It was shown that for both varieties, the use of the Rizovirt + *B. amyloliquefaciens* KS25-AU mixture led to an increase in the number of nodule bacteria in the soybean root system. The use of mixtures based on bacteria isolated from grain seeds (*Bacillus amyloliquefaciens* KS25-AU, *Bacillus velezensis* KS38-A) leads to increased yields in both soybean varieties and contributes to an increase in grain protein content. When using mixtures of inoculant and biopreparations, it is necessary to study and consider the potential for reduced biofertilizer yields when using certain strains of endophytic bacteria.

**Keywords:** endophytic bacteria, symbiotic nitrogen fixation, seed treatment, varieties, soybean (*Glycine max* (L.) Merr.).



**For citation:** Influence of endophytic bacteria on the efficiency of nitrogen-fixing symbiosis in different soybean varieties / D. R. Safina, A. I. Yarmieva, G. Kh. Shaimullina, R. I. Safin // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 36-41 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-36-41

#### Исследования выполнены за счет гранта РНФ №25-26-20019

##### Введение

Культурная соя (*Glycine max* (L.) Merr.) относится к числу наиболее важных сельскохозяйственных культур, занимая почти 6% мировых посевных площадей [1]. В Российской Федерации отмечается устойчивая тенденция роста как посевных площадей, так и валовых сборов сои [2, 3]. Аналогичная ситуация отмечается и в растениеводстве Республики Татарстан [4]. Вместе с тем фактическая урожайность культуры, а также качественные характеристики получаемой продукции не в полной мере обеспечивают реализацию потенциала современных отечественных сортов сои. Среди причин, оказывающих отрицательное влияние на формирование урожая культур, особое место занимают вопросы низкой эффективности азотфиксирующего симбиоза культуры с клубеньковыми бактериями [5]. В решении этой проблемы особое место занимает использование бактериальных удобрений на основе эффективных штаммов специфичных ризобий, в частности *Bradyrhizobium japonicum* [6, 7]. На основе таких штаммов промышленно выпускаются различные биоудобрения, широко применяемые в агротехнологиях возделывания сои и обеспечивающих существенный рост ее урожайности [8, 9, 10]. Вместе с тем эффективность использования инокулянтов при обработке семян сои может сильно меняться как в зависимости от складывающихся агроклиматических условий, так и от сортовых особенностей.

Одним из направлений повышения эффективности инокуляции биоудобрениями семян сои выступает использование их смесей с различными биопрепаратами на основе ростстимулирующих бактерий [11, 12]. Причем, важное значение при этом играют сортовые особенности и приемы агротехники культуры [13]. Использование баковых смесей биоудобрений и биопрепаратов способствует росту продуктивности и качественных характеристик зерна сои. Так применение смеси инокулянта Нитрагин КМ с биопрепаратом Органит N (*Azospirillum zeaе* OPN-14) с последующей обработкой биопрепаратом привело к росту урожайности на 22,7% [14].

Среди биологических агентов биопрепаратов все большее внимание привлекают эндофитные бактерии растений, оказывающих разнообразное положительное влияние на сельскохозяйственные культуры, в том числе способствующих повышению устойчивости к стрессам, обладающих ростстимулирующим эффектом [15, 16]. К числу таких перспективных агентов относятся и эндофитные бактерии семян, тесно связанные с растительным организмом и играющих важную роль в его жизни [17, 18]. Эндофитные бактерии семян сои играют важную роль в ее защите от почвенных фитопатогенов [20]. В ряде исследований

показана возможность использования биопрепаратов на основе эндофитных бактерий с инокулянтами сои [21, 22]. Однако изучение реакции разных сортов сои на применение смесей биоудобрения (инокулянта) с биопрепаратами на основе эндофитных бактерий в условиях Республики Татарстан не проводилось.

Цель исследования – определить эффективность совместного применения биоудобрения с биопрепаратами на основе разных штаммов эндофитных бактерий семян на формирование урожая, устойчивость к болезням и качество зерна разных сортов сои.

##### Материалы и методы

Лабораторные исследования проводили на базе Центра агроэкологических исследований (ЦАИ), а полевые опыты закладывали на полях Агробιοтехнопарка Казанского ГАУ в 2025 г.

В качестве объектов исследований выступали два сорта раннеспелой группы селекции ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» – Лидия и Апис.

Для инокуляции семян использовали биоудобрение Ризовирт (ООО НПИ «Биопрепараты», состав – *Bradyrhizobium japonicum* 24100 (640 б), 24102 (645 б), 2490 (634 б)) с нормой расхода 0,5 л/т, а также биопрепараты на основе штаммов эндофитных бактерий семян – *Bacillus amyloliquefaciens* KS25-AU (источник – семена пшеницы), *Bacillus velezensis* KS38-AU (источник – семена ячменя), *Bacillus velezensis* KS63-AU (источник – семена сои), *Bacillus siamensis* KS65-AU (источник – семена сои). Лабораторные исследования не обнаружили проявления антагонизма между клубеньковыми бактериями биоудобрения и изучаемыми эндофитными бактериями. Соотношение биоудобрения с биопрепаратом в смеси – 1:1. Расход рабочей жидкости для обработки семян – 10 л/т. Обработку проводили непосредственно перед посевом.

Агроклиматические условия вегетационного периода 2025 года характеризовались достаточно хорошими условиями по увлажнению (ГТК за вегетацию сои (май-октябрь) – 1,22). Почва опытных участков – серая лесная среднесуглинистая с агрохимическими показателями (содержание гумуса (по Тюрину) – 3,0%, подвижного фосфора (по Кирсанову) – очень высокое (250 мг/кг), обменного калия (по Кирсанову) – повышенное (145 мг/кг); реакция почвенной среды – близкая к нейтральной (рН 6,6)), благоприятными для формирования урожаев сои.

Агротехнология возделывания сои – рекомендованная для Республики Татарстан (ширина междурядия 15 см, норма высева – 0,7 млн. всхожих семян на 1 га). Под предпосевную культивацию вносились 200 кг азотфоски ( $N_{32}P_{32}K_{32}$ ). Для контроля сорных растений использовался гербицид Корсар экстра

#### 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

(1,5 л/га). Обработок против вредителей и болезней не проводилось.

##### Результаты

Одним из механизмов благоприятного влияния эндофитных бактерий на растения является повышение устойчивости к абиотическим стрессам,

в частности к засухе. Значительную роль в механизмах адаптации растений к дефициту влаги играет пролин, который используется для оценки устойчивости к стрессам и на сое [23]. Определение пролина проводили по методу Bates et al. [24], результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Содержание пролина в листьях сои при использовании различных составов для обработки семян, мг/г сырого веса, 2025 г**

Вариант	Фаза развития сои			В среднем
	всходы	стеблевание	цветение	
Сорт Лидия				
Контроль	64,61±1,33	31,88±1,79	61,42±2,41	52,64
Ризовирт	81,88±1,31	50,72±8,71	64,61±3,32	65,74
Ризовирт + <i>B. amyloliquefaciens</i> KS25-AU	89,37±4,27	59,66±6,32	81,92±4,24	76,98
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	52,17±6,64	50,00±1,28	94,84±6,25	65,67
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	82,49±1,46	62,56±5,29	82,52±4,70	75,86
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	44,81±2,28	41,67±1,16	44,87±2,29	43,78
Сорт Апис				
Контроль	73,80±2,25	31,04±3,07	63,67±2,26	56,15
Ризовирт	63,65±1,16	26,33±1,88	63,72±1,16	51,23
Ризовирт + <i>B. amyloliquefaciens</i> KS25-AU	84,66±1,29	44,32±2,91	84,71±1,05	71,23
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	103,50±1,98	47,95±0,34	103,50±9,81	84,98
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	53,62±1,69	39,73±2,49	59,5±4,09	50,95
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	69,32±2,74	48,31±1,05	84,79±3,04	67,44

Положительное влияние на содержание в листьях пролина от добавления в рабочий состав с Ризовиртом биопрепаратов на основе эндофитных бактерий семян зависело от штамма и сорта. На обоих сортах сои выделялись смеси – Ризовирт + *B. amyloliquefaciens* KS25-AU и Ризовирт + *B. velezensis* KS63-AU, т.е. на основе эндофитных бактерий, выделенных из семян злаковых культур, применение которых способствовало росту засухоустойчивости. В то же время

для биопрепаратов на основе эндофитов семян сои проявились сортовые различия: на сорте Лидия содержание пролина выросло на варианте Ризовирт + *B. velezensis* KS63-AU, а на сорте Апис – Ризовирт + *B. siamensis* KS65-AU.

Другим показателем, характеризующим влияние обработок на растение, считается содержание в листьях хлорофилла (табл. 2).

**Таблица 2. Содержание пигментов в листьях сои (фаза цветение) при использовании различных составов для обработки семян, мг/г сырого веса, 2025 г**

Вариант	Хлорофилл		Каротиноиды
	a	b	
Сорт Лидия			
Контроль	1,213±0,131	0,591±0,068	0,227±0,023
Ризовирт	1,841±0,084	1,026±0,092	0,254±0,011
Ризовирт + <i>B.amyloliquefaciens</i> KS25-AU	1,454±0,162	0,803±0,121	0,268±0,029
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	1,616±0,167	0,828±0,121	0,269±0,022
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	1,765±0,044	0,881±0,013	0,320±0,013
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	1,172±0,058	0,403±0,081	0,312±0,212
Сорт Апис			
Контроль	1,027±0,101	0,500±0,050	0,207±0,021
Ризовирт	1,322±0,039	0,629±0,034	0,241±0,005
Ризовирт + <i>B.amyloliquefaciens</i> KS25-AU	1,672±0,079	0,871±0,047	0,275±0,010
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	1,947±0,060	1,199±0,014	0,288±0,017
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	1,902±0,151	1,079±0,142	0,363±0,009
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	1,967±0,108	1,124±0,105	0,338±0,015

Во всех опытных вариантах отмечали увеличение содержания пигментов в листьях по сравнению с контролем, но проявились отличия по характеру такого действия между сортами. Если на сорте Лидия растения с вариантом, где применяли смеси препаратов уступали по содержанию хлорофилла варианту только с обработкой инокулянта, то на сорте Апис наблюдали противоположную тенденцию. Однако, на обоих сортах при применении сложных составов

отмечали увеличение содержания каротиноидов, что имеет существенное положительное значение, с точки зрения их важной роли в защите от фотоингибирования, особенно важной для светолюбивых растений сои.

Важным показателем симбиотической деятельности выступает количество клубеньков на растении (табл. 3).

Таблица 3. Количество клубеньков на 1 растение сои, шт./растение, 2025 г

Вариант	Сорт	
	Лидия	Апис
Контроль	1,65	1,05
Ризовирт	3,52	3,10
Ризовирт + <i>B. amyloliquefaciens</i> KS25-AU	24,5	4,24
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	1,69**	3,65
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	2,54	1,60*
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	10,5	3,54

Примечание: \* – учеты проводились в фазы – всходов, стеблевания, бутонизации, цветения, формирования бобов. \*\* – показатели достоверно не отличаются от значений в контроле при  $P=0,05$ .

Применение инокулянта ведет к росту количества клубеньков, формирующихся в одном растении. Добавление к биоудобрению биопрепаратов на основе различных штаммов эндофитных бактерий оказывает различное влияние в зависимости от сорта и штамма. На обоих изучаемых сортах положительное влияние оказало использование смеси Ризовирт + *B. amyloliquefaciens* KS25-AU. Кроме того, на сорте Лидия по количеству клубеньков, формирующихся на корнях, выделялся вариант Ризовирт + *B. siamensis* KS65-AU. Однако, в ряде случаев отмечался и эффект снижения численности клубеньков при использовании смеси в сравнении с вариантом, где использовался только Ризовирт.

Таблица 4. Урожайность (т/га) и содержание белка в зерне (%) при использовании различных составов для обработки семян, 2025 г

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка		Содержание белка,%
		т/га	%	
Сорт Лидия				
Контроль	2,35			31,57
Ризовирт	2,60	0,25	10,8	35,19
Ризовирт + <i>B.amyloliquefaciens</i> KS25-AU	2,81	0,46	19,6	35,00
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	2,74	0,39	16,5	37,19
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	2,72	0,37	15,7	39,57
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	2,37	0,02	0,09	35,94
Сорт Апис				
Контроль	1,96			30,57
Ризовирт	2,15	0,19	9,5	31,69
Ризовирт + <i>B.amyloliquefaciens</i> KS25-AU	2,32	0,36	18,1	34,82
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS38-AU	2,37	0,41	20,7	36,38
Ризовирт + <i>B. velezensis</i> KS63-AU	2,28	0,32	16,1	33,32
Ризовирт + <i>B. siamensis</i> KS65-AU	1,80	-0,16	-8,2	30,13
НCP <sub>05</sub> А (сорт)	0,11			1,49
НCP <sub>05</sub> В (обработка)	0,16			2,08

В большинстве случаев добавление к инокулянту биопрепаратов на основе эндофитных бактерий семян вело к росту урожайности и повышению содержания в зерне белка. На обоих изучаемых сортах применение в качестве дополнительного ингредиента биопрепарата на основе штаммов, выделенных из зерновых культур, дало достоверную прибавку урожая к значениям в варианте, где применялся только инокулянт. В то же время применение смеси Ризовирт + *B. siamensis* KS65-AU (выделен из семян сои) привело к падению урожайности в сравнении с вариантом, где применялся только Ризовирт, тогда как для другого соевого штамма *B. velezensis* KS63-AU отмечался противоположный эффект.

#### Обсуждение

Полученные результаты в целом подтверждают положительное влияние применения инокуляции семян сои инокулянтом, что подтверждает необходимость обязательного использования данного приема в агротехнологиях возделывания культуры [6, 9]. Рост содержания в листьях пролина и пигментов (особенно каротиноидов) при добавлении в рабочий состав биопрепаратов на основе эндофитных бактерий является примером значительной роли таких

микроорганизмов в повышении устойчивости растений (в том числе и сои) к абиотическим стрессам [19, 20]. Значительный интерес представляют результаты по стимуляции образования клубеньков у растений при использовании некоторых смесей с эндофитными бактериями, что позволяет использовать их в качестве приемов стимуляции азотфиксирующего симбиоза у сои [24].

#### Заключение

Добавление в рабочий состав для инокуляции семян сои биоудобрения Ризовирт биопрепаратов на основе эндофитных бактерий семян в большинстве случаев повышает эффективность такой обработки. Однако, при использовании такого приема необходимо обязательно изучать и учитывать различия в характере действия различных штаммов таких бактерий на действия инокулянта.

#### Литература

1. Global Impact of Soybean Production: A Review / M. Hamza., A. Basit, I. Shehzadi, et al. //Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology. 2024. No.16. P. 12-20. doi:10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357

2. Ананьева Т. В., Серебрякова О.В. Тенденции производства сои в мире и России: сравнительный анализ // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 2. С. 80-86. doi:10.53859/02352451\_2025\_39\_2\_80

3. Векленко В. И., Дадашев Б.А. Производство и переработка сои в России: прошлое, настоящее, будущее // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 213-220.

4. Хазиев А. З. Результаты исследований динамики развития площадей под соей, урожайность и резервы их увеличения в Татарстане // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2025. № 2(33). С. 58-66. doi:10.48612/vch/r718-pz1b-dnnh

5. Горгулько Т. В., Дидович С. В., Пась А. Н. Влияние штаммов клубеньковых бактерий на эффективность бобово-ризобиального симбиоза у сортов сои // Агронаука. 2023. Том 1. № 2. С. 32-37. doi:10.24412/2949-2211-2023-1-2-32-37

6. Рост и урожайность сои (*Glycine max* L.) под влиянием разных доз инокулята *Bradyrhizobium japonicum* в засушливой зоне побережья аравийского моря (провинция Balochistan, Пакистан) / L. Ali, M. Waseem, S. Anwar и др. // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 5. С. 875-888. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.5.875rus>.

7. Румянцева М. Л. Клубеньковые бактерии: перспективы мониторинга симбиотических свойств и стрессоустойчивости с использованием генетических маркеров // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54/ № 5. С. 847-862. doi: 10.15389/agrobiology.2019.5.847rus

8. Влияние фунгицидных протравителей и инокулянта на продуктивность сои в условиях производственного опыта / А. В. Лыгин, Д. А. Белов, В. А. Крылов и др. // Земледелие. 2023. № 4. С. 44-47. doi: 10.24412/0044-3913-2023-4-44-47

9. Жаркова С. В., Манылова О. В. Эффективность применения инокулянтов на сое в условиях лесостепи Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 11(193). С. 16-21.

10. Дубинкина Е. А., Шабалкин А. В., Макаров М. Р. Изучение обработки семян и растений сои инокулянтами и микробиологическими удобрениями в Центральном Черноземье // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 1(45). С. 50-58. doi: 10.24412/2309-348X-2023-1-50-58

11. Progress in soybean genetic transformation over the last decade / H. Xu, Y. Guo, L. Qiu, et al. // Frontiers in Plant Science. 2022. Jun 9. Vol. 13. P. 900318. doi: 10.3389/fpls.2022.900318

12. Сытников Д. М., Шейко Е. А. Реакция соево-ризобиального симбиоза на применение комплексных микробных препаратов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т. 7. № 3. С. 207-219.

13. Сортосая специфичность эффектов ризобактерий в отношении азотфиксирующего симбиоза и минерального питания сои в условиях агроценоза / Ю. В. Береговая, И. Л. Тычинская, С. Н. Петрова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 5. С. 977-993. doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.977rus

14. Гладышева О. В. Свирина В. А., Черногаев В. Г. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество сои в Нечерноземье // Плодородие. 2024. № 4 (139). С. 74-78. doi:10.25680/S19948603.2024.139.17

15. Хайруллин Р. М., Максимов И. В. Участие оксалатов в физиологических процессах у растений: потенциальная роль эндофитных бактерий - оксалотрофов // Физиология растений. 2024. Т. 71, № 6. С. 649-665. doi: 10.31857/S0015330324060011

16. Ласточкина О. В., Аллагулова Ч. Р. Механизмы ростстимулирующего и защитного действия эндофитных PGP-бактерий в растениях пшеницы при воздействии засухи (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59, № 1. С. 17-37. doi:10.31857/S0555109923010038

17. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture/ A. E. Fadji, A. A. Lanrewaju, I. O. Omomowo, et al. // Plants. 2025. 14. 2421. doi:10.3390/plants14152421

18. Seed endophytes and their roles in host plant stress resistance / W. Mao, Y. Wu, F. Li., et al. // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2023. 23. doi: 10.1007/s42729-023-01279-3.

19. Culturable endophytes associated with soybean seeds and their potential for suppressing seed-borne pathogens/ J. Kim, M. Roy, S. H. Ahn, et al. // Plant Pathology Journal. 2022 Aug. Vol. 38(4). P. 313-322. doi:10.5423/PPJ.OA.05.2022.0064

20. Гарипова С. Р. Экологическая роль эндофитных бактерий в симбиозе с бобовыми растениями и их применение в растениеводстве // Успехи современной биологии. 2012. Т. 132. № 5. С. 493-505.

21. Iutynska G. Effectiveness of endophytic-rhizobial seed inoculation of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivated in irrigated soil // Journal of Central European Agriculture. 2022. Vol. 23(1). P. 40-53.

22. Ибрагимова З. Ш. Влияние засухи на водный режим в листьях образцов сои // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2(46). С. 59-65. doi: 10.24412/2309-348X-2023-2-59-65

23. Bates L.S., Walden R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant Soil. 1973. Vol. 39. P. 205-207

24. Hnini M., Aurag J. Prevalence, diversity and applications potential of nodules endophytic bacteria: a systematic review // Front Microbiol. 2024 May. Vol. 15. No. 15. P. 1386742. doi:10.3389/fmicb.2024.1386742

#### References

1. Global Impact of Soybean Production: A Review / M. Hamza., A. Basit, I. Shehzadi, et al. // Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology. 2024. No. 16. P. 12-20. doi: 10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357.

2. Ananyeva T.V., Serebryakova O.V. Soybean Production Trends in the World and Russia: A Comparative Analysis // *Achievements of Science and Technology of the Agricultural Industry*. 2025. Vol. 39. No. 2. P. 80-86. doi: 10.53859/02352451\_2025\_39\_2\_80.
3. Veklenko V. I., Dadashev B. A. Soybean production and processing in Russia: past, present, future // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2024. No. 1. P. 213-220.
4. Khaziev A. Z. Results of studies of the dynamics of development of areas under soybeans, yield and reserves for their increase in Tatarstan // *Bulletin of the Chuvash State Agrarian University*. 2025. No. 2(33). P. 58-66. doi: 10.48612/vch/r718-pz1b-dnnh.
5. Gorgulko T. V., Didovich S. V., Pas A. N. Influence of strains of nodule bacteria on the efficiency of legume-rhizobium symbiosis in soybean varieties // *Agroscience*. 2023. Vol. 1. No. 2. pp. 32-37. doi: 10.24412/2949-2211-2023-1-2-32-37.
6. Soybean (*Glycine max* L.) Growth and Yield under the Influence of Different Doses of Bradyrhizobium japonicum Inoculum in the Arid Zone of the Arabian Sea Coast (Balochistan Province, Pakistan) / L. Ali, M. Waseem, S. Anwar, et al. // *Agricultural Biology*. 2023. Vol. 58, No. 5. P. 875-888. doi: 10.15389/agrobiol-ogy.2023.5.875rus.
7. Rumyantseva M. L. Nodule Bacteria: Prospects for Monitoring Symbiotic Properties and Stress Resistance Using Genetic Markers // *Agricultural Biology*. 2019. Vol. 54, No. 5. — P. 847-862. doi: 10.15389/agrobiol-ogy.2019.5.847rus.
8. The effect of fungicide seed treatments and inoculant on soybean productivity under production experimental conditions / A. V. Lygin, D. A. Belov, V. A. Krylov, M. F. Krylova // *Agriculture*. 2023. No. 4. P. 44-47. doi: 10.24412/0044-3913-2023-4-44-47.
9. Zharkova S.V., Manylova O.V. Efficiency of using inoculants on soybeans in the forest-steppe conditions of the Ob region // *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2020. No. 11 (193). Pp. 16-21.
10. Dubinkina E.A., Shabalkin A.V., Makarov M.R. Study of the treatment of soybean seeds and plants with inoculants and microbiological fertilizers in the Central Black Earth Region // *Grain legumes and cereal crops*. 2023. No. 1 (45). Pp. 50-58. doi: 10.24412/2309-348X-2023-1-50-58.
11. Progress in soybean genetic transformation over the last decade / H. Xu, Y. Guo, L. Qiu, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Jun 9;13:900318. doi: 10.3389/fpls.2022.900318
12. Sytnikov D.M., Sheiko E.A. Response of soybean-rhizobial symbiosis to the use of complex microbial preparations // *Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2021. Vol. 7. No. 3. P. 207-219.
13. Varietal specificity of the effects of rhizobacteria in relation to nitrogen-fixing symbiosis and mineral nutrition of soybeans under agrocenosis conditions / Yu. V. Beregovaya, I. L. Tychinskaya, S. N. Petrova, et al. // *Agricultural Biology*. 2018. Vol. 53, No. 5. P. 977-993. doi: 10.15389/agrobiol-ogy.2018.5.977rus
14. Gladysheva O. V., Svirina V. A., Chernogaev V. G. Influence of biopreparations on the productivity and quality of soybeans in the Non-Black Earth Region // *Plodородie*. 2024. No. 4(139). P. 74-78. doi: 10.25680/S19948603.2024.139.17
15. Khairullin R.M., Maksimov I.V. Participation of oxalates in physiological processes in plants: the potential role of endophytic bacteria - oxalotrophs // *Plant Physiology*. 2024. Vol. 71, No. 6, pp. 649-665. doi: 10.31857/S0015330324060011
16. Lastochkina, O.V., Allagulova, C.R. Mechanisms of growth-promoting and protective action of endophytic PGP bacteria in wheat plants exposed to drought (review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2023. Vol. 59, No. 1, pp. 17-37. doi: 10.31857/S0555109923010038.
17. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture / A.E. Fadji, A.A.Lanrewaju, I.O. Omomowo et al. // *Plants*. 2025, 14, 2421. doi: 10.3390/plants14152421
18. Seed endophytes and their roles in host plant stress resistance/ W. Mao, Y. Wu, F. Li. et al. // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2023. 23. doi: 10.1007/s42729-023-01279-3.
19. Culturable endophytes associated with soybean seeds and their potential for suppressing seed-borne pathogens/ J. Kim, M. Roy, S.H. Ahn et al. // *Plant Pathology Journal*. 2022 Aug;38(4):313-322. doi: 10.5423/PPJ.OA.05.2022.0064.
20. Garipova S. R. Ecological role of endophytic bacteria in symbiosis with leguminous plants and their application in plant growing // *Advances in Modern Biology*. 2012. Vol. 132, No. 5. P. 493-505.
21. Effectiveness of endophytic-rhizobial seed inoculation of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivated in irrigated soil/G.lutynska et al.//*Journal of Central European Agriculture*, 2022, 23(1). P.40-53.
22. Ibragimova Z. Sh. Effect of drought on the water regime in the leaves of soybean samples // *Legumes and cereal crops*. 2023. No. 2(46). P. 59-65. doi: 10.24412/2309-348X-2023-2-59-65.
23. Bates L. S., Walden R. P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies // *Plant Soil*. 1973.39:205-207
24. Hnini M, Aurag J. Prevalence, diversity and applications potential of nodules endophytic bacteria: a systematic review // *Front Microbiol*. 2024 May Vol. 15. No. 15. P. 1386742. doi: 10.3389/fmicb.2024.1386742.

**Режим органического вещества и баланс гумуса почвы при возделывании сои по технологии прямого посева в лесостепи Среднего Поволжья**

**Тойгильдин А. Л.<sup>1,2</sup>**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Мухаметвалеев Л. Р.<sup>1✉</sup>**, аспирант кафедры «Земледелие, растениеводство и селекция».

**Тойгильдина И. А.<sup>1</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие, растениеводство и селекция».

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

43200, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉mukhametvaleev@list.ru

<sup>2</sup>Ульяновский НИИСХ - филиал Сам НЦ РАН

433315, Ульяновская область, п. Тимирязевский, ул. Институтская, д.19.

**Резюме.** Цель исследований заключалась в изучении закономерностей накопления биогенных ресурсов плодородия почвы и формирования урожайности сои, возделываемой по технологии прямого посева при разных нормах внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Исследования проводили в многолетнем стационарном 2-факторном полевом опыте. Сою возделывали в севообороте со следующим чередованием: рапс – озимая пшеница – соя – яровая пшеница – гречиха – ячмень. Изучали нормы внесения минеральных удобрений – фактор А: 1 – без удобрений; 2 – под озимую пшеницу –  $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ , под сою  $N_{6}P_{15}K_{23}S_2$ ; 3 – под озимую пшеницу –  $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ , под сою  $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$  и промежуточные почвопокровные культуры (ППК), высеваемые после озимой пшеницы – фактор В: 1 – без ППК; 2 – смесь яровых ППК; 3 – смесь озимых ППК. В технологии прямого посева основным источником поступления органического вещества в почву являлись пожнивно-корневые остатки (ПКО) и солома, при возделывании сои их накапливалось от 3,52 до 4,58 т/га. Посев ППК увеличивал общее поступление органического вещества в почву на 63,2...83,4%. Результаты моделирования гумусового баланса показали, что основным источником его новообразования являлись промежуточные почвопокровные культуры. Их вклад варьировал в интервале 219...317 кг/га, что соответствовало 41,7...45,5% от общего количества образования гумуса. Бездефицитный или положительный баланс гумуса достигался при использовании биомассы ППК. Минеральные удобрения, вносимые при посеве в дозе  $N_{6}P_{15}K_{23}S_2$ , обеспечили прирост урожайности сои на 20,6% (0,32 т/га), тогда как повышение нормы внесения до  $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$  увеличило этот показатель до 28,4% (0,44 т/га). Кроме того, статистически значимое повышение урожайности на 14,6% (0,21 т/га) получено при посеве сои после смеси озимых почвопокровных культур.

**Ключевые слова:** соя, прямой посев, удобрения, промежуточные культуры, баланс гумуса, урожайность.

**Для цитирования:** Тойгильдин А. Л., Мухаметвалеев Л. Р., Тойгильдина И. А. Режим органического вещества и баланс гумуса почвы при возделывании сои по технологии прямого посева в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 42-48. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-42-48

**Organic matter regime and soil humus balance during direct-seeding soybean cultivation in the Forest-steppe of the Middle Volga region**

**Toygildin A.L.<sup>1,2</sup>, Mukhametvaleev L.R.<sup>1✉</sup>, Toygildina I.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉mukhametvaleev@list.ru

<sup>2</sup>Ulyanovsk Research Institute of Agriculture - Branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

433315, Ulyanovsk Region, Timiryazevsky Settlement, Institutskaya Street, 19

**Abstract.** The aim of the research was to study the patterns of accumulation of biogenic resources of soil fertility and formation of soybean yields cultivated using direct seeding technology at different rates of application of mineral fertilizers and sowing of intermediate ground cover crops in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. The studies were carried out in a long-term stationary 2-factor field experiment. Soybeans were grown in a crop rotation with the following alternation: rapeseed - winter wheat - soybeans - spring wheat - buckwheat - barley. The rates of application of mineral fertilizers were studied - factor A: 1 - without fertilizers; 2 - for winter wheat -  $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ , for soybeans  $N_{6}P_{15}K_{23}S_2$ ; 3 – for winter wheat –  $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ , for soybeans  $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$  and intermediate soil cover crops (ISC) sown after winter wheat – factor B: 1 – without ISC; 2 – mixture of spring ISC; 3 – mixture of winter ISC. In the direct seeding technology, the main source of organic matter entering the soil were crop-root residues (CRR) and straw; when cultivating soybeans, they accumulated from 3.52 to 4.58 t/ha. Sowing ISC increased the total input of organic matter into the soil by

63.2...83.4%. The results of humus balance modeling showed that the main source of its new formation were intermediate soil cover crops. Their contribution ranged from 219 to 317 kg/ha, corresponding to 41.7 to 45.5% of the total humus formation. A deficit-free or positive humus balance was achieved using the biomass of the direct seeding complex. Mineral fertilizers applied during sowing at a dose of  $N_6P_{15}K_{23}S_2$  provided a 20.6% (0.32 t/ha) increase in soybean yield, while increasing the application rate to  $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$  increased this figure to 28.4% (0.44 t/ha). Furthermore, a statistically significant yield increase of 14.6% (0.21 t/ha) was obtained when soybeans were sowed after a mixture of winter cover crops.

**Keywords:** soybeans, direct seeding, fertilizers, catch crops, humus balance, yield.

**For citation:** Toygildin A.L., Mukhametvaleev L.R., Toygildina I.A. Organic matter regime and soil humus balance during direct-seeding soybean cultivation in the Forest-steppe of the Middle Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 42-48 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-42-48

## Введение

Плодородие почвы – важнейший критерий устойчивости функционирования агроэкосистем и обеспечения продовольственной безопасности государств. Одним из основных критериев оценки плодородия почвы выступает содержание в ней органического вещества, которое обеспечивает оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур. Однако многолетняя активная эксплуатация почв, особенно наиболее плодородных черноземов стала причиной потерь органического вещества и их продуктивного потенциала [1, 2].

Теоретической основой для регулирования содержания органического вещества в почве служит закон возврата, являющийся следствием фундаментального закона сохранения вещества и энергии. При этом процессы трансформации органического вещества и баланс гумуса в рамках традиционных технологий, предполагающих механическую обработку почвы, к настоящему времени исследованы достаточно полно [3, 4, 5]. При этом установлено, что для бездефицитного баланса гумуса черноземных почв наряду с заделкой соломы возделываемых зерновых культур необходимо производить посев сидератов, возделывать многолетние травы (до 25% от площади) и вносить органические удобрения, в т.ч. в виде навоза.

Несмотря на эффективность указанных приемов, они получили недостаточное распространение по причине, что возделывание сидератов приводит к росту производственных затрат, возделывание многолетних трав не всегда соответствует специализации агропредприятий, поэтому площадь под ними не велика, а навоза недостаточно из-за невысокой численности поголовья скота.

В условиях прогрессирующей деградации пахотных земель особую актуальность приобретает разработка и внедрение агротехнологий, направленных на восстановление почвенного плодородия и повышение устойчивости агроценозов к климатическим колебаниям по аналогии с природными экосистемами [6]. Одной из таких технологий является прямой посев, который, согласно исследованиям, позволяет эффективно противостоять эрозионным процессам, минимизировать экологические риски в контексте глобального изменения климата и значительно сократить производственные издержки. [7, 8].

Ключевым требованием для успешного внедрения технологии прямого посева выступает формирование на поверхности почвы мульчирующего слоя. Его основу составляют растительные остатки основных культур, а также биомасса специально возделываемых промежуточных почвопокровных культур (ППК). Под ППК понимают сельскохозяйственные растения (как правило, многокомпонентные смеси), занимающие поле в интервале между возделыванием основных культур севооборота [9]. Главной задачей их использования является не получение товарной продукции, а формирование защитного растительного покрова и снабжение органическим веществом почвенных микроорганизмов.

Особенности применения технологии прямого посева в комплексе с ППК, а также их совместное воздействие на динамику органического вещества и гумусовый баланс в специфических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья остаются малоизученными. Данное обстоятельство и определяет научную новизну и актуальность представленного исследования.

Цель исследований: изучить закономерности накопления биогенных ресурсов плодородия почвы и формирование урожайности сои, возделываемой по технологии прямого посева при разных нормах внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья.

## Задачи исследований:

оценить накопление биомассы промежуточных почвопокровных культур, формируемых после уборки озимой пшеницы;

изучить накопление органического вещества и баланс гумуса в почве при возделывании сои по технологии прямого посева;

определить особенности формирования урожайности сои под влиянием норм минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур.

## Материалы и методы

Исследования по оценке влияния технологии прямого посева в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур на режим органического вещества и баланс гумуса при возделывании сои проводили в 2-факторном стационарном полевом опыте кафедры земледелия, растениеводства и селекции ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Сою возделывали в 6-

полном зерновом севообороте со следующей схемой чередования: рапс яровой – озимая пшеница – **соя** – яровая пшеница – гречиха – ячмень.

В опыте изучали следующие факторы: фактор А – нормы внесения минеральных удобрений: удобрения под озимую пшеницу – предшествующую культуру для промежуточных почвопокровных культур и сои: А<sub>0</sub> – контрольный вариант без применения удобрений; А<sub>1</sub> – N<sub>40</sub>P<sub>15</sub>K<sub>23</sub>S<sub>2</sub> (комплексные удобрения NPK(S) – 8:19:29(3) + 0,2Zn – 80 кг/га при посеве; подкормка аммиачной селитрой в период возобновления вегетации озимой пшеницы – 100 кг/га); А<sub>2</sub> – N<sub>80</sub>P<sub>30</sub>K<sub>46</sub>S<sub>5</sub> (комплексные удобрения NPK(S) – 8:19:29(3)+0,2Zn – 160 кг/га, подкормка аммиачной селитрой в период возобновления вегетации – 100 кг/га + подкормка аммиачной селитрой в конце кущения озимой пшеницы – 100 кг/га).

Удобрения под сою: А<sub>0</sub> – без удобрений; А<sub>1</sub> – N<sub>6</sub>P<sub>15</sub>K<sub>23</sub>S<sub>2</sub> (80 кг/га комплексных удобрений NPK(S) – 8:19:29 (3) + 0,2 Zn при посеве); А<sub>2</sub> – N<sub>13</sub>P<sub>30</sub>K<sub>46</sub>S<sub>5</sub> (160 кг/га комплексных удобрений NPK(S) – 8:19:29 (3) + 0,2 Zn при посеве).

Фактор В – промежуточные почвопокровные культуры: В<sub>0</sub> – без почвопокровных культур; В<sub>1</sub> – смесь яровых культур (состав: вика – 3,13 кг/га; чечевица – 3,13; овес – 4,69; сорго-суданский гибрид – 0,63; редька масличная – 0,47; дайкон – 0,31; лен – 1,25; фацелия – 0,31 кг/га, норма высева смеси – 13,9 кг/га); В<sub>2</sub> – смесь озимых культур (состав: озимая рожь – 12,5 кг/га, озимая вика – 12,5 кг/га, норма высева смеси – 25 кг/га). Подбор состава смесей и норма высева проводились по методике О.Л. Кибалюк (Томашовой) [10].

В опытах возделывали сорт сои УСХИ – 6, норма высева – 0,7 млн. всхожих семян, сроки посева 4...22 мая, посев основных и промежуточных культур проводили сеялкой прямого посева СПС- 4000 «Десна-Полесье», с одновременным внесением минеральных удобрений (на вариантах, предусматривающих их использование). Защита посевов сои от вредных организмов заключалась в обработке посевов по вегетации гербицидом (Концепт, МД, СЭ 0,9 л/га) и инсектоакарицидом (Кинфос, КЭ, КЭ 0,4 л/га).

Повторность опыта 3-кратная, размещение – систематическое методом наложения. Размер делянок первого порядка – 648 м<sup>2</sup> (36×18), второго – 324 м<sup>2</sup> (18×18).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый малогумусный (4,6%) со слабокислой реакцией среды (5,9) и повышенным содержанием фосфора (128 мг/кг по Чирикову) и высоким – калия (169 мг/кг по Чирикову). Степень насыщенности основаниями составляет 97,2%, сумма поглощенных оснований 28,7 мг. –экв./100 г почвы.

Исследования проводили как по общепринятым методикам, так и с использованием

специализированных методов, адаптированных для изучения особенностей технологии прямого посева (Дридигер В. К. *Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву*. Ставрополь: Ставрополь-Сервис-Школа, 2020. 69 с.; Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева / В. И. Кирюшин, В. К. Дридигер, А. Н. Власенко и др.; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр. Москва: Издательство МБА, 2019. 136 с.); структура урожая – согласно инструкции по методике отбора проб и анализов почвы и растений (Инструкция по методике отбора проб и анализов почвы и растений. Часть 1. Безенчук, 1971. 32 с.), определение массы пожнивных и корневых остатков после уборки сельскохозяйственных культур проводили по методу Н.З. Станкова (Станков Н. З. *Корневая система полевых культур*. М.: Колос, 1964. 254 с.); урожайность – методом сплошного обмолота; баланс гумуса рассчитывался по нормативам и параметрам, установленным для чернозема выщелоченного в прежних исследованиях (Морозов В.И., Подсевалов М.И., Шайкин С.В., *Проектирование системы земледелия*. Ульяновск, 2009. с. 98); полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа (Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: учебник. 2011. 351 с.).

Погодные условия существенно отличались по годам исследований, при этом 2022 и 2024 гг. были более увлажненными, когда за май – август выпало соответственно 275 и 319 мм при среднемноголетнем значении 258 мм. В 2023 г. сложились засушливые условия, за указанный период количество осадков составило 112 мм. Вегетационные периоды сои по влагообеспеченности можно расположить в следующий ряд: 2024 г. (ГТК за вегетацию = 1,11) > 2022 г. (ГТК за вегетацию = 0,95) > 2023 г. (ГТК за вегетацию = 0,40).

#### **Результаты**

Исследования показали, что масса растительных остатков промежуточных почвопокровных культур, поступающих в почву, существенно изменялась по годам исследований, так же отличалась в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и состава смеси.

Проведенный анализ данных за три года показал преимущество в продуктивности смеси озимых ППК относительно смеси яровых культур. Накопление биомассы у озимых культур составило 2,39...2,82 т/га при среднем значении 2,61 т/га, что на 10,6...23,5% выше, чем у смеси яровых промежуточных посевов (1,95...2,55 т/га; среднее 2,21 т/га) (табл. 1).



Таблица 1. Биомасса промежуточных почвопокровных культур, формируемых после уборки озимой пшеницы за 2021-2024 гг.

ППК	Нормы удобрений под предшественник	Накопление биогенных ресурсов, т/га				
		ПКО	Наземная биомасса	Всего	По ППК	По удобрениям
Яровые	б/у	0,92	1,03	1,95	2,21	2,17
	N <sub>40</sub> P <sub>15</sub> K <sub>23</sub> S <sub>2</sub>	1,00	1,13	2,13		2,38
	N <sub>80</sub> P <sub>30</sub> K <sub>46</sub> S <sub>5</sub>	1,16	1,39	2,55		2,69
Озимые	б/у	1,09	1,30	2,39	2,61	-
	N <sub>40</sub> P <sub>15</sub> K <sub>23</sub> S <sub>2</sub>	1,22	1,41	2,63		
	N <sub>80</sub> P <sub>30</sub> K <sub>46</sub> S <sub>5</sub>	1,33	1,49	2,82		
НСП <sub>05</sub> для частных средних		0,24	0,29	-	-	-
НСП <sub>05</sub> для фактора А		0,14	0,17			
НСП <sub>05</sub> для фактора В		0,17	0,21			
НСП <sub>05</sub> взаимодействие АВ		F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>	F <sub>φ</sub> <F <sub>05</sub>			

Почвопокровные культуры повышали свою продуктивность при внесении минеральных удобрений под предшествующую культуру – озимую пшеницу. Смесь озимых культур к периоду посева сои на контроле сформировала 2,39 т/га биомассы, тогда как на фоне N<sub>40</sub>P<sub>15</sub>K<sub>23</sub>S<sub>2</sub> на 0,24 т/га или 10,0% больше, на фоне N<sub>80</sub>P<sub>30</sub>K<sub>46</sub>S<sub>5</sub> – соответственно на 0,43 т/га или 18,0%.

Режим органического вещества в почве складывался из биомассы промежуточных культур, солом и пожнивно-корневых остатков сои (рис. 1).

Ключевым фактором, определявшим объем аккумулированного органического вещества в различных вариантах опыта, выступали промежуточные почвопокровные культуры (ППК). На контроле (без применения удобрений) использование яровых ППК обеспечило рост поступления органики с 3,32 до 5,47 т/га, что на 64,8% выше исходного уровня. Применение смеси озимых культур повысило этот показатель до 6,09 т/га, что соответствует приросту на 83,4%. Возделывание ППК на удобренном фоне дополнительно увеличило объем поступающего в почву органического вещества на 2,44...3,31 т/га или с ростом на 63,2...80,9%.

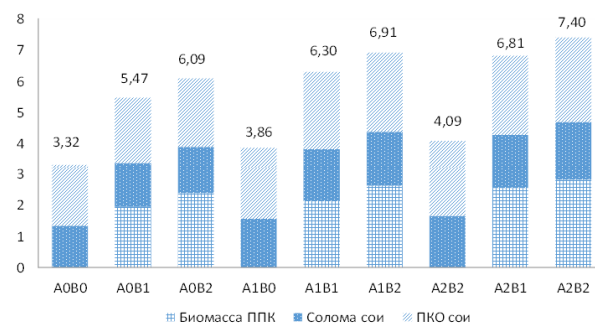


Рис.1. Поступление органического вещества в почву при возделывании сои за 2022-2024 гг.

При расчетах прогнозируемого баланса гумуса нами учитывался азот, поступивший в почву с минеральными удобрениями, и биологический азот, фиксированный растениями сои. Оценка продуктивности симбиотической азотфиксации показала, что соя накапливала от 75,4 кг/га (контроль – без удобрений и без ППК) до 97,1 кг/га (N<sub>13</sub>P<sub>30</sub>K<sub>46</sub>S<sub>5</sub>, смесь озимых ППК) биологического азота.

Таблица 2. Накопление фитомассы, отчуждение урожая и поступление органического вещества в почву в севооборотах, т/га за 2022-2024 гг. (сухое вещество)

Норма удобрений (фактор А)	Промежуточные культуры (фактор В)	Вынос азота с урожаем	Вынос азота из почвы*	Минерализация гумуса, кг/га	Новообразования гумуса, кг/га				Баланс гумуса +/-, кг/га
					солома	ПКО	ППК	всего	
Без удобрений	б/ППК	117	41,5	415	172	116	-	288	-127
	Яровые	125	45,6	456	183	123	219	525	69
	Озимые	134	50,4	504	193	129	269	591	87
N <sub>6</sub> P <sub>15</sub> K <sub>23</sub> S <sub>2</sub>	б/ППК	141	55,1	551	202	135	-	337	-215
	Яровые	155	63,8	638	218	146	240	604	-34
	Озимые	160	63,9	639	224	149	296	670	31
N <sub>13</sub> P <sub>30</sub> K <sub>46</sub> S <sub>5</sub>	б/ППК	152	54,7	547	215	143	-	358	-189
	Яровые	159	54,6	546	223	149	287	659	113
	Озимые	174	63,7	637	241	160	317	718	82

\*- расчет проведен с учетом биологического и минерального азота

Прогноз баланса гумуса показал, что наибольшие объемы минерализации гумуса были отмечены на вариантах с более высокой урожайностью и достигали 637...639 кг/га (варианты с внесением удобрений и ППК) (табл. 2). При возделывании сои без удобрений и без промежуточных почвопокровных культур основными источниками новообразования

гумуса являлись пожнивно-корневые остатки и солома сои, которые компенсировали соответственно 172 и 116 кг/га потерь гумуса, некомпенсированные объемы его минерализации на обоих вариантах составили 127 кг/га.

При использовании минеральных удобрений без промежуточных культур некомпенсированные потери гумуса увеличились до – 189...215 кг/га.

В прогнозируемом балансе гумуса основную статью в его новообразовании занимала биомасса промежуточных почвопокровных культур, которые компенсировали от 219 кг/га (без удобрений) до 317 кг/га (при последствии удобрений, внесенных под предшествующую озимую пшеницу  $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ ).

Оценка вклада источников органического вещества показала, что за счет пожнивно-корневых остатков на вариантах без почвопокровных культур компрессировалось 24...28% потерь гумуса, за счет соломы – 37...41%, а некомпенсированные потери достигали 31...39%.

Согласно прогнозному расчету на вариантах с использованием промежуточных почвопокровных культур складывался бездефицитный и положительный баланс гумуса – от – 34 кг/га ( $N_6P_{15}K_{23}S_2$ , смесь яровых ППК) до + 113 кг/га ( $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ , смесь яровых ППК), при этом новообразование гумуса на 4,7...17,3% превышало его минерализацию.

Эффективность любых агротехнических приемов в конечном счете оценивается по уровню урожайности. Согласно полученным данным, существенное положительное воздействие на формирование урожая сои оказывали два ключевых фактора: применение минеральных удобрений и использование промежуточных культур (табл. 3).

**Таблица 3. Урожайность сои в технологии прямого посева в зависимости от минеральных удобрений и промежуточных культур за 2022-2024 гг., т/га**

Удобрение - фактор А	Промежуточная культура – фактор В			Среднее по факт. А	Откл. от контроля +-
	Без ПК	Яровые ПК	Озимые ПК		
Без удобрений	1,44	1,55	1,65	1,55	
$N_6P_{15}K_{23}S_2$	1,74	1,91	1,97	1,87	+0,32
$N_{13}P_{30}K_{46}S_5$	1,87	1,96	2,14	1,99	+0,44
Среднее по факт. В	1,68	1,81	1,92	-	-
Откл. от контроля +-	-	+0,12	+0,24	-	-
НСР <sub>05</sub> для частных различий	0,30				
НСР <sub>05</sub> для факторов А и В	0,18				

Применение минеральных удобрений при посеве обеспечило статистически значимое увеличение урожайности сои. Так, внесение стартовой дозы  $N_6P_{15}K_{23}S_2$  (80 кг/га) способствовало получению прибавки урожая в 0,32 т/га (+20,6%) относительно контроля. Удвоение нормы удобрений –  $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$  (160 кг/га) позволило увеличить урожайность на 0,44 т/га или на 28,4%.

Оценка эффективности промежуточных почвопокровных культур показала, что урожайность сои достоверно возрастала при ее посеве после смеси озимых почвопокровных культур. В среднем за годы исследований на варианте без ППК урожайность сои составила 1,44 т/га, тогда как после смеси озимых ППК – 1,65 т/га, что на 0,21 т/га или 14,6% больше в сравнении с контролем.

#### Обсуждение

Для воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения Среднего Поволжья актуальной проблемой является оптимизация режима органического вещества и обеспечение бездефицитного баланса гумуса в почве, что можно достичь за счет использования биогенных ресурсов, воспроизводимых в агрофитоценозах (солома, ПКО), посева многолетних трав, сидератов, навоза и других источников органического вещества [11, 12]. Однако приемы оптимизации режима органического вещества на практике применяются не достаточно широко, что ведет к деградации почвенного плодородия.

О состоянии и изменениях в содержании органического вещества почвы можно судить по

прогнозированию гумусового баланса, где объем минерализации гумуса определяется по выносу азота урожаем с учетом соотношения углерода к азоту (C:N), а объемы новообразования рассчитываются по установленным коэффициентам.

Одним из ключевых элементов технологии прямого посева выступает формирование на поверхности почвы мульчирующего слоя. Данный агроприем выполняет многокомпонентную защитную функцию, предотвращая эрозионные процессы, перегрев пахотного горизонта и прорастание сорняков. Важным ресурсом для создания такого слоя являются промежуточные почвопокровные культуры (ППК), возделываемые в интервале между уборкой озимой пшеницы и посевом сои. Их возделывание обеспечивает формирование дополнительной биомассы в объеме 1,95...2,82 т/га сухого вещества, что на 58,7...72,0% превышает аналогичный показатель на контроле. Комплексное использование соломы, пожнивно-корневых остатков основной культуры и биомассы ППК создает предпосылки для формирования бездефицитного или положительного баланса гумуса в почве.

Кроме того, исследованиями Б. А. Борисова с соавторами [13] установлено, что при технологии прямого посева в сравнении с традиционной технологией, достоверно увеличивается содержание легкоразлагаемого органического вещества и проявляется тенденция к повышению содержания гумуса, а особенно гуминовых кислот в его составе и к улучшению других показателей плодородия почвы, в частности агрофизических показателей, что также положительно сказывается на плодородии почвы.

Важным агротехническим достоинством промежуточных почвопокровных культур выступает их способность эффективно использовать ресурсы летне-осеннего сезона (влагозапасы и тепло) для формирования биомассы – как надземной части, так и корневой системы. Вместе с растительными остатками в пахотном слое аккумулируется значительный объем элементов питания, достигающий 97,9 кг/га азота, 36,2 кг/га фосфора и 123,4 кг/га калия. В условиях Ростовской области, характеризующихся недостаточным увлажнением, использование ППК в качестве предшественника для сои предотвращает чрезмерное иссушение почвы, что благоприятные условия для получения выровненных всходов и оптимального онтогенеза растений, что в конечном итоге реализуется в максимальной прибавке урожая [14], что также согласуется с нашими данными.

Можно прогнозировать, что в ротации севооборота благоприятное воздействие промежуточных культур на показатели почвы, в первую очередь на ее биологическую активность и содержание органического вещества, будет иметь кумулятивный эффект. Дальнейшее изучение роли промежуточных культур в системе почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия с применением технологии прямого посева представляется научно и практически обоснованным.

#### Заключение

Промежуточные почвопокровные культуры, занимающие поле после уборки озимой пшеницы, показали, что наибольшее количество сухой биомассы – от 2,39 до 2,82 т/га – формировала смесь озимых культур, тогда как смесь яровых видов культур формировала от 1,95 до 2,55 т/га. При этом на всех вариантах опыта положительное влияние на продуктивность ППК оказывало внесение минеральных удобрений.

На неудобренном фоне посев яровых ППК увеличил общее поступление органического вещества в почву с 3,32 до 5,47 т/га (на 64,8%), а смеси озимых культур – до 6,09 т/га (на 83,4%). На фоне внесения удобрений под предшествующую культуру прибавка от ППК составила 2,44...3,31 т/га или 63,2...80,9%. В целом применение минеральных удобрений достоверно увеличивало объемы накопления органического вещества в почве из всех его источников.

Наибольшие объемы минерализации гумуса были отмечены на вариантах с более высокой урожайностью и достигали 637...639 кг/га (варианты с удобрениями и ППК). В прогнозируемом балансе основную статью в новообразовании гумуса занимали промежуточные почвопокровные культуры, которые компенсировали от 219 кг/га (без удобрений) до 317 кг/га (при последствии удобрений, внесенных под предшествующую озимую пшеницу  $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ ), что составляло от 41,7 до 45,5% от общего объема образования гумуса. При совместном использовании соломы, пожнивно-корневых остатков

и биомассы ППК прогнозируется бездефицитный и положительный баланс гумуса в почве.

Внесение минеральных удобрений при посеве в норме  $N_{60}P_{15}K_{23}S_2$  повышало урожайность сои на 0,32 т/га (на 20,6% к контролю), при увеличении нормы до  $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$  прибавка составила 0,44 т/га (на 28,4% к контролю). При возделывании сои без ППК урожайность сои составила 1,44 т/га, тогда как после смеси озимых ППК она достоверно возросла до 1,65 т/га или на 0,21 т/га (14,6%).

#### Литература

1. Демин Е. А., Волкова Н. А., Наков Д. Д. Содержание органического углерода в структурных отдельностях чернозема выщелоченного при использовании возрастающих доз минеральных удобрений в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 3(75). С. 11-16. doi: 10.12737/2073-0462-2024-11-16
2. Содержание органического углерода и азота в размерных фракциях агрегатов типичных черноземов / В. А. Холодов, Н. В. Ярославцева, М. А. Яшин и др. // Почвоведение. 2021. № 3. С. 320-326. doi:10.31857/S0032180X21030072
3. Зезин Н. Н., Постников П. А., Намятов М. А. Баланс гумуса в полевых севооборотах // Пермский аграрный вестник. 2019. № 2(26). С. 57-64. EDN DWCCNI
4. Семинченко Е. В. Баланс гумуса, элементов питания и продуктивность биологизированных севооборотов Нижнего Поволжья // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 89-94. EDN XRNHDK
5. Научно-практическое обоснование биологизации земледелия лесостепной зоны Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, М. И. Подсёвалов и др. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2020. 386 с. ISBN 978-5-6043485-2-9
6. Природоподобные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в системе прямого посева / В. К. Дриггер, Е. И. Годунова, Р. Г. Гаджиумаров и др. // Земледелие. 2025. № 1. С. 3-9. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-3-9. EDN QDSWNZ
7. Прямой посев – технология, восстанавливающая деградированные свойства черноземов / А. Л. Иванов, В. П. Белобров, В. К. Дриггер и др. // Сельскохозяйственный журнал. 2025. № 1(18). С. 23-47. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/003.1.18.2025. EDN GQAMON
8. Горянин О. И., Пронович Л. В. Влияние элементов технологий на эффективность возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 6. С. 11-15. doi:10.53859/02352451\_2024\_38\_6\_11
9. Севообороты для технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны среднего Поволжья / А. Л. Тойгильдин, О. Л. Кибалюк, И. А. Тойгильдина и др. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный

университет им. П.А. Столыпина, 2023. 192 с. ISBN 978-5-605-10710-1. EDN SKILRZ.

10. Патент РФ № RU2781776C1 Томашова О.Л. Способ подбора почвопокровных культур и расчет норм высева // Патент России от 18.10.2022 Бюл. № 29.

11. Дедов А. А., Несмеянова М. А., Дедов А. В. Влияние темпов разложения растительных остатков на лабильное органическое вещество почвы и урожайность культур севооборота // Земледелие. 2017. № 4. С. 6-8.

12. Мамеев В. В., Торики В. Е., Нестеренко О. А. Изменение баланса гумуса в полевых севооборотах и мероприятия по его увеличению // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 6(100). С. 9-17. doi: 10.52691/2500-2651-2023-100-6-9-17. EDN NDPVGC.

13. Гумусовое и агрегатное состояние чернозема южного при переходе от традиционной обработки к прямому посеву / Б. А. Борисов, Д. О. Рогожин, О. Е. Ефимов и др. // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 13–14 февраля 2023 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. С. 21-24. EDN TZKXMN.

14. Зеленская Г. М., Зеленский Н. А. Использование покровных сидеральных культур в сохранении плодородия почвы и повышении продуктивности пашни // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022. № 4(46). С. 11-19. EDN AZQRGH.

#### References

1. Demin E. A., Volkova N. A., Nakov D. D. The content of organic carbon in structural units of leached chernozem with the use of increasing doses of mineral fertilizers in the forest-steppe zone of the Trans-Urals // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2024. Vol. 19, No. 3(75). P. 11-16. doi: 10.12737/2073-0462-2024-11-16

2. The content of organic carbon and nitrogen in the size fractions of aggregates of typical black soils / V. A. Kholodov, N. V. Yaroslavtseva, M. A. Yashin, et al. // Soil Science. 2021. No. 3. P. 320-326. doi:10.31857/S0032180X21030072.

3. Zevin N.N., Postnikov P.A., Namyatov M.A. Humus balance in field crop rotations // Perm Agrarian Vestnik. 2019. No. 2(26). P. 57-64. EDN DWCCI

4. Seminchenko E. V. Balance of humus, nutrients and productivity of biologized crop rotations in the Lower Volga region // Perm Agrarian Vestnik. 2018. No. 2(22). P. 89-94. EDN XRHID.

5. Scientific and practical substantiation of the biologization of agriculture in the forest-steppe zone of the Volga region / A. L. Toygildin, V. I. Morozov, M. I. Podsevalov, et al. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin. 2020. 386 p. ISBN 978-5-6043485-2-9

6. Nature-like technologies for cultivating agricultural crops in the direct seeding system / V. K. Dridiger,

E. I. Godunova, R. G. Gadzhumarov, et al. // Agriculture. 2025. No. 1. P. 3-9. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-3-9. EDN QDSWNZ.

7. Direct seeding – a technology that restores degraded properties of black soils / A. L. Ivanov, V. P. Belobrov, V. K. Dridiger, et al. // Agricultural Journal. 2025. No. 1(18). P. 23-47. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/003.1.18.2025. EDN GQAMON.

8. Goryanin O. I., Pronovich L. V. Influence of technology elements on the efficiency of spring barley cultivation in arid conditions of the Volga region // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2024. Vol. 38. No. 6. P. 11-15. doi:10.53859/02352451\_2024\_38\_6\_11

9. Crop rotations for direct seeding technology in the forest-steppe zone of the middle Volga region / A. L. Toygildin, O. L. Kibalyuk, I. A. Toygildina, et al. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2023. 192 p. ISBN 978-5-605-10710-1. EDN SKILRZ.

10. Russian Federation Patent No. RU2781776C1 Tomashova O.L. Method for selecting soil cover crops and calculating seeding rates // Russian Patent dated 18.10.2022 Bull. No. 29.

11. Dedov A. A., Nesmeyanova M. A., Dedov A. V. Influence of the rate of decomposition of plant residues on labile organic matter of the soil and the yield of crops in crop rotation // Agriculture. 2017. No. 4. P. 6-8.

12. Mameev V. V., Torikov V. E., Nesterenko O. A. Change in the humus balance in field crop rotations and measures to increase it // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2023. No. 6 (100). P. 9-17. doi: 10.52691/2500-2651-2023-100-6-9-17. EDN NDPVGC.

13. Humus and aggregate state of southern black soil during the transition from traditional cultivation to direct seeding / B. A. Borisov, D. O. Rogozhin, O. E. Efimov, et al. // Resource-saving technologies and technical means for production of crop and livestock products: Collection of articles from the VIII International Scientific and Practical Conference, Penza, February 13–14, 2023. – Penza: Penza State Agrarian University, 2023. P. 21–24. EDN TZKXMN.

14. Zelenskaya G. M., Zelensky N. A. Use of cover green manure crops in maintaining soil fertility and increasing arable land productivity // Vestnik of the Don State Agrarian University. 2022. No. 4(46). P. 11–19. EDN AZQRGH.

**4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)**

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-49-54

УДК 633.282+631.527+631.559+57.018

**Сравнительная оценка перспективных сортов и линий суданской травы**

**Н. А. Ковтунова** ✉, кандидат сельскохозяйственных наук  
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»  
347740, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3,  
n-beseda@mail.ru

**Резюме.** Суданская трава – это перспективная засухоустойчивая кормовая культура, позволяющая получать высокие урожаи зелёной массы для использования в качестве зелёного корма, сенажа или силоса. Важная задача современной селекции – выведение нового сорта с максимально возможным уровнем продуктивности. Цель исследований – провести комплексный анализ новых перспективных сортов и линий суданской травы, адаптированных к засушливым условиям Ростовской области, и оценить корреляционную связь их урожайности с различными признаками. Объекты исследований – 6 новых линий суданской травы конкурсного испытания, новый, допущенный к использованию, сорт Алиса и стандартный сорт Александрина. Опыты проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Метеорологические условия в годы проведения исследований за период «всходы–выметывание» (2022–2024 гг.) были контрастными. ГТК за период «всходы–выметывание» суданской травы свидетельствует об очень сильной засухе в 2024 г., сильной засухе – в 2022 г., средней засушливости – в 2021 г. В результате комплексного анализа по урожайности зеленой массы выделена новая линия суданской травы Е-291, сформировавшая в сумме за 2 укоса 38 т/га зеленой массы и превысившая стандарт Александрина на 5 т/га или 15%. По питательной ценности следует отметить линию Св-2, превысившую стандарт на 4 т/га или на 12,1% не только по урожайности зеленой массы, но и урожайности сухого вещества (на 1,4 т/га или 18,9%), по сбору переваримого протеина (на 0,09 т/га или 16,4%) и обменной энергии (0,5 мДж/га или 9,3%). Линии Е-291 и Св-2 рекомендуются для передачи на государственное сортоиспытание. Сорта Алиса, Сельчанка и линии ЧЧТ-2013, ФП, ТА-2013 рекомендуются для использования в качестве родительских форм в гибридизации.

**Ключевые слова:** сорт, линия, суданская трава, урожайность, протеин, корреляция.

**Для цитирования:** Ковтунова Н. А. Сравнительная оценка перспективных сортов и линий суданской травы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 49-54. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-49-54

**Comparative evaluation of promising sudangrass varieties and lines**

**N. A. Kovtunova**  
Federal State Budgetary Scientific Institution "Donskoy" Agricultural Research Center  
347740, Rostov Region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3,  
n-beseda@mail.ru

**Abstract.** Sudangrass is a promising drought-resistant forage crop, producing high yields of green mass for use as green fodder, haylage, or silage. An important task in modern breeding is to develop new varieties with the highest possible productivity. The objective of this study was to conduct a comprehensive analysis of new promising Sudangrass varieties and lines adapted to the arid conditions of the Rostov Region and to evaluate the correlation between their yield and various traits. The subjects of the study were six new Sudangrass lines undergoing competitive trials, the new Alisa variety approved for use, and the standard Alexandrina variety. The experiments were conducted according to generally accepted methods. Meteorological conditions during the study years during the "emergence-to-heading" period (2022–2024) were contrasting. The hydrothermal coefficient (HTC) for the "emergence-to-heading" period of Sudan grass indicates very severe drought in 2024, severe drought in 2022, and moderate drought in 2021. A comprehensive analysis of green mass yield resulted in the identification of a new Sudan grass line, E-291, which produced a total of 38 t/ha of green mass in two cuttings, exceeding the Alexandrin standard by 5 t/ha, or 15%. In terms of nutritional value, the Sv-2 line is noteworthy, exceeding the standard by 4 t/ha, or 12.1%, not only in green mass yield but also in dry matter yield (by 1.4 t/ha, or 18.9%), digestible protein yield (by 0.09 t/ha, or 16.4%), and metabolizable energy (0.5 MJ/ha, or 9.3%). The E-291 and Sv-2 lines are recommended for state variety testing. The Alisa and Selchanka varieties and the ChChT-2013, FP, and TA-2013 lines are recommended for use as parental forms in hybridization.

**Keywords:** variety, line, Sudanese grass, yield, protein, correlation.

**For citation:** Kovtunova N. A. Comparative evaluation of promising sudangrass varieties and lines // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 49-54 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-49-54

**Введение**

Урожайность всех сельскохозяйственных культур, в основном, страдает из-за неблагоприятных условий окружающей среды: высоких температур, отсутствия или недостаточного количества осадков, холода, засух, засоления почв и многого другого. Чтобы преодолеть эти проблемы и гарантировать получение сельскохозяйственной продукции, необходим подбор не только культур, но и сортов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям.

Суданская трава – это однолетняя высокорослая трава, которая даёт исключительно высокие урожаи зелёной массы, которую можно использовать в качестве зелёного корма, сенажа или силоса [1]. Из-за позднего срока посева она подходит в качестве пожнивного корма. По засухоустойчивости и стабильной урожайности данная культура превосходит все однолетние кормовые культуры [2, 3]. Она способна давать 2...3 укоса зелёной массы за вегетационный период, благодаря своей способности к отрастанию после скашивания, и может вегетировать до наступления заморозков. Устойчивость к неблагоприятным факторам среды – вот что позволяет использовать суданскую траву в качестве альтернативы кукурузе [4, 5, 6]. В исследованиях М.М. Шкретова и др. по выходу растительного сырья (сухой массы) с единицы площади прибавка к контролю (могар) составила 50%, просу – 14%, овсяно-гороховой смеси – 7% [7]. В исследованиях А. А. Кислицына в полужасушливых условиях урожайность зелёной массы суданской травы составила 257 ц/га, сухого вещества – 58,3 ц/га, выход валовой энергии – 104,9 гДж/га, в то время как смесь овес+горох – 160; 35 ц/га и 63,0 гДж/га, овес – 143; 33,5 ц/га и 60,4 гДж/га [8]. В большинстве исследований доказано, что бобовые компоненты существенно улучшают качество корма [9, 10]. Таким образом, суданская трава среди традиционных однолетних злаковых культур является наиболее продуктивной и стрессоустойчивой.

Важная задача современной селекции – выведение нового сорта с максимально возможным уровнем продуктивности [11]. Несмотря на достигнутые результаты и высокий уровень продуктивности современных сортов, ее можно повысить за счет разработки новых и совершенствования уже существующих методов селекции и использования нового исходного материала. Кроме того, при улучшении растений важно знать связь между основными количественными признаками, чтобы определить критерии улучшения и потенциальную реакцию отбора генотипов на определенные признаки. Поэтому целью исследований было провести комплексный анализ новых перспективных сортов и линий суданской травы, адаптированных к засушливым условиям Ростовской области, и оценить корреляционную связь их урожайности с различными признаками.

**Материал и методы**

Почва зоны проведения исследований (г. Зерноград Зерноградского района Ростовской области) – обыкновенный карбонатный чернозем (содержание гумуса в пахотном слое 3,6% (по методу И.В.Тюрина),

обеспеченность подвижными формами фосфора 18,5...20 мг/кг и калия 342...360 мг/кг почвы (по методу Мачигина).

Объекты исследований – 6 новых линий суданской травы конкурсного испытания, допущенный к использованию сорт Алиса и стандартный сорт Александрина.

Сорта Александрина с 2007 г. и Алиса с 2019 г. внесены в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Северо-Кавказскому, Нижневолжскому и Центрально-Черноземному регионам России.

Опыты проводили в соответствии с общепринятыми методиками (*Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва, 1989. 194 с.*). Посев проводили в I-II декадах мая широкорядным способом (междурядье – 70 см) селекционной сеялкой «Клён-4,2» с нормой высева 340 тыс. всхожих семян на 1 га и рядовым способом (междурядье – 15 см) с нормой высева 1,6 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки – 25 м<sup>2</sup>, повторность – четырёхкратная.

Зеленую массу убирали в фазе начала выметывания у 10...15% растений на делянке методом сплошного учета. Из убранной массы отбирали пробы на биохимический анализ.

1. Содержание сырого протеина определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 10846-91), содержание золы – согласно ГОСТа 32933-2014, содержание жира – по ГОСТу 13496.15-2016, содержание клетчатки – по ГОСТу 31675-2012; содержание сухого вещества – по ГОСТу 31640-2012. Статистический анализ (наблюдения, сводка и группировка данных, абсолютные и относительные величины) полученных данных проведен по Б.А. Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс. 2014. 351 с.*) с использованием компьютерных программ Ms. Excel и Statistica 10.

Метеорологические условия в годы проведения исследований за период «всходы–выметывание» (2022–2024 гг.) были контрастными (табл. 1).

**Таблица 1 Метеорологические условия в период «всходы–выметывание» суданской травы (май–сентябрь 2022–2024 гг.) (по данным метеостанции г. Зернограда)**

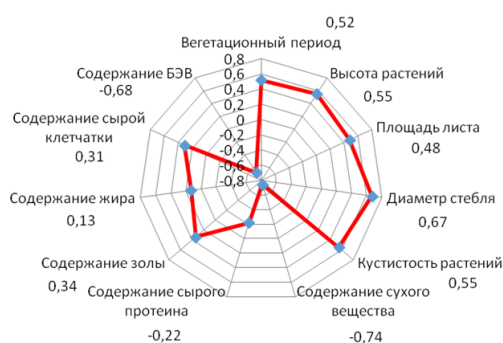
Год	Средняя температура воздуха, °С /	Сумма активных температур воздуха, °С	Сумма осадков, мм	ГТК
2022	21,7	1326	53,2	0,40
2023	21,4	1198	108,0	0,90
2024	25,9	1296	38,1	0,29

Гидротермический коэффициент (ГТК) за период «всходы–выметывание» суданской травы свидетельствует об очень сильной засухе в 2024 г., сильной засухе – в 2022 гг., средней засушливости – в 2021 г.

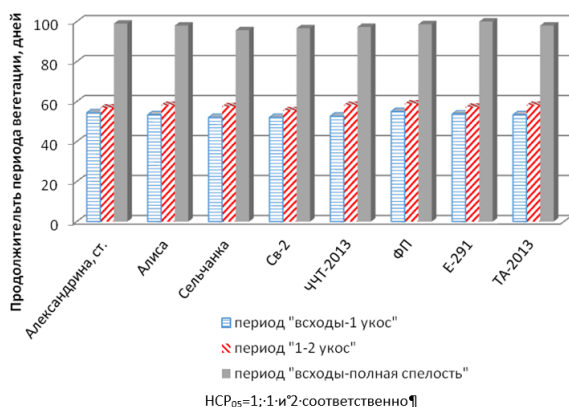
### Результаты

Урожайность зеленой массы у линий изучаемой выборки в значительной степени определяется продолжительностью периода вегетации ( $r=0,52\pm0,15$ ), высотой растений ( $r=0,55\pm0,15$ ), диаметром стебля ( $r=0,67\pm0,17$ ), кустистостью ( $r=0,55\pm0,15$ ). С содержанием сухого вещества и БЭВ отмечена сильная обратная связь ( $r=-0,70\ldots-0,74\pm0,15$ ) (рис. 1).

Продолжительность периода «всходы-выметывание» в среднем за годы изучения у выделенных сортов и линий имела значение 52...55 дней (рис. 2). Уже в конце июня-начале июля можно получить 1 укос зеленой массы суданской травы, ко второму укосу можно приступать через 57...59 дней, то есть в начале сентября. Продолжительность периода «всходы-полная спелость» варьировала от 96 до 100 дней.



**Рис. 1. Корреляционная связь урожайности зеленой массы суданской травы с хозяйственно-ценными признаками, среднее 2022-2024 гг.**



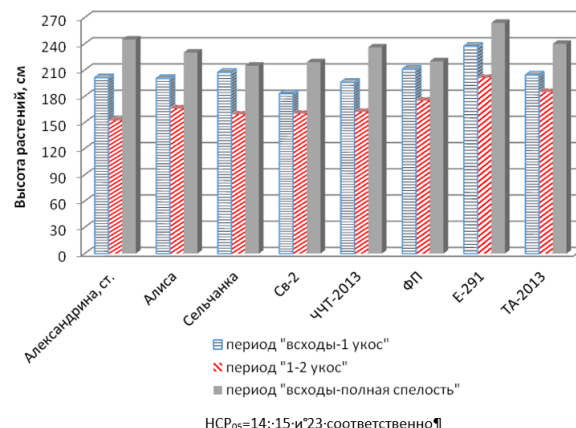
**Рис. 2. Продолжительность периодов вегетации у сортов и линий суданской травы, среднее 2022-2024 гг.**

Значительной разницы в прохождении межфазных периодов у сортов и линий не выявлено.

Высота растений – довольно нестабильный признак, зависящий как от способа и нормы посева, так и от почвенно-климатических условий [12]. В благоприятных условиях растения суданской травы могут достигать 3,0...3,5 м, а в засушливых – эти же сорта в отдельные годы не превышают 1,8...2,0 м.

В наших исследованиях высота растений перед выметыванием (1-го укоса) варьирует от 183 до

237 см, в среднем по сортам – 205 см (рис. 3). Значительно превысила стандарт по данному показателю линия Е-291 (237 см), у остальных высота на уровне стандартного сорта Александрина. К моменту 2-го укоса высота растений была ниже, в среднем по сортам – 170 см, причем выделилась та же линия Е-291 (201 см).



**Рис. 3. Высота растений у сортов и линий суданской травы, среднее 2022-2024 гг.**

В целом у сорго травянистого селекция на низкорослость не ведется, так как низкорослые формы характеризуются низкой продуктивностью биомассы. Наследование данного признака происходит по типу промежуточного наследования [13], поэтому даже очень высокорослые формы с высокой урожайностью зеленой массы можно вовлекать в гибридизацию для получения более низкорослых форм.

В ранее проведенных нами исследованиях в урожайность зеленой массы наибольший вклад делает 1-й укос. Его доля в общей урожайности составляет 54...74% [14]. При недостатке осадков в период май-июнь наблюдается значительный недобор урожайности зеленой массы суданской травы. Однако, даже при обильных осадках во второй период вегетации (июль-август) второй укос не может компенсировать недобор первого.

В наших исследованиях урожайность сортов и линий суданской травы в первом укосе в среднем составляла 20,6 т/га, во втором – 12,2 т/га. Наибольшие значения урожайности зеленой массы как в первом, так и во втором укосах отмечены у линии Е-291 (38 т/га). Превышение над стандартом у нее составило 5 т/га или 15%. Однако, и остальные сорта по урожайности не уступают сорту Александрина, сформировав 36...37 т/га зеленой массы и превысив стандарт на 3...4 т/га или 9...12% (рис. 4, табл. 2).

По урожайности сухого вещества выделились сорт Алиса и новая линия Св-2, превысившие среднегрупповое значение на 0,4...0,5 т/га, стандарт – на 1,2...1,4 т/га или на 16,2...18,9%. Урожайность семян у сортов и линий имела значения 1,0...1,5 т/га. В целом они не отличались от стандарта по данному показателю.



4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

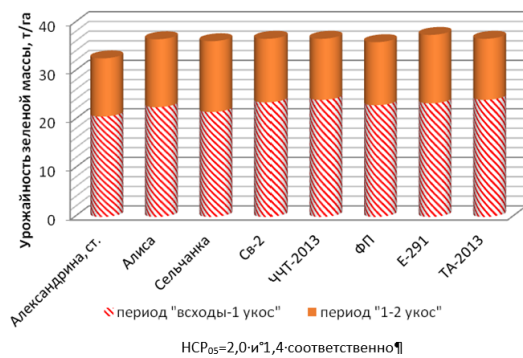


Рис. 4. Урожайность зеленой массы у сортов и линий суданской травы, среднее 2022-2024 гг.

Питательная ценность корма определяется, главным образом, биохимическим составом биомассы и особенно содержанием протеина [15]. По содержанию сырого протеина в сухом веществе зеленой массы изучаемые сорта и линии не превышают стандарт Александрина (12%). По содержанию золы, жира, сырой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) все сорта на одном уровне со стандартом (табл. 3).

Сбор переваримого протеина у сортов и линий суданской травы имел значения 0,49...0,64 т/га. По сбору переваримого протеина и обменной энергии наибольшее значение отмечено у линии Св-2, превышение над стандартом составило 0,09 т/га (16,4%) и 0,5 мДж/га (9,3%).

Таблица 2. Показатели урожайности и питательной ценности сортов и линий суданской травы, среднее 2022-2024 гг.

Сорт, линия	Урожайность / сбор					Обменная энергия, мДж/кг сухого вещества
	зеленой массы, т/га	сухого вещества, т/га	семян, т/га	переваримого протеина, т/га	обменной энергии, мДж/га	
Александрина, ст.	33	7,4	1,2	0,55	5,4	643
Алиса	37	8,6	1,4	0,61	5,6	646
Сельчанка	36	8,1	1,5	0,56	5,1	630
Св-2	37	8,8	1,2	0,64	5,9	664
ЧЧТ-2013	37	8,0	1,3	0,50	5,0	630
ФП	36	8,3	1,0	0,54	5,1	622
Е-291	38	8,4	1,0	0,57	5,3	633
ТА-2013	37	7,7	1,2	0,49	4,9	637
среднее	36	8,1	1,2	0,60	5,3	638
НСР <sub>05</sub>	2	0,4	0,2	0,06	0,3	12

Таблица 3. Содержание питательных веществ в сухом веществе зеленой массы сортов и линий суданской травы, среднее 2022-2024 гг.

Сорт, линия	Содержание элементов в сухом веществе, %				
	протеин	зола	жир	клетчатка	БЭВ
Александрина, ст.	12,0	8,5	1,9	46,6	31,1
Алиса	11,5	8,1	1,6	44,0	35,7
Сельчанка	10,4	7,9	1,6	44,8	35,3
Св-2	11,0	7,2	2,4	41,3	39,0
ЧЧТ-2013	9,4	7,2	1,7	45,7	36,3
ФП	9,9	7,8	1,8	44,4	36,1
Е-291	10,3	6,6	1,8	42,9	38,3
ТА-2013	9,6	8,0	1,8	46,0	33,2
среднее	10,5	7,7	1,8	44,0	35,6
НСР <sub>05</sub>	0,8	0,6	0,2	2,3	2,9

Обсуждение

Урожайность зеленой массы – основной показатель ценности сортов суданской травы. Проведенный анализ корреляционной зависимости, указывающий на среднюю положительную связь урожайности и продолжительности вегетационного периода ( $r=0,52\pm0,15$ ), высоты растений ( $r=0,55\pm0,15$ ), диаметром стебля ( $r=0,67\pm0,17$ ), кустистости ( $r=0,55\pm0,15$ ), согласуется с исследованиями других ученых. Так, по данным I.M. Ahmed, M. N. Rajab урожайность зеленой массы суданской травы имела значимую положительную связь с кустистостью ( $r=0,99$ ) и высотой растений ( $r=0,61$ ) [18]; S.Celic и др. – диаметром стебля и высотой растений [16]; A.B.Алабушева и др. (2019) – с размерами (0,54...0,59) и количеством (0,42) листьев, высотой растений (0,48)

и вегетационным периодом (0,48) [12]; G.N.Khurd и др. – с вегетационным периодом, кустистостью [17].

Изученные сорта и линии с продолжительностью периода «всходы-выметывание» 52...55 дней относятся к среднеранней группе созревания. Более ранние сорта в условиях Северного Кавказа по урожайности зеленой массы значительно уступают стандарту, а с более продолжительным периодом вегетации, формируя мощную биомассу, не успевают сформировать полноценное зерно стандартной влажности.

Высота растений оказывает значительное влияние на урожайность зеленой массы, так как доля стеблей в общей биомассе может достигать 65% [12]. Для удобства механизированной уборки при выращивании суданской травы на семена высота



растений не должна превышать 200...250 см. Этому требованию отвечают практически все выделенные линии и сорта с высотой растений 215...240 см, у стандарта 245 см. Линия Е-291 имела наибольшее значение – в среднем за 2022-2024 гг. – 264 см.

Несмотря на слабую отрицательную связь урожайности с содержанием сырого протеина ( $-0,22 \pm 0,18$ ), протеин – наиболее ценная часть корма, поэтому данному признаку следует уделять особое внимание. Его содержание в сухом веществе зеленой массы изучаемых сортов и линий варьирует в пределах 9,6...11,5%, а сбор переваримого протеина – 0,49...0,64 т/га.

Выделившиеся сорта и линии суданской травы, формируя урожайность 36...38 т/га, значительно превосходят стандарт на 3...5 т/га или 9...12%.

### Заключение

В результате комплексного анализа по урожайности зеленой массы выделена новая линия суданской травы Е-291, сформировавшая в сумме за 2 укоса 38 т/га зеленой массы и превысившая стандарт Александрина на 5 т/га или 15%. По питательной ценности следует отметить линию Св-2, превысившую стандарт на 4 т/га или на 12,1% по урожайности не только зеленой массы, но и сухого вещества (на 1,4 т/га или 18,9%), по сбору переваримого протеина (на 0,09 т/га или 16,4%) и обменной энергии (0,5 мДж/га или 9,3%). Линии Е-291 и Св-2 предлагаются для передачи на государственное сортоиспытание. Остальные сорта и линии рекомендуются для использования в качестве родительских форм в гибридизации.

### Литература

1. Enchev S. Productivity and feed quality of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) and sweet sorghum forms // *Agricultural Science and Technology*. 2021. №13(1). С. 57-62 doi:10.15547/ast.2021.01.011
2. Раджабов А. Н. Производство кормов в кормовых севооборотах на орошаемых землях равнинного Дагестана / А. Н. Раджабов, Р. А. Раджабов, Ш. Ш. Омариев и др. // *Проблемы развития АПК региона*. 2022. № 3(51). С. 100-103. doi:10.52671/20790996\_2022\_3\_100.
3. Куколева С. С., Кибальник О. П., Ларина Т. В. Изучение влияния осмотического стресса на засухоустойчивость образцов суданской травы селекции ФГБНУ РосНИИСК "Россорго" // *Сельскохозяйственный журнал*. 2022. № 3(15). С. 12-21. doi:10.25930/2687-1254/002.3.15.2022
4. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply // *Agricultural Sciences*. 2021. № 13 (31). Р. 81-86. doi:10.22620/agrisci.2021.31.012
5. Оценка образцов сорго зернового, сахарного и травянистого на устойчивость к низким положительным температурам / В. Л. Газе, И. А. Лобунская, П. И. Костылев и др. // *Аграрная наука*. 2023. № 8. С. 115-119. doi:10.32634/0869-8155-2023-373-8-115-119
6. Шкретов М. М., Важов В. М., Одинцев А. В. Возделывание суданской травы на корм в сухой степи Алтайского края // *Известия Алтайского государственного университета*. 2012. № 3-2(75). С. 75-78. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdelывanie-sudanskoy-travy-na-korm-v-suhoy-stepi-altayskogo-kraya> (дата обращения: 20.02.2025)
7. Кислицин А.А. Выращивание суданской травы и сорго на кормовые цели в центральной части курганской области // *Аграрный вестник Урала*. 2008. № 12 (54). С. 44-45. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyraschivanie-sudanskoy-travy-i-sorgo-na-kormovye-tseli-v-tsentralnoy-zone-kurganskoy-oblasti> (дата обращения: 20.02.2025)
8. Агафонов В. А. Травосмеси суданской травы с высокобелковыми культурами в полевом кормопроизводстве Прибайкалья // *Кормопроизводство*. 2022. № 3. С. 21-25. doi:10.25685/KRM.2022.3.2022.003
9. Выращивание суданской травы в одновидовом и смешанных посевах на зеленую массу в условиях Северо-Запада России / И. Л. Безгодова, В. В. Вахрушева, Е. Н. Прядыльщикова и др. // *АгроЗооТехника*. 2024. Т. 7. № 1. doi:10.15838/alt.2024.7.1.4
10. Сортовой потенциал как важнейший фактор повышения урожайности сорго в современных экономических условиях / М. Г. Муслимов, К. У. Куркиев, К. М. Абдуллаев и др. // *Проблемы развития АПК региона*. 2022. № 4(52). С. 122-126. doi:10.52671/20790996\_2022\_4\_122.
11. Кормовая ценность суданской травы в зависимости от срока уборки / А. В. Алабушев, Н. А. Ковтунова, В. В. Ковтунов и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. Т. 20, № 4. С. 343-350. doi:10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350
12. Ковтунов В. В. Наследование основных количественных признаков гибридами первого поколения сорго зернового // *Зерновое хозяйство России*. 2015. № (3). С. 73-79. Режим доступа: <https://www.zhros.online/jour/article/view/275> (дата обращения: 20.02.2025)
13. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий / Н. А. Ковтунова, В. В. Ковтунов, А. Е. Романюкин и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23 № 3. С. 334-342. doi:10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342.
14. Шишова Е. А. Качество зеленой массы суданской травы // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2017. № 2(46). С. 145-151. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-zelenoy-massy-sudanskoy-travy> (дата обращения: 20.02.2025)
15. Ahmed I. M., Rajab M.N. Estimate of genetic parameters and correlation coefficient in Sudan grass

(*Sorghum sudanense*, (Piper) Staff) // *Plant. Prod.* 2017. No. 8(9). P. 935-938. doi:10.21608/jpp.2017.40915

16. Çelik Ş., Tutar H., Gönülal E. Prediction of fresh herbage yield using data mining techniques with limited plant quality parameters // *Sci Rep.* 2024. No. 14 (1). P. 21396. doi:10.1038/s41598-024-72746-9.

17. Study on variability, correlation and path coefficient analysis in Sudan grass (*Sorghum sudanense* L.) / G.N. Khurd, V.K. Kadam, B.H. Chavan et al. // *International Journal of Chemical Studies.* 2018. № 6(4). P. 08-11. Режим доступа: <https://www.chemijournal.com/archives/2018/vol6issue4/PartA/6-4-13-648.pdf> (дата обращения: 20.02.2025)

#### References

1. Enchev S. Productivity and feed quality of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) and sweet sorghum forms // *Agricultural Science and Technology.* 2021. No. 13 (1). P. 57-62 doi: 10.15547/ast.2021.01.011

2. Radzhabov A. N. Forage production in forage crop rotations on irrigated lands of lowland Dagestan / A. N. Radzhabov, R. A. Radzhabov, Sh. Sh. Omariev, et al. // *Problems of development of the regional agro-industrial complex.* 2022. No. 3 (51). P. 100-103. doi: 10.52671/20790996\_2022\_3\_100.

3. Kukoleva S.S., Kibalnik O.P., Larina T.V. Study of the influence of osmotic stress on drought resistance of Sudan grass samples bred by the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Russian Research Institute of Vegetable Crop Production "Rossorghum" // *Agricultural Journal.* 2022. No. 3 (15). P. 12-21. doi: 10.25930/2687-1254/002.3.15.2022

4. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply // *Agricultural Sciences.* 2021. No. 13 (31). P. 81-86. doi:10.22620/agrisci.2021.31.012

5. Evaluation of grain, sugar, and grass sorghum accessions for resistance to low positive temperatures / V.L. Gaze, I.A. Lobunskaya, P.I. Kostylev, et al. // *Agrarian science.* 2023. No. 8. P. 115-119. doi:10.32634/0869-8155-2023-373-8-115-119

6. Shkretov M.M. Vazhov V.M., Odintsev A.V. Cultivation of Sudan grass for forage in the dry steppe of Altai Krai // *Bulletin of the Altai State University.* 2012. No. 3-2(75). P. 75-78. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdelyvanie-sudanskoy-travy-na-korm-v-suhoy-stepi-altayskogo-kрая>.

7. Kislitsin A.A. Growing Sudan grass and sorghum for forage purposes in the central part of the Kurgan region // *Agrarian Bulletin of the Urals.* - 2008. No. 12 (54). P. 44-45. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyraschivanie-sudanskoy-travy-i-sorgo-na-kormovye-tseli-v-tsentralnoy-zone-kurganskoy-oblasti> (date of access: 20.02.2025)

(date of access: 20.02.2025)

8. Agafonov V. A. Grass mixtures of sudan grass with high-protein crops in field forage production of the Baikal region // *Forage production.* 2022. No. 3. P. 21-25. doi: 10.25685/KRM.2022.3.2022.003

9. Growing sudan grass in single-species and mixed crops for green mass in the conditions of the North-West of Russia / I.L. Bezgodova, V.V. Vakhrusheva, E.N. Pryadilshchikova et al. // *AgroZooTekhnika.* 2024. Vol. 7. No. 1. doi:10.15838/alt.2024.7.1.4

10. Varietal potential as the most important factor in increasing sorghum yields in modern economic conditions / M. G. Muslimov, K. U. Kurkiev, K. M. Abdullaev, et al. // *Problems of development of the regional agro-industrial complex.* 2022. No. 4(52). P. 122-126. doi:10.52671/20790996\_2022\_4\_122.

11. Forage value of Sudan grass depending on the harvesting time / A. V. Alabushev, N. A. Kovtunova, V. V. Kovtunov, et al. // *Agrarian science of the Euro-North-East.* 2019. Vol. 20, No. 4. P. 343-350. doi:10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350.

12. Kovtunov V. V. Inheritance of the Main Quantitative Traits by First-Generation Hybrids of Grain Sorghum // *Grain Economy of Russia.* 2015. No. (3). Pp. 73-79. Available at: <https://www.zhros.online/jour/article/view/275> (accessed: 20.02.2025)

13. Yield of Grass Sorghum Depending on Meteorological Conditions / N. A. Kovtunova, V. V. Kovtunov, A. E. Romanyukin, et al. // *Agrarian Science of the Euro-North-East.* 2022. Vol. 23, No. 3. P. 334-342. doi:10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342.

14. Shishova, E. A. "Quality of green mass of Sudan grass" // *News of the Nizhnevolsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education.* 2017. No. 2(46). P. 145-151. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-zelenoy-massy-sudanskoy-travy> (Accessed: 20.02.2025)

15. Ahmed, I. M., Rajab, M. N. "Estimate of genetic parameters and correlation coefficient in Sudan grass (*Sorghum sudanense*, (Piper) Staff)" // *Plant. Prod.* 2017. No. 8(9). P. 935-938. doi:10.21608/jpp.2017.40915

16. Çelik Ş., Tutar H., Gönülal E. Prediction of fresh herbage yield using data mining techniques with limited plant quality parameters // *Sci Rep.* 2024. No. 14(1). P. 21396. doi:10.1038/s41598-024-72746-9.

17. Study on variability, correlation and path coefficient analysis in Sudan grass (*Sorghum sudanense* L.) / G.N. Khurd, V.K. Kadam, B.H. Chavan et al. // *International Journal of Chemical Studies.* 2018. No. 6(4). P. 08-11. Access mode: <https://www.chemijournal.com/archives/2018/vol6issue4/PartA/6-4-13-648.pdf> (accessed: 20.02.2025)

## Эффективность методов отбора растений льна-долгунца по новым признакам в первичном семеноводстве

Н. Н. Козьякова, аспирант

В. П. Понажев<sup>✉</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

ФГБНУ ФНЦ ЛК «Федеральный научный центр лубяных культур»

170041, Тверь, Комсомольский проспект, 17/56

<sup>✉</sup>info.trk@fncl.ru

**Резюме.** Исследования выполняли с целью изучения эффективности менее трудоемких методов отбора исходного материала льна-долгунца по новым признакам. Проведение научных экспериментов осуществляли в соответствии с методическими указаниями по первичному семеноводству, сортовому грунтовому контролю, а также методическими указаниями по проведению опытов со льном-долгунцом. Наиболее эффективным оказался метод отбора растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации, которые были отнесены к типичным. Данный метод отбора по сравнению с контролем позволил увеличить выходное количество обновленных семян на 17,2%, увеличить длину проростка семени на 4,0%, а также снизить затраты труда на выполнение работ в 3,2 раза. Метод отбора растений льна-долгунца по матричному признаку соцветия, а также высокостебельных растений позволил и увеличить выход семян соответственно в 2,9 и 1,8 раза. Выявлена возможность проведения ускоренной оценки морфофизиологических свойств семян методом их проращивания в чашках Петри. По сравнению с проращиванием в рулонах фильтровальной бумаги оценка семян в чашках Петри увеличила массу сырых проростков в 6,7...7,1 раза, уменьшила продолжительность тестирования на 39,7...66,7%.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, (*Linum usitatissimum*), растение, семена, метод, отбор, признак, качество.

**Для цитирования:** Козьякова Н. Н., Понажев В. П., Эффективность методов отбора растений льна-долгунца по новым признакам в первичном семеноводстве // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №4 (72). С. 55-60. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-55-60

## Efficiency of methods for selecting fiber flax plants for new traits in primary seed production

N. N. Kozyakova, V. P. Ponazhev<sup>✉</sup>

FSBSI Federal Scientific Center of Bast Crops

170041, Tver, Komsomolsky Ave, 17/56

<sup>✉</sup>info.trk@fncl.ru

**Abstract.** The study was conducted to assess the effectiveness of less labor-intensive methods for selecting fiber flax seed material for new traits. The experiments were conducted in accordance with guidelines for primary seed production, varietal soil testing, and guidelines for conducting experiments with fiber flax. The most effective method was to select plants from the beginning to the end of full budding, which were classified as typical. Compared to the control, this selection method increased the yield of renewed seeds by 17.2%, increased the length of seed sprouts by 4.0%, and reduced labor costs by 3.2 times. Selecting flax plants based on the maternal trait of inflorescence and tall-stemmed plants also increased seed yield by 2.9 and 1.8 times, respectively. The feasibility of accelerated evaluation of seed morphophysiological properties by germination in Petri dishes was demonstrated. Compared to germination in filter paper rolls, seed evaluation in Petri dishes increased the fresh seedling weight by 6.7 to 7.1 times and reduced testing time by 39.7 to 66.7%.

**Keywords:** flax (*Linum usitatissimum*), plant, seeds, method, selection, trait, quality.

**For citation:** Kozyakova N. N., Ponazhev V. P. Efficiency of methods for selecting fiber flax plants for new traits in primary seed production // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 55-60 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-55-60

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур FGSS – 2024-0005

### Введение

Производство для льняной отрасли требуемого количества посевных семян льна-долгунца в значительной степени зависит от состояния первичного семеноводства. Его главная задача состоит в том, чтобы с использованием высокоэффективных методов и приемов обеспечить получение необходимого количества обновленных (оригинальных) семян с высоким сортовым качеством и требуемыми посевными

кондциями. Решению этой задачи по-прежнему препятствует недостаточная эффективность используемых методов отбора и тестирования растений культуры с целью последующего создания оригинального материала [1, 2, 3]. Отбор и оценка необходимого количества исходного материала сдерживается не только сложностью и трудоемкостью применяемых методов, но и высокой трудоемкостью последующей оценки посевного и сортового качества

семян [4, 5]. Данное обстоятельство не способствует ускоренному продвижению в производство новых селекционных достижений, организации их расширенного семеноводства в соответствующих зонах льносеяния [6, 7, 8]. В связи с этим количество и ассортимент включенных в Госреестр селекционных достижений РФ новых высокопродуктивных сортов льна-долгунца не в полной мере соответствует их наличию в структуре производственных посевов семян. В ряде случаев первичное семеноводство новых сортов льна-долгунца, допущенных к возделыванию, не ведется или ограничено получением наибольшего количества оригинального материала. В то же время на их создание израсходовано значительное количество финансовых средств [9, 10,]. В течение последних семи лет в Госреестр селекционных достижений РФ включено и допущено к возделыванию 14 новых сортов льна-долгунца, а в семеноводческих посевах возделывается только 7 сортов. При этом доля посевов новых сортов Атлант, Феникс, Шанс в общей структуре посевных площадей льна-долгунца, например в 2024 г не превышала 0,4% [11, 12].

По данным грунтового контроля все созданные новые сорта льна-долгунца характеризуются высокими уровнем сортовой однородности, что является основанием для разработки менее сложных и менее трудоемких методов отбора исходного материала новых сортов с последующим созданием повышенных объемов обновленных (оригинальных) семян культуры. В связи с этим целесообразным является изучение возможности проведения отбора по новым, ранее не применявшимся признакам растений льна-долгунца, обеспечивающего увеличение выхода оригинального материала, снижение издержек и ускорение работ в первичном семеноводстве.

Цель исследований – изучить эффективность методов отбора исходного материала льна-долгунца по новым признакам, позволяющим обеспечить повышение выходного количества обновленных семян, снижение трудоемкости и затратности их создания.

#### **Материалы и методы**

Научные исследования выполняли в полевых опытах и лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в 2022-2024 гг. Предметом исследований были типичные растения, семена льна-долгунца сорта Визит, включенного в Госреестр селекционных достижений РФ. Объект исследований – процесс отбора и тестирования исходного материала по соответствующим признакам с последующим получением обновленных семян льна-долгунца и проведением оценки их качества. Эксперименты выполняли в соответствии с принятыми методиками (Янышина А.А. *Сортовой грунтовой контроль льна-долгунца // Методические указания. М.: Типография Россельхозакадемии. 1999. 21 с., Янышина А. А., Фомина М. А. Состояние сортовых качеств оригинальных семян льна - долгунца в первичном семеноводстве научно - исследовательских учреждений Российской*

*Федерации // Владимирский земледelec. 2019. № 3. С. 32 – 35. doi: 10.24411/2225-2584-2019-10078., Павлова Л. Н., Рожмина Т. А. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца // Методические указания. Тверь. Тверской госуниверситет. 2014. С. 92-94., Доспехов. Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Монография.: Альянс. 2011.295 с.). Посев семян в питомнике отбора осуществляли ленточным двухстрочным способом (7,5×45 см). Площадь деланки питомника отбора – 7 м<sup>2</sup>, повторность – четырехкратная.*

Отбор высокостебельных растений льна-долгунца осуществляли в интервале от средней общей длины растений до величины, превышающей её на 10%, которые после оценки были отнесены к типичным. Проведение отбора растений по сроку бутонизации осуществлялось в диапазоне от начала до окончания фазы полной бутонизации. Оставшиеся растения после визуальной оценки и удаления нетипичных убирали в фазе желтой спелости и считали как типичные.

Отбор по матриальной изменчивости массы семени на соцветии осуществляли среди растений, имеющих от трех до двенадцати коробочек, характеризующихся наибольшей величиной и наименьшим варьированием (наибольшей стабильностью) этого показателя, которые использовали как типичные. В качестве контроля проводился индивидуальный отбор растений с последующей оценкой их по комплексу признаков, включая оценку содержания волокна в стеблях. Посев семян в питомнике отбора осуществляли ленточным двухстрочным способом (7,5×45 см). Площадь деланки – 7 м<sup>2</sup>, повторность – четырехкратная. Норма высева всхожих семян льна-долгунца в питомниках отбора составляла 6 млн/га. Оценку сортового качества семян проводили с использованием метода грунтового контроля. Посев семян в грунтовом контроле осуществляли квадратным способом (2,5×2,5 см). Глубина заделки семян в почву – 1 см.

Посевное качество семян льна-долгунца перед посевом оценивали согласно требованиям ГОСТ Р 52325-2005 (Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. 2005. 19 с.). Всхожесть оригинальных семян составляла 94...96%. Почва в полевых опытах – дерново-подзолистая среднесуглинистая окультуренная слабокислая (РН KCL – 5,2...5,4). Кислотность почвы оценивали ионометрическим методом, содержание основных элементов питания (фосфора и калия) в слое почвы 0...20 см – методом Кирсанова.

Выполнение мероприятий по посеву семян, уходу за посевами, уборке льна в опытах осуществляли в оптимальные агротехнические сроки. Агротехника в полевых экспериментах – общепринятая. Термины и определения использовали в соответствии

с требованиями ГОСТ Р 52784-2007 (Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 52784-2007. Лен-долгунец. Термины и определения. 2008. 7 с.).

Статистическую обработку результатов исследований осуществляли согласно методике полевого опыта.

Метеорологические условия во время вегетации растений льна-долгунца характеризовались определенными различиями. В 2022 г отмечали удерживание повышенной температуры воздуха при недостаточном выпадении осадков, особенно в первой половине вегетационного периода (ГТК – 1,0). Характер метеоусловий 2023 г. отличался формированием температурного фона и количеством выпавших осадков во время вегетации по значениям, близким к среднемноголетним (ГТК – 1,5). В 2024 г наблюдали проявление засушливых условий в первой половине вегетации растений и оптимальных по температуре воздуха, и количеству выпавших осадков во второй ее половине (ГТК – 1,2).

### Результаты

Формирование количественных и качественных признаков льна-долгунца и как результат эффективность проведения отбора по ним в определенной степени зависит от интенсивности роста растений. В процессе произрастания растений увеличивается как их высота благодаря вертикальному росту, так и диаметр стебля из-за радиального роста. Соотношение вертикального и радиального роста в структуре диффузного роста влияет на формирование морфологических признаков, элементов продуктивности растений льна-долгунца.

В межфазном периоде елочка-цветение доля вертикального роста в формировании массы растений в питомнике отбора составила 22,8%, радиального роста – 77,2%. Загущение (уплотнение) растений в рядке в 1,5 раза повысило интенсивность вертикального роста, доля которого возросла до 59,0%. При этом доля радиального роста снизилась до 41,0%. В результате последовало уменьшение

диаметра стеблей, общий длины растений и количества коробочек на растении. Выявленные у растений льна-долгунца особенности вертикального и радиального роста оказались сопряженными с особенностями проявления у них матрикальной изменчивости соцветия, характеризующейся формированием в зависимости от числа коробочек на нем семенного материала, различающегося по величине массы единичного семени.

Выполненные исследования позволили выявить наличие различной массы семени и выраженной ее изменчивости между растениями и коробочками (плодами), а также зависимость этих показателей от количества коробочек на самом растении. Установлено, что наибольшая масса единичного семени на соцветии (4,7...5,2 мг) формировалась у трех – двенадцати коробочных растений. При этом наиболее высокий индекс, характеризующий стабильность массы семени между растениями, равный 0,65...0,92 единицы также наблюдался у трех-двенадцати коробочных растений. Кроме этого исследованиями выявлено, что изменчивость массы семени существует не только между растениями, но и между коробочками (плодами) в пределах самого соцветия. Слабовыраженная изменчивость этого показателя с формированием одновременно наибольшей массы семени отмечена у трех-двенадцати коробочных растений. Определенными особенностями в отношении массы семени характеризовались высокостебельные растения. Выявлено, что масса семени на соцветии у высокостебельных растений (5,2 мг) оказалась на 8,3% больше чем у растений, общая длина которых была меньше и соответствовала среднему значению. С учетом проведенного обоснования и выявленных при этом закономерностей формирования семенной продуктивности изучена эффективность методов отбора растений по новым признакам с целью получения соответствующих количественных и качественных показателей семенного материала (табл. 1).

**Таблица 1. Влияние методов отбора исходного материала льна-долгунца на формирование выходного количества обновленных семян и их качество**

Метод отбора исходного материала	Выход (масса) обновленных семян, г/м <sup>2</sup>	Энергия прорастания семян, %	Всхожесть семян, %	Масса 1000 семян, г
Отбор растений по действующей методике, контроль	9,8	95	96	4,48
Отбор высокостебельных растений в диапазоне от средней общей длины стебля до величины, превышающей ее на 10%	17,4	94	98	4,45
Отбор растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации	39,2	94	96	4,53
Отбор растений по матрикальным показателям соцветия (3-12 коробочных растений)	28,9	96	97	4,60
НСП <sub>05</sub> , г/м <sup>2</sup>	7,3			

Наибольший выход обновленных семян льна-долгунца, превысивший контроль в 4,0 раза

достигнут при проведении отбора растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации.

#### 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

Эффективным оказался также отбор по матрикальным показателям соцветия растений, т.е. растений, имеющих от трех до двенадцати коробочек и соответственно наибольшую массу семени и наименьшую величину ее изменчивости, позволивший увеличить выходное количество семян в 2,9 раза. Проведение отбора высокостебельных растений позволило увеличить выходной объем семян по сравнению с отбором по действующей методике в 1,7 раза. Все исследуемые методы отбора обеспечили получение

обновленных семян с одинаково высокими посевными качествами.

Изучение морфофизиологических свойств, созданных в процессе отбора семян льна-долгунца, позволило выявить преимущество метода отбора растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации (табл. 2). Данный метод отбора по сравнению с отбором по действующей методике позволил улучшить морфофизиологические свойства семян, в том числе повысить силу роста семян на 17,2%, увеличить длину проростка на 4,0%.

**Таблица 2. Морфофизиологические свойства семян льна-долгунца при различных методах отбора растений**

Метод отбора исходного материала	Масса 100 проростков – сила роста семян, г	Длина проростка семени, см	Масса 1 см проростка семени, мг
Отбор растений по действующей методике, контроль	2,03	5,0	4,1
Отбор высокостебельных растений в диапазоне от средней общей длины стебля до величины превышающей ее на 10%	2,08	4,8	4,3
Отбор растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации	2,38	5,2	4,6
Отбор растений по матрикальным показателям соцветия (3-12 коробочных растений)	1,82	4,1	4,4

Метод отбора высокостебельных растений обеспечил получение показателей морфофизиологических свойств семян на уровне отбора по действующей методике.

Учитывая большую значимость тестирования морфофизиологических свойств семян для начальных этапов семеноводства льна-долгунца, проведены исследования по совершенствованию методов оценки данного показателя качества семян.

Исследования показали, что метод оценки, предусматривающий проращивание семян льна-долгунца в чашках Петри в течение регламентированного срока, увеличивал массу сырых проростков, характеризующую силу роста семян по сравнению с проращиванием в рулонах фильтровальной бумаги в 6,7...7,1 раза (табл. 3).

**Таблица 3. Эффективность методов оценки морфофизиологических свойств семян льна-долгунца**

Метод оценки морфофизиологических свойств семян	Длина сырого проростка семени, см	Масса сырых проростков – сила роста семян, г		Продолжительность полной оценки морфофизиологических свойств семян в расчете на 1 образец, час
		в эксперименте	в пересчете на 100 проростков	
Метод оценки в рулонах по 50 проросткам, контроль	0,6	0,15	0,30	6,3
Метод оценки в чашках Петри по 50 проросткам	2,0	1,06	2,12	3,8
Метод оценки в чашках Петри по 25 проросткам	2,0	0,50	2,00	2,1

Экспериментальные данные указывают не только на возможность проведения более ускоренного и менее продолжительного в 1,7...3,0 раза тестирования семян при их проращивании в чашках Петри по сравнению с контролем, но и на более высокую достоверность нового метода оценки, предусматривающего тестирование более полноценных по массе проростков. Формирование более развитых проростков семян в чашках Петри объясняется большим доступом кислорода по сравнению с контролем. Метод оценки морфофизиологических свойств семян льна-долгунца в чашках Петри синхронизирован

с оценкой посевных качеств семян, которая также проводится аналогичным способом.

Проведение отбора и тестирования исходного материала льна-долгунца по новым признакам позволило снизить издержки на выполнение всего объема работ по сравнению с отбором по действующей методике в 1,7...3,2 раза. Максимальное снижение затрат труда (в 3,2 раза) позволило обеспечить метод отбора растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации.

### Обсуждение

Решение проблемы гарантированного обеспечения льняной отрасли семенами льна-долгунца высокого качества во многом определяется состоянием первичного семеноводства и прежде всего эффективностью его начальных этапов [1, 2]. Высокая трудоемкость, сложность этих этапов, а также значительные издержки, многообразие создаваемых и предлагаемых производству новых сортов являются основанием и весовым аргументом в пользу повышения эффективности методов отбора и создания обновленных семян в первичном семеноводстве, в том числе с использованием новых селекционно-ценных признаков исходного материала [3, 4, 5]. Не менее значимым является совершенствование методов оценки качества создаваемых семян льна-долгунца, в том числе способов определения морфофизиологических свойств и особенно силы роста семян [6, 7].

Проведение исследования позволило выявить высокую эффективность методов отбора растений льна-долгунца по новым признакам. Наиболее эффективным является отбор растений в интервале от начала до окончания полной бутонизации. Этот метод отбора обеспечил наибольший выход обновленных семян, превысивший контроль в 4,0 раза, показатели других вариантов в 1,4...2,2 раза. При использовании этого метода достигнуто улучшение морфофизиологических свойств семян, в том числе обеспечено повышение силы роста семян по сравнению с контрольным вариантом на 17,2%.

Исследуемые методы отбора исходного материала позволили получить обновленные семена с одинаково высокими посевными качествами. Исследования показали, что при проведении ускоренной и менее трудоемкой оценки морфофизиологических свойств обновленных семян в чашках Петри по сравнению с рулонным методом масса сырых проростков за счет более высокой их степени развития увеличилась в 6,7...7,12 раза при одновременном снижении продолжительности тестирования в 1,7...3,0 раза, или с 6,3 до 2,1 ч.

### Заключение

Выявлена высокая эффективность методов отбора растений льна-долгунца по новым признакам. Наиболее эффективным оказался отбор растений в диапазоне от начала до окончания полной бутонизации, позволивший увеличить выходное количество обновленных семян по сравнению с контролем в 4,0 раза, повысить силу роста семян на 17,2%, длину проростка семени -на 4,0%, массу 1 см проростка -на 12,2%. Метод отбора исходного материала по матричному признаку соцветия, характеризующемуся формированием на соцветии у трех-двенадцати корбочных растений наибольшей массы семени и наименьшего уровня ее изменчивости, обеспечил увеличение выходного объема семян по сравнению с контрольным вариантом в 2,9 раза. Отбор высокостебельных растений позволил увеличить выходное количество обновленных семян по сравнению

с отбором по действующей методике в 1,8 раза. Выявлена возможность проведения ускоренной оценки морфофизиологических свойств обновленных семян льна-долгунца, используя их проращивание в чашках Петри вместо проращивания в рулонах фильтровальной бумаги. Этот метод по сравнению с проращиванием семян в рулонах, позволил увеличить массу сырых проростков в 6,7...7,1 раза, а также снизить продолжительность тестирования в 1,7 ...3,0 раза.

### Литература

1. Состояние развития селекции и семеноводства льна-долгунца / В. Н. Кузьмин, Н. П. Мишуров, О. А. Моторин и др. // Управление рисками в АПК. 2021. № 42. С. 65-74. doi: 10.53988/24136573-2021-04-07
2. Понажев В. П., Виноградова Е. Г. Развитие селекции и семеноводства льна-долгунца – важнейший ресурс повышения эффективности льноводства России // Технические культуры. 2022. №1. С. 30-39. doi:1054016/ svitok. 2022.71.55.004
3. Понажев В. П. Эффективность методов создания и размножения семян льна-долгунца в первичном семеноводстве // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. №3. С. 119-124. doi: 10.18286/1816-4501-2021-3-119-125
4. Янышина А. А. Сортовая идентификация партий семян льна-долгунца в первичном семеноводстве научно-исследовательских учреждений Российской Федерации // Аграрная наука. 2022. № 7 (8). С. 157-161. doi: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-157-161.
5. Янышина А. А., Фомина М. А. Мониторинг изменчивости сортовой чистоты оригинальных семян льна-долгунца // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. № 1 (37). С. 48-51.
6. Понажев В. П. Эффективные методы и технологии первичного семеноводства новых сортов льна-долгунца // Технические культуры. 2023. № 3 (3). С. 10-18. doi: 10.54016/SVITOK.2023.16.75.002
7. Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. В. Лубяные культуры России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы развития // Технические культуры. 2021. № 1. С. 30-40. Doi: 10.54016/svitok. 2021.1.1.005
8. Пакудин В. В., Лопатин Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109-113.
9. Гончаров С. В., Карпачев В. В. О механизме извлечения ценности при коммерциализации селекционных достижений // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 28 -33. doi: 10.30850/vrsn/2019/2/28-33
10. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию. Официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2024. 620 с.
11. Анализ состояния отрасли льноводства. Федеральное агентство сельскохозяйственного

консультирования агропромышленного комплекса [Электронный ресурс] // М.2023 URL:<http://mcx-consult.ru/page2508072009> (дата обращения: 08.04.2025).

12. Виноградова Т.А., Кудряшова Т. А., Козьякова Н. Н. Характеристика сортов льна-долгунца различной селекции по комплексу признаков технологической ценности льносырья // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 5 (34). С.32 - 39. doi: 10.24411/0235-2451-2021- 10505

13. Янышина А. А. Павлова Л. Н., Фомина М. А. Однородность основных сортов признаков новых селекционных номеров и сортов льна-долгунца // Аграрный Вестник Верхневолжья. 2019. № 3. С. 29-33. doi: 10.35523/2307-5872-2019-28-3-29-33


#### References

1. State of development of selection and seed production of fiber flax / V. N. Kuzmin, N. P. Mishurov, O. A. Motorin, et al. // Risk management in the agro-industrial complex. 2021. No. 42. P. 65-74. doi: 10.53988/24136573-2021-04-07
2. Ponazhev V. P., Vinogradova E. G. Development of selection and seed production of fiber flax is the most important resource for increasing the efficiency of flax growing in Russia // Technical cultures. 2022. No. 1. P. 30-39. doi: 1054016/ svitok. 2022.71.55.004
3. Ponazhev V. P. Efficiency of methods for creating and multiplying fiber flax seeds in primary seed production // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No. 3. P. 119-124. doi: 10.18286/1816-4501-2021-3-119-125
4. Yanyshina A. A. Varietal identification of fiber flax seed lots in primary seed production of research institutions of the Russian Federation // Agrarian science. 2022. No. 7 (8). P. 157-161. doi: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-157-161.
5. Yanyshina A. A., Fomina M. A. Monitoring the variability of varietal purity of original fiber flax seeds // Vestnik of the AIC of the Upper Volga Region. 2017. No. 1 (37). P. 48-51.
6. Ponazhev V. P. Effective methods and technologies for primary seed production of new varieties of fiber flax // Technical cultures. 2023. No. 3 (3). P. 10-18. doi: 10.54016/SVITOK.2023.16.75.002
7. Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. V. Bast crops in Russia and abroad: status, problems and development prospects // Technical cultures. 2021. No. 1. P. 30-40. doi: 10.54016/svitok. 2021.1.1.005
8. Pakudin V. V., Lopatin L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crop varieties // Agricultural biology. 1984. No. 4. P. 109-113.
9. Goncharov S. V., Karpachev V. V. On the mechanism of value extraction in the commercialization of breeding achievements // Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2019. No. 2. P. 28-33. doi: 10.30850/vrsn/2019/2/28-33
10. State register of varieties and hybrids of agricultural plants approved for use. Official publication. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotech". 2024. 620 p.
11. Analysis of the state of the flax growing industry. Federal Center for Agricultural Consulting of the Agro-Industrial Complex [Electronic resource] // М.2023 URL: <http://mcx-consult.ru/page2508072009> (access date: 08.04.2025).
12. Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Kozyakova N.N. Characteristics of fiber flax varieties of various selections based on a set of traits of the technological value of flax raw materials // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2021. No. 5 (34). P. 32 - 39. doi: 10.24411/0235-2451-2021- 10505
13. Yanyshina A. A. Pavlova L. N., Fomina M. A. Uniformity of the main varieties of traits of new breeding numbers and varieties of fiber flax // Agrarian Vestnik of the Upper Volga Region. 2019. No. 3. P. 29-33. doi: 10.35523/2307-5872-2019-28-3-29-33




doi:10.18286/1816-4501-2025-4-61-69

УДК 631.86:633.11

**Агрономическая эффективность действия органических удобрений на урожайность, содержание белка и азота в зерне и соломе озимой пшеницы****Н. П. Бакаева** , доктор биологических наук, профессор кафедры «Агрохимия, почвоведение и агроэкология»**О. Л. Салтыкова**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агрохимия, почвоведение и агроэкология»

Самарский государственный аграрный университет

446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2

bakaevanp@mail.ru

**Резюме.** Исследовали эффективность применения новых органических удобрений, полученных в результате переработки животноводческих отходов и растительных остатков, на накопление минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы под посевами озимой пшеницы сорта Светоч, а также урожайность зерна и соломы, содержание азота в зерне и соломе, содержание белка в зерне в фазу полной спелости. Полевые эксперименты проводили в течение 2018-2021 гг. в Самарской области. Органические удобрения вносили осенью под основную обработку почвы по схеме: 1) без удобрений; 2) полуперепревший навоз; 3) твердое органическое удобрение; 4) жидкое органическое удобрение; 5) биогумус. Учетная площадь делянок – 120 м<sup>2</sup>, повторность опытов – трёхкратная. Почва опытных делянок представлена типичным черноземом: среднесуглинистым со средним содержанием гумуса в пахотном горизонте. В годы исследований вегетационный период роста и развития растений озимой пшеницы проходил на фоне повышенных температур при недостатке атмосферной влаги, что характерно для центральной агроклиматической зоны Самарского Заволжья. Применение перепревшего навоза способствовало большому обогащению почвы нитратным и аммонийным азотом. Наивысшие показатели урожайности (3,0 т/га) были зафиксированы при внесении навоза, что на 0,41 т/га выше урожайности, полученной на фоне без удобрений. При этом отмечали наибольший вынос азота с белком урожая озимой пшеницы – 11,27 кг/га, что на 3,67 кг/га выше, чем в контрольном варианте без удобрений. Аналогичная зависимость выявлена при выносе азота с белком соломы и зерном при наиболее высоком содержании белка в зерне (15,3%). Корреляционный анализ, оценка взаимосвязи и уравнения регрессии показали тесную взаимосвязь между урожайностью зерна и выносом азота с зерном ( $r = 0,96$ ), урожайностью соломы и выносом азота с соломой ( $r = 0,94$ ), содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна ( $r = 0,99$ ). Все выявленные зависимости характеризуются как сильные и прямые.


**Ключевые слова:** озимая пшеница, органические удобрения, минеральный азот почвы, урожайность, азот, белок, вынос азота.

**Для цитирования:** Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Агрономическая эффективность действия органических удобрений на урожайность, содержание белка и азота в зерне и соломе озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 61-69. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-61-69

**Agronomic efficiency of organic fertilizers on yield, protein and nitrogen content in grain and straw of winter wheat****N. P. Bakaeva** , **O. L. Saltykova**

Samara State Agrarian University

446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Uchebnaya St. 2

bakaevanp@mail.ru

**Abstract.** We studied the effectiveness of new organic fertilizers obtained by processing livestock waste and plant residues on accumulation of mineral nitrogen in the root zone of soil under Svetoch winter wheat, as well as grain and straw yield, nitrogen content in grain and straw, and protein content in grain at full maturity. Field experiments were conducted from 2018 to 2021 in the Samara Region. Organic fertilizers were applied in autumn during primary tillage according to the following scheme: 1) no fertilizer; 2) semi-rotted manure; 3) solid organic fertilizer; 4) liquid organic fertilizer; 5) vermicompost. The plot area was 120 m<sup>2</sup>, and the experiments were repeated three times. The soil in the experimental plots was typical black soil: medium-deep, medium-loamy, with a moderate humus content in the arable horizon. During the study years, the growing season for winter wheat plants occurred against a backdrop of elevated temperatures and low atmospheric moisture, typical of the central agroclimatic zone of the Samara Trans-Volga region. The application of rotted manure contributed to enrichment of the soil with nitrate and ammonium nitrogen. The highest yields (3.0 t/ha) were recorded with manure application, which is 0.41 t/ha higher than the yield obtained without fertilizer. Furthermore, the

highest nitrogen removal with protein from the winter wheat crop was observed – 11.27 kg/ha, which is 3.67 kg/ha higher than in the control without fertilizer. A similar relationship was found for nitrogen removal with straw protein and grain with the highest protein content in grain (15.3%). Correlation analysis, relationship assessment, and regression equations showed a close relationship between grain yield and nitrogen removal with grain ( $r = 0.96$ ), straw yield and nitrogen removal with straw ( $r = 0.94$ ), and protein content in grain and nitrogen removal with grain protein ( $r = 0.99$ ). All identified relationships are characterized as strong and direct.

**Keywords:** winter wheat, organic fertilizers, soil mineral nitrogen, crop yield, nitrogen, protein, nitrogen removal.

**For citation:** Bakaeva N. P., Saltykova O. L. Agronomic efficiency of organic fertilizers on yield, protein and nitrogen content in grain and straw of winter wheat // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 61-69 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-61-69

##### Введение

Научно обоснованные системы применения органических удобрений играют важную роль для получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур при условии повышения плодородия почв или поддержания его на достигнутом уровне [1, 2, 3].

Оптимизация питания растений, включая макро- и микроэлементы, позволяет эффективно управлять физиологическими и биохимическими процессами, происходящими в них. Это, в свою очередь, оказывает значительное влияние на формирование урожая и его качественные характеристики [4, 5].

Озимая пшеница представляет собой высокопродуктивную и экономически значимую зерновую культуру, возделываемую в различных агроклиматических зонах России, включая Самарскую область. В структуре посевных площадей зерновых культур в Самарской области озимая пшеница занимает существенную долю (около 30...35%), а ее вклад в общий объем валового сбора зерна составляет примерно 45...50% [6, 7].

В технологиях выращивания озимой пшеницы важное место отводится применению органических удобрений. Они играют существенную роль в восстановлении плодородия почвы, поддержании положительного баланса гумуса и биогенных элементов, а также в соблюдении научно обоснованных севооборотов и снижении эрозионных процессов. Внесение органических удобрений способствует не только увеличению урожайности, но и улучшению качества зерна [8, 9].

Цель исследований – изучить эффективность применения новых органических удобрений на накопление минеральных форм азота в почве, урожайность зерна и соломы, содержание азота в зерне и соломе, белковость зерна.

##### Материалы и методы

Многолетние исследования проводили в период с 2018 по 2021 гг. в центральной части Самарской области, а именно в лесостепной зоне Заволжья. Опытные участки располагались на территории Самарского ГАУ и научно-исследовательской лаборатории «Агроэкология».

Почва на опытных деланках представлена типичным черноземом: среднемощным среднесуглинистым со средним содержанием гумуса (5,3%) в пахотном горизонте. Реакция солевой вытяжки - нейтральная (рН 6,5...6,7). Отмечается высокая обеспеченность подвижными формами фосфора

(148...168 мг/кг) и обменного калия (161...204 мг/кг), а также легкогидролизуемым азотом (89...129 мг/кг). Характерна относительно высокая поглотительная способность. Физико-химические и водные характеристики почвы опытного поля благоприятны для успешного возделывания основных сельскохозяйственных культур. Рельеф участка ровный, окружающая территория характеризуется облесенностью в пределах 8...10% [6, 10].

В пятипольном зернопаровом севообороте с предшественником чистый пар возделывалась озимая мягкая пшеница сорта Светоч. Этот сорт характеризуется как среднеспелый, со средней урожайностью в регионе 23,1 ц/га, обладающий повышенной зимостойкостью, устойчивостью к полеганию и засухоустойчивостью на уровне стандарта.

Агротехника в опыте – общепринятая для озимой пшеницы в центральной агроклиматической зоне Самарской области, основанная на отвальной обработке пахотного горизонта почвы. Посев пшеницы проводился в оптимальные агросроки зерновой сеялкой Amazone DMC Primera 601 с нормой высева семян 5,0 млн. шт. всхожих семян на 1 га.

Задача полевого опыта заключалась в исследовании эффективности использования органических удобрений.

Компания "АгроПромСнаб" занимается производством инновационных органических удобрений, основанных на переработке животноводческих отходов и растительных остатков в соответствии с требованиями ГОСТ 53117-08.

Органические удобрения в эквивалентной дозе по азоту 150 кг на 1 га вносились осенью под основную обработку почвы по схеме: 1) без удобрений; 2) полуперепревший навоз, 30 т/га; 3) твердое органическое удобрение ООО «АгроПромСнаб»; 4) жидкое органическое удобрение ООО «АгроПромСнаб»; 5) Биогумус ООО «Плодар».

Полуперепревший навоз – основное органическое удобрение из отходов животноводства, в составе которого имеются все основные питательные вещества, минерализация навоза составляет 40%. Содержание элементов питания: азота – 0,5%; фосфора – 0,25 и калия – 0,6%.

Жидкое органическое удобрение производилось из куриного помета и отходов животноводства, обработанных с применением нанотехнологий, позволяющих сохранить все полезные вещества и витамины, при этом уничтожаются все вредоносные

микроорганизмы и семена растений. Содержание сухого вещества в твердой форме удобрения – 2,2%. Массовая доля общего азота – 0,28% при влажности 97,8%.

Твердое органическое удобрение производили из отходов растениеводства (шелуха подсолнечника, лузга льна и зерновых), обработано с применением нанотехнологий и добавлением жидкого концентрата. Присутствие в удобрении консорциума бактерий «Бацилюс Субтилис» и гриба «Трихадерма» обеззараживает почву от фитопатогенной микрофлоры. Содержание сухого вещества в твердой форме удобрения – 89,9%. Массовая доля общего азота в удобрении – 5,28%.

Биогумус ООО «Плодар» – высококачественное органическое удобрение собственного производства, продукт переработки органических отходов (навоза крупного рогатого скота) дождевыми червями отечественной селекции, а также почвосмеси, произведенные на основе биогумуса. По результатам исследования содержание макроэлементов в г/100 г сухого вещества: общего азота – 2,83, общего фосфора – 2,34, общего калия – 2,82.

Учетная площадь делянок – 120 м<sup>2</sup>, повторность опытов трёхкратная, расположение делянок систематическое.

Вегетация растений в годы исследований проходила на фоне повышенных температур при недостатке атмосферной влаги, что характерно для центральной агроклиматической зоны Самарского Заволжья [11]. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) в период роста и развития опытных посевов составил в 2018 г. – 0,50, 2019 г. – 0,52, 2020 г. – 0,57, 2021 г. – 0,48.

Почвенные образцы отбирались в основные фазы роста и развития озимой пшеницы – кущение, выход в трубку и колошение при их наступлении не менее чем у 75% растений и в фазу созревания зерна (его налив). Содержание нитратного азота в почве определялось дисульфифеноловым методом (Плешков Б. П. *Практикум по биохимии растений*. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.), а обменного аммония – фотометрическим методом по ГОСТ 26489-85 «Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО».

Аналитические исследования проводили в образцах растений, листьев и зерна озимой пшеницы. Выделяли белок по методике Осборна в модификации Х. Н. Починка (*Починков Х. Н. Методы биохимического исследования растений*. Киев, 1976. 297 с.). Количественное содержание белка определяли колориметрическим методом по биуретовому методу с использованием реактива Бенедикта [12].

Учет урожая проводили путем сплошной уборки комбайном «TERRION» учетной площади делянок в фазу полной спелости зерна. Полученный урожай пересчитывали на 100% чистоту и 14% влажность.

Для определения количества питательных веществ, выносимых из почвы вместе с собранным

урожаем, применялась следующая формула:  $B = U \times C$ , где  $B$  – это объем питательного вещества, изъятый из почвы урожаем (в килограммах на гектар);  $U$  – масса абсолютно сухого вещества собранного урожая (в центнерах на гектар);  $C$  – процентное содержание питательного элемента в абсолютно сухом веществе урожая.

Полученные в ходе исследований данные подвергались статистической обработке с вычислением средней величины, коэффициента вариации (по методике Г.Н. Зайцева (*Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике*. М.: Наука, 1973. 256 с.), наименьшей существенной разницы (НСР) и коэффициентов корреляции по Б. А. Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта*. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.) с использованием программных пакетов Excel 2013 и Statistica 6.1.

### Результаты

Измерение концентрации нитратного и аммонийного азота проводилось в определенные фазы роста и развития озимой пшеницы с использованием почвенных образцов, взятых из пахотного слоя почвы на глубине 0...30 см. Изначальные запасы аммонийного азота в почве перед посевом указывали на достаточный уровень его доступности (6,2 мг NH<sub>4</sub><sup>+</sup> на кг почвы).

В таблице 1 представлены результаты влияния различных органических удобрений на накопление в корнеобитаемом слое почвы нитратного и аммонийного азота в фазы кущения, налива зерна и перед уборкой.

**Таблица 1. Содержание азота (мг/кг) в корнеобитаемом слое почвы под растениями озимой пшеницы (в среднем за годы исследований)**

Органические удобрения	N-NO <sub>3</sub>			N-NH <sub>4</sub>		
	кущение	налив зерна	перед уборкой	кущение	налив зерна	перед уборкой
Без удобрения	11,18	12,52	9,28	6,14	10,16	8,18
Навоз (полуперепревший)	11,36	31,28	32,95	6,65	20,19	21,93
Твердое органическое удобрение	11,30	28,96	30,85	6,57	18,61	19,92
Жидкое органическое удобрение	11,26	29,12	30,87	6,46	16,25	18,06
Биогумус	11,28	27,36	29,10	6,50	15,94	17,63
<b>В среднем по органическим удобрениям</b>	<b>11,3</b>	<b>29,18</b>	<b>30,94</b>	<b>6,55</b>	<b>17,75</b>	<b>19,39</b>

**Примечание.** Дисперсионный анализ полученных в опыте данных по отдельным годам с расчетами НСР 05 подтвердил достоверность результатов опыта.

Накопление минеральных форм азота в почве зависело от интенсивности распада

и минерализации органических соединений, а также от скорости биологического формирования новых органических соединений, содержащих азот.

В течение вегетационного периода озимой пшеницы содержание нитратного и аммонийного азота в прикорневой зоне почвы в контрольном варианте (без удобрений) было различным. Отмечали преобладание нитратной формы, в среднем на 39% превышающее содержание аммонийной. Динамика изменений концентраций обеих форм азота в различные фазы развития растений была схожей. В фазе налива зерна отмечался рост содержания азота по сравнению с фазой кущения, после чего наблюдали некоторое снижение. Такая динамика соответствовала физиологическим потребностям растений в азоте на разных этапах развития.

Применение органических удобрений привело к заметному росту концентрации как нитратного, так и аммонийного азота в почве, если сравнивать с вариантом, где удобрения не применяли. Внесение биогумуса оказало наименьшее воздействие на уровень этих веществ. Наиболее значительное влияние на содержание нитратного и аммонийного азота оказало применение полуперепревшего навоза, увеличив данные показатели на 56% и 50% соответственно, в сравнении с вариантом без внесения удобрений. Использование твердых органических удобрений вызвало несколько меньший прирост различных форм азота – на 6,0% и 7,5% соответственно по сравнению с применением навоза. При применении жидкого органического удобрения концентрация нитратного азота в среднем оказалась сопоставимой с вариантом, где использовалось твердое удобрение, в то время как уровень аммонийного азота был ниже на 16,3% и 9,6% по сравнению с внесением навоза и твердого органического удобрения соответственно.

К моменту уборки урожая наблюдали обогащение почвы азотом в обеих его формах. Использование полуперепревшего навоза привело к увеличению концентрации нитратного азота в почве на 5%, а аммонийного – на 8%. Применение жидких органических удобрений и биогумуса также способствовало увеличению содержания азота к моменту уборки: нитратного – до 6%, аммонийного – до 10%. В варианте с твердым органическим удобрением данные показатели увеличивались до 7%.

Обоснована целесообразность внесения органических удобрений под сельскохозяйственные культуры с учетом их потребностей в питательных веществах на разных этапах развития. Несмотря на первоначальное достаточное содержание азота в почве, внесение различных органических удобрений оказало положительное влияние на азотный баланс почвы, хотя и по-разному в каждом случае. В проведенном исследовании зафиксировано повышение уровня нитратного азота в почве в период от посева до начала кущения. Предыдущими исследованиями было показано, что такое увеличение связано

с естественными процессами, происходящими в почве, такими как разложение органических остатков, перераспределение и накопление активности уреазы в верхнем слое почвы [12].

Для оценки воздействия различных органических удобрений на изменение концентрации азота и белка в зеленой массе, отбор проб растений проводился на следующих фазах развития озимой пшеницы – кущения, выхода в трубку и колошения (табл. 2).

**Таблица 2. Содержание азота и белка (%) в зеленой части растений и отдельно в листьях озимой пшеницы по фазам вегетации, в среднем за годы исследований**

Органические удобрения	Азот, %		Белок, %	
	в растениях	в листьях	в растениях	в листьях
<b>Кущение</b>				
Без удобрений	0,72	0,38	4,48	2,51
Навоз (полуперепревший)	0,78	0,46	4,85	2,72
Твердое органическое удобрение	0,74	0,44	4,78	2,64
Жидкое органическое удобрение	0,76	0,42	4,54	2,59
Биогумус	0,73	0,42	4,50	2,54
<b>Выход в трубку</b>				
Без удобрений	1,13	0,78	6,90	5,02
Навоз (полуперепревший)	1,20	0,85	7,29	5,28
Твердое органическое удобрение	1,18	0,83	7,12	5,13
Жидкое органическое удобрение	1,15	0,84	7,04	5,19
Биогумус	1,17	0,80	7,01	5,06
<b>Колошение</b>				
Без удобрений	1,32	1,10	7,96	5,91
Навоз (полуперепревший)	1,56	1,23	8,98	7,14
Твердое органическое удобрение	1,48	1,18	8,63	6,84
Жидкое органическое удобрение	1,47	1,14	8,56	7,95
Биогумус	1,42	1,15	8,42	6,53
<b>В среднем без удобрений</b>	<b>1,05</b>	<b>0,75</b>	<b>6,45</b>	<b>4,48</b>
<b>В среднем навоз (полуперепревший)</b>	<b>1,18</b>	<b>0,85</b>	<b>7,04</b>	<b>5,05</b>
<b>В среднем твердое органическое удобрение</b>	<b>1,13</b>	<b>0,82</b>	<b>6,84</b>	<b>4,87</b>
<b>В среднем жидкое органическое удобрение</b>	<b>1,13</b>	<b>0,80</b>	<b>6,71</b>	<b>5,24</b>
<b>В среднем биогумус</b>	<b>1,11</b>	<b>0,79</b>	<b>6,64</b>	<b>4,71</b>
<b>В среднем по органическим удобрениям</b>	<b>1,14</b>	<b>0,82</b>	<b>6,81</b>	<b>4,98</b>

**Примечание.** Дисперсионный анализ полученных в опыте данных по отдельным годам с расчетами НСР 05 подтвердил достоверность результатов опыта.

В период роста и развития растений наблюдали увеличение концентрации азота и белка как в самом растении, так и в его листьях. Применение

органических удобрений способствовало росту содержания азота в растениях и листьях, достигая 8,0% и 8,5% соответственно, по сравнению с вариантом без удобрений. Содержание белка также увеличилось на 5,3% в целом растении и на 10% – в листьях. При этом навоз оказал более существенное воздействие на концентрацию азота и белка в растениях и листьях. Твердые органические удобрения больше повлияли на содержание азота в листьях, в то время как жидкие органические удобрения оказали большее влияние на содержание белка в них. Использование биогумуса привело к несколько меньшим значениям азота и белка в растениях и листьях.

Различия в аккумуляции азота и белка в вегетативных органах озимой пшеницы в процессе ее роста и развития, вызванные разным уровнем азотного питания, в конечном счете определили различия в урожайности зерна и содержании белка в зерне (табл. 3).

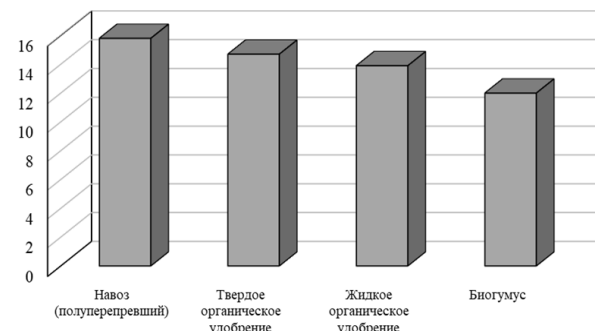
**Таблица 3. Урожайность (т/га) зерна и соломы, содержание азота (%) в зерне и соломе, содержание белка (%) в зерне в фазу полной спелости озимой пшеницы, в среднем за годы исследований**

Органические удобрения	Урожайность зерна		Азот в зерне		Белок в зерне		Урожайность соломы		Азот в соломе	
	т/га	В, %	%	В, %	%	В, %	т/га	В, %	%	В, %
Без удобрений	2,59	19,9	2,44	11,3	13,6	24,3	3,39	18,6	0,40	23,0
Навоз (полуперепревший)	3,00	18,8	2,69	10,9	15,3	23,1	3,80	19,0	0,52	23,9
Сухое органическое удобрение	2,97	17,8	2,58	11,1	14,7	20,2	3,77	18,7	0,47	24,1
Жидкое органическое удобрение	2,95	17,2	2,61	13,1	14,9	23,9	3,75	18,2	0,48	21,7
Биогумус	2,90	18,4	2,48	11,6	14,1	22,9	3,70	17,3	0,44	23,2
<b>В среднем по органическим удобрениям</b>	<b>2,96</b>	<b>18,1</b>	<b>2,59</b>	<b>11,7</b>	<b>14,8</b>	<b>22,5</b>	<b>3,76</b>	<b>18,3</b>	<b>0,48</b>	<b>23,2</b>
НСР <sub>05</sub>	0,12	—	0,09	—	—	—	0,10	—	0,05	—

В среднем за годы исследований урожайность озимой пшеницы на опытных участках, где не использовали удобрения, достигала 2,59 т/га. Применение органических удобрений привело к заметному повышению агрономической эффективности в отношении урожайности по сравнению с вариантом без удобрений. В частности, внесение навоза способствовало увеличению урожайности на 15,8%, использование твердого органического удобрения – на 14,7%,

жидкого органического удобрения – на 14%, а биогумуса – на 12% (рис. 1).

Наибольшая урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за период исследований была зафиксирована при использовании навоза и составила 3,00 т/га, что превосходит показатели неудобренного участка на 0,41 т/га.



**Рис. 1. Агрономическая эффективность применения органических удобрений при возделывании озимой пшеницы на зерно, относительно варианта без удобрений, %**

Анализируя содержание азота в зерне, отмечали его максимальное значение при применении навоза. В сравнении с вариантом без удобрений прирост составил 0,25%, а с твердым, жидким органическими удобрениями и биогумусом – на 0,11, 0,08 и 0,21% соответственно.

В рамках научно-исследовательского эксперимента солома подвергалась измельчению и оставалась на поле для естественного разложения, что обусловило необходимость определения содержания азота в пожнивных остатках. Содержание азота в соломе в среднем по вариантам с удобрениями превышало его содержание в варианте без удобрений на 0,08%. Наибольшее содержание азота в соломе также было отмечено в варианте с внесением навоза.

**Таблица 4. Вынос азота (кг/га) с урожаем, соломой и зерном озимой пшеницы, в среднем за годы исследований**

Органическое удобрение	Вынос азота с урожаем, кг/га	Вынос азота соломой, кг/га	Вынос азота зерном, кг/га
Без удобрений	65,03	10,69	54,34
Навоз (полуперепревший)	85,49	16,09	69,40
Твердое органическое удобрение	80,30	14,41	65,89
Жидкое органическое удобрение	80,83	14,61	66,22
Биогумус	75,02	13,17	61,85
<b>В среднем по удобрениям</b>	<b>77,33</b>	<b>13,79</b>	<b>63,54</b>

Максимальную концентрацию белка в зерне 15,3% наблюдали при использовании навоза. Применение твердых органических удобрений

повлекло за собой уменьшение этого показателя на 0,6%, жидких – на 0,4%, а биогумуса – на 1,2%. В сравнении с вариантом без внесения удобрений повышение средних показателей в вариантах с удобрениями составило 1,2%.

Наибольший вынос азота с урожаем озимой пшеницы наблюдали при использовании навоза – 85,49 кг/га, превышая показатели варианта без удобрений на 20,46 кг/га (табл. 4). Внесение твердых и жидких органических удобрений, а также биогумуса, привело к снижению потребления азота растениями по сравнению с использованием навоза на 6,1, 5,5 и 12,2% соответственно. Применение твердых и жидких органических удобрений обеспечило близкие значения выноса азота с урожаем, соломой и зерном.

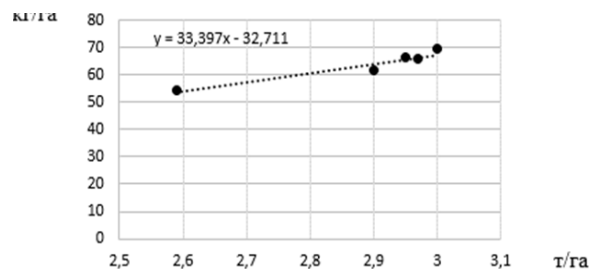
После оценки таких параметров, как вынос азота урожаем, соломой и зерном, необходимо было изучить такие показатели, как вынос азота, содержащегося в белке урожая, соломы и зерна (табл. 5).

**Таблица 5. Вынос азота (кг/га) с белком урожая, зерна и соломы озимой пшеницы, в среднем за годы исследований**

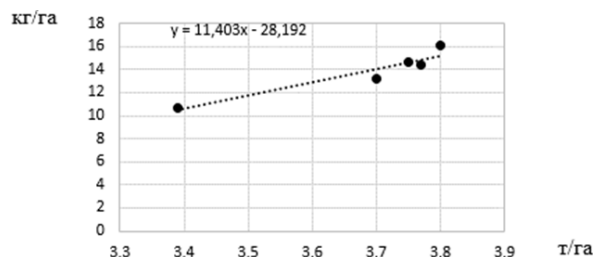
Органическое удобрение	Вынос азота с белком урожая, кг/га	Вынос азота с белком соломы, кг/га	Вынос азота с белком зерна, кг/га
Без удобрений	7,60	1,25	6,35
Навоз (полуперепревший)	11,27	2,12	9,15
Твердое органическое удобрение	10,15	1,82	8,33
Жидкое органическое удобрение	10,35	1,87	8,48
Биогумус	9,11	1,60	7,51
<b>В среднем по удобрениям</b>	<b>10,22</b>	<b>1,85</b>	<b>8,37</b>

Наибольший вынос азота, связанного с белком в урожае озимой пшеницы, отмечался при использовании навоза – 11,27 кг/га. Это значение превышает показатель контрольного варианта, где удобрения не применяли, на 3,67 кг/га. В сравнении с навозом применение других органических удобрений снижало вынос азота с белком урожая: при использовании твердых и жидких органических удобрений снижение составило 10,0 и 8,2% соответственно, а при использовании биогумуса – 19,2%. Схожая тенденция, хотя и в несколько иных процентных соотношениях, наблюдалась и для показателей выноса азота с белком в соломе и зерне.

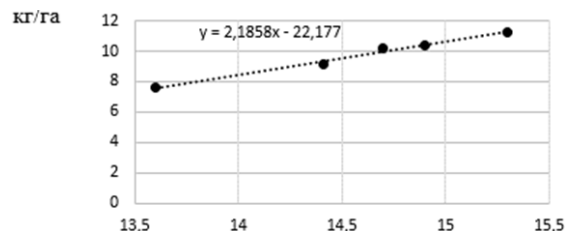
Для оценки взаимосвязи между изучаемыми параметрами были рассчитаны коэффициенты корреляции, определена степень зависимости и построены уравнения регрессии (рис. 2-4).



**Рис. 2. Уравнение регрессии по признаку: урожайность зерна (т/га) – вынос азота с зерном (кг/га)**



**Рис. 3. Уравнение регрессии по признаку: урожайность соломы (т/га) – вынос азота с соломой (кг/га)**



**Рис. 4. Уравнение регрессии по признаку: содержание белка в зерне (%) – вынос азота с белком урожая (кг/га)**

Изучение взаимосвязи между урожайностью зерна озимой пшеницы и выносом азота зерном показало наличие линейной зависимости. Установлена сильная положительная корреляция между этими показателями ( $r = 0,96$ ). Аналогичная прямая положительная связь отмечена между урожайностью соломы и количеством азота, вынесенного с соломой ( $r = 0,94$ ). Корреляция между процентным содержанием белка в зерне и выносом азота, связанного с белком зерна, составила  $r = 0,99$ , что свидетельствует о ее сильной и прямой степени зависимости.

#### Обсуждение

Многолетние результаты исследований в значительной степени подтверждаются выводами других ученых относительно влияния различных органических удобрений на увеличение урожайности и улучшения качественных характеристик сельскохозяйственных культур, на поддержание и восстановление почвенного плодородия [1, 14, 15]. Многочисленные исследования показывают тесную взаимосвязь между плодородием почвы, применением удобрений, показателями урожайности и совокупным объемом сельскохозяйственного производства. Это подчеркивает значимость разработки и внедрения новых удобрений в аграрную отрасль [5, 16, 17].

Рациональный подход к разработке системы применения органических удобрений обеспечивает сбалансированное питание растений и минимизирует негативные последствия, связанные с недостатком или избытком определенных элементов [8, 9].

Между содержанием азота в вегетативных частях растений пшеницы в определенные фазы роста и развития и в полученном урожае установлена тесная корреляционная зависимость, позволяющая прогнозировать не только количество, но и качество урожая по содержанию азота в растении, а также степень нуждаемости пшеницы в азотном питании [17, 18].

Правильное применение органических удобрений благоприятно сказывается на качестве растительной продукции: улучшается химический состав, питательная ценность и технологические ее характеристики. Качество сельскохозяйственной продукции по сбалансированности макро- и микроэлементов в значительной мере отражает условия выращивания растений [8, 14].

Азот поглощается корневой системой из почвы и удобрений и включается в метаболические процессы, обеспечивая формирование необходимой вегетативной массы растений. При этом накапливается значительное количество ассимилянтов, в результате чего повышаются урожайность и белковость продукции [6, 15].

Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью процессов его трансформации в почве, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и физиолого-метаболическими процессами в растениях. Аммиачные формы почвенного азота способствуют большему использованию растениями запасов почвенного азота, чем нитратные. На черноземах высокая белковость зерна получается за счет большей мобилизации запасов почвенного азота [6, 18]. Применение органических удобрений – обязательное условие существенного улучшения питательного режима чернозема типичного.

Полученный теоретический и практический опыт, свидетельствует о реальной возможности целенаправленного регулирования условий минерального питания растений с применением новых органических удобрений для получения продукции заданного количества и качественного состава.

#### **Заключение**

Многолетние исследования показали, что применение органических удобрений значительно увеличивало концентрацию минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы. Это, в свою очередь, положительно сказалось на урожайности и содержании белка в зерне озимой пшеницы. Применение полуперепревшего навоза способствовало увеличению запасов нитратного и аммонийного азота в почве.

Обоснована важность использования органических удобрений в сельском хозяйстве для обеспечения полевых культур необходимыми элементами

питания на протяжении всей их вегетации. Даже при достаточном начальном содержании азота в почве применение различных органических удобрений оказывало положительное, хотя и неодинаковое, воздействие на азотный режим почвы.

Наибольшие результаты по урожайности (3,0 т/га) были получены при применении навоза в дозе 30 т/га, что на 0,41 т/га выше по сравнению с вариантом без удобрений. Применение органических удобрений заметно повышало агрономическую эффективность по урожайности при сравнении с контролем. В частности, применение навоза увеличивало урожайность зерна озимой пшеницы на 15,8%, твердого органического удобрения – на 14,7%, жидкого органического удобрения – на 14%, а биогумуса – на 12%.

Наибольший вынос азота с белком урожая озимой пшеницы получен на варианте с применением навоза – 11,27 кг/га. Этот показатель на 3,67 кг/га выше, чем на варианте без удобрений. В отличие от навоза использование других органических удобрений приводило к уменьшению выноса азота с белком урожая: применение твердых и жидких органических удобрений снижало этот показатель на 10,0 и 8,2% соответственно, а биогумуса – на 19,2%. Аналогичная зависимость выявлена при выносе азота с белком соломы и зерном при наиболее высоком содержании белка в зерне (15,3%).

Коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии показали тесную положительную связь между урожайностью зерна и выносом азота с зерном ( $r = 0,96$ ), урожайностью соломы и выносом азота с соломой ( $r = 0,94$ ), содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна ( $r = 0,99$ ). Все зависимости являются сильными и прямыми.

#### **Литература**

1. Новоселов С. И., Комелин А. М., Новоселов И. А. Влияние жидких органических удобрений на урожайность озимой пшеницы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 106-108.
2. Симашева А. О., Пойменов А. С. Влияние удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2024. № 1(41). С. 63-66.
3. Поддержание и сохранение почвенного плодородия в условиях органического земледелия / И. Я. Пигорев, Н. В. Беседин, И. В. Ишков и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 7-14.
4. Hatfield J., Beres B. L. Yield Gaps in Wheat: Path to Enhancing Productivity // Frontiers in Plant Science. 2019. No. 10. P. 1603
5. Комелин А. М., Новоселов С. И. Влияние способов внесения жидкого органического удобрения на основе свиного навоза на урожайность

и химический состав зерна озимой пшеницы // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 2(25). С. 41-45.

6. Салтыкова О. Л., Зудилин С. Н. Возделывание озимой пшеницы для получения зерна высокой белковости в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 3-9.

7. Сагабиев А. А., Симашева А. О. Озимая пшеница – стратегическая культура России // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК. Материалы Международной научной конференции. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2023. С. 327.

8. Влияние органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения на свойства почвы и урожайность озимой пшеницы в Среднем Поволжье / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, А. Е. Яшин и др. // Агрохимия. 2022. № 2. С. 13-21.

9. Morris R. A. Organic farming prospects compared with conventional farming // Phosphorus in Agr. 1996. P. 36-82.

10. Обущенко С. В., Троц В. Б. Обеспеченность почв Самарской области элементами минерального питания растений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1(63). С. 8-11.

11. Салтыкова О. Л., Бакаева Н. П. Элементы структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от гидротермического коэффициента и способов основной обработки почвы при многолетних исследованиях // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1(65). С. 39-46.

12. Бакаева Н. П. Удобрения – мощный фактор увеличения урожайности и белковости зерна в агротехнологии озимой пшеницы // Биотехнологии и инновации в агробизнесе: материалы конференции. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. С. 107-110.

13. Нуров Р. Р., Аманов К. Я. Влияние экологически чистого органо-минерального удобрения на плодородие почвы // Плодородие. 2021. №6. С. 29-33.

14. Бузетти К. Д., Иванов М. В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека // Аграрная наука. 2020. № 338 (Б). С. 80-84.

15. Brouder S. M., Macpherson H. G. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence // Agriculture, ecosystems and environment. 2014. Vol. 187. P. 11-32.

16. Длительное применение удобрений, плодородие чернозема обыкновенного и динамика урожайности озимой пшеницы / Н. Г. Малюга, С. И. Баршадская, А. А. Романенко и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. № 19. С. 63-69.

17. Морозова Т. С., Лицуков С. Д., Ширяев А. В. Содержание и вынос элементов питания растениями озимой пшеницы в зависимости от применения

удобрений // Вестник аграрной науки. 2021. № 2(89). С. 40-49.

18. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars, in relation to estimated moisture supply / L. F. Gauer, C. A. Grant, D. T. Gehe, et al. // Canadian Journal of Plant Science. 1992. Vol. 72. P. 235-241.

#### References

1. Novoselov S. I., Komelin A. M., Novoselov I. A. The effect of liquid organic fertilizers on winter wheat yields // Current Issues in improving agricultural production and processing technologies. 2021. No. 23. P. 106-108.

2. Simasheva A. O., Poimenov A. S. The effect of fertilizers on winter wheat yield and quality" // Innovations in the Agro-Industrial Complex: Problems and Prospects. 2024. No. 1(41). P. 63-66.

3. Maintenance and preservation of soil fertility under organic farming conditions / I. Ya. Pigorev, N. V. Besedin, I. V. Ishkov, et al. // Vestnik of the Kursk State Agricultural Academy. 2018. No. 9. P. 7-14.

4. Hatfield J., Beres B. L. Yield Gaps in Wheat: Path to Enhancing Productivity // Frontiers in Plant Science. 2019. No. 10. p. 1603

5. Komelin A. M., Novoselov S. I. Effect of methods of applying liquid organic fertilizer based on pig manure on the yield and chemical composition of winter wheat grain // Vestnik of the Chuvash State Agrarian University. 2023. No. 2 (25). P. 41-45.

6. Saltykova O. L., Zudilin S. N. Cultivation of winter wheat to obtain high-protein grain in the Middle Volga region // Vestnik of the Samara State Agricultural Academy. 2020. No. 1. P. 3-9.

7. Sagabiev A. A., Simasheva A. O. Winter wheat is a strategic crop of Russia // Gorinsky Readings. Innovative Solutions for the AIC. Proceedings of the International Scientific Conference. 2023. p. 327.

8. The influence of organic, organomineral and mineral fertilization systems on soil properties and winter wheat yield in the Middle Volga region / A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, A. E. Yashin, et al. // Agrochemistry. 2022. No. 2. P. 13-21.

9. Morris R. A. Organic farming prospects compared with conventional farming // Phosphorus in Agr. 1996. P. 36-82.

10. Obushchenko S. V., Trots V. B. Provision of soils of the Samara region with elements of mineral nutrition of plants // Vestnik of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 1 (63). P. 8-11.

11. Saltykova O. L., Bakaeva N. P. Elements of the yield structure of winter wheat depending on the hydrothermal coefficient and methods of primary tillage in long-term studies // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 1 (65). P. 39-46.

12. Bakaeva N. P. Fertilizers are a powerful factor in increasing grain yield and protein content in winter wheat agrotechnology // Biotechnology and innovation in agribusiness: conference proceedings. Maysky:



Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, 2018. P. 107-110.

13. Nurov R. R., Amanov K. Ya. The influence of environmentally friendly organomineral fertilizer on soil fertility // Soil fertility. 2021. No. 6. P. 29-33.

14. Buzetti K. D., Ivanov M. V. The impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, quality of agricultural products and human health // Agrarian science. 2020. No. 338 (B). P. 80-84.

15. Brouder S. M., Macpherson H. G. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence // Agriculture, ecosystems and environment. 2014. Vol. 187. P. 11-32.

16. Long-term application of fertilizers, fertility of typical black soil and the dynamics of winter wheat yield

/ N. G. Malyuga, S. I. Barshadskaya, A. A. Romanenko, et al. // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2009. No. 19. P. 63-69.

17. Morozova T. S., Litsukov S. D., Shiryaev A. V. The content and removal of nutrients by winter wheat plants depending on the use of fertilizers // Vestnik of Agrarian Science. 2021. No. 2 (89). P. 40-49.

18. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars, in relation to estimated moisture supply / L. F. Gauer, C. A. Grant, D. T. Gehe, et al. // Canadian Journal of Plant Science. 1992. Vol. 72. P. 235-241.

### Цеолитсодержащие удобрения для озимой пшеницы: экономическая целесообразность и агроэнергетическая оценка

Е. С. Волкова✉, кандидат сельскохозяйственных наук

А. Х. Куликова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

Е. А. Яшин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, химия, биология и технологии переработки продукции растениеводства»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, бульвар Новый Венец, 1

✉volkova-ivinaelena@yandex.ru

**Резюме.** Работа выполнена на базе опытного поля Ульяновского государственного аграрного университета. Цель исследований - комплексная оценка экономической целесообразности и агроэнергетической эффективности применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы. Исследования проведены в двухфакторном полевом опыте, который включал следующие варианты: контроль-цеолит в дозах 250 кг/га и 500 кг/га в чистом виде, цеолит, обогащенный аминокислотами и карбамидом в тех же концентрациях как на естественном, так и на минеральном фоне. Почва опытного участка представляет собой чернозем типичный среднесуглинистый с высоким содержанием подвижного фосфора и калия и нейтральной реакцией почвенного раствора. Испытания проводили на посевах сорта озимой пшеницы «Саратовская 17». Экономический анализ технологий возделывания озимой пшеницы опирался на принятые в производственных условиях опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ нормативы и расценки. Стоимость полученной продукции рассчитывали на основе рыночных цен реализации, актуальных на 2023 г. Экономические расчеты базировались на данных, представленных в технологических картах. Результаты анализа экономической эффективности подтвердили целесообразность применения удобрений на основе цеолита. Наиболее высокая рентабельность производства (45% и 46%) зафиксирована на вариантах с использованием цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами в дозе 250 кг/га. Система удобрения, основанная исключительно на минеральных удобрениях, продемонстрировала более низкий уровень рентабельности (41%). На минеральном фоне максимальный экономический эффект также был достигнут при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га), обеспечив рентабельность на уровне 48%. Применение цеолита, обогащенного аминокислотами (в дозе 250 кг/га), в технологии возделывания озимой пшеницы обеспечивает более высокую агроэнергетическую эффективность. Данный эффект наблюдается как на естественном агрофоне, так и на фоне минеральных удобрений, с коэффициентами агроэнергетической эффективности, составляющими 3,03 и 3,07 соответственно.

**Ключевые слова:** цеолитсодержащие удобрения, озимая пшеница, урожайность, экономическая и агроэнергетическая эффективность

**Для цитирования:** Волкова Е. С., Куликова А. Х., Яшин Е. А. Цеолитсодержащие удобрения для озимой пшеницы: экономическая целесообразность и агроэнергетическая оценка // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 70-76. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-70-76

### Zeolite-containing fertilizers for winter wheat: economic feasibility and agroenergy assessment

E. S. Volkova✉, A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Novyi Venets Boulevard, 1

✉volkova-ivinaelena@yandex.ru

**Abstract.** The study was conducted on the experimental field of Ulyanovsk State Agrarian University. The objective of the study was to comprehensively assess the economic feasibility and agroenergy efficiency of using zeolite-containing fertilizers in winter wheat cultivation. The study was conducted in a two-factor field experiment, which included the following variants: control, pure zeolite at doses of 250 kg/ha and 500 kg/ha, and zeolite enriched with amino acids and urea at the same concentrations, both in natural and mineral environments. The soil of the experimental plot is a typical medium-deep, medium-loamy black soil with a high content of available phosphorus and potassium and a neutral soil solution reaction. The tests were conducted on "Saratovskaya 17" winter wheat variety. The economic analysis of winter wheat cultivation technologies was based on the standards and prices adopted for the production conditions of the Ulyanovsk State Agricultural University experimental field. The cost of the resulting product was calculated based on market prices valid for 2023. Economic calculations were based on data presented in the process maps. The results of the cost-effectiveness analysis confirmed the feasibility of using zeolite-based fertilizers. The highest production profitability (45% and 46%) was recorded for the variants using zeolite enriched with urea and amino acids at a dose of 250 kg/ha. A fertilization system based solely on mineral fertilizers demonstrated a lower profitability rate (41%). Against a mineral background, the

maximum economic effect was also achieved with the use of zeolite enriched with amino acids (250 kg/ha), providing a profitability of 48%. The usage of zeolite enriched with amino acids (at a dose of 250 kg/ha) in winter wheat cultivation technology provides higher agroenergy efficiency. This effect is observed both against a natural agricultural background and against a background of mineral fertilizers, with agroenergy efficiency coefficients of 3.03 and 3.07, respectively.

**Keywords:** zeolite-containing fertilizers, winter wheat, yield, economic and agroenergy efficiency.

**For citation:** Volkova E. S., Kulikova A. Kh., Yashin E. A. Zeolite-containing fertilizers for winter wheat: economic feasibility and agroenergy assessment // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 70-76 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-70-76

### Введение

Оценка экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью прогнозирования устойчивости функционирования предприятий, производящих сельскохозяйственную продукцию [1]. Чтобы выдерживать конкуренцию, и просто выжить в условиях экономических санкций, необходимо производить продукцию с высокими показателями качества и минимальными затратами на её производство. Последнее особенно актуально для технологий с использованием минеральных удобрений в связи с постоянным удорожанием их стоимости, что приводит к увеличению затрат на их внесение. И несмотря на значительное повышение урожайности культур, производство продукции их становится убыточным.

В условиях современного ведения аграрного бизнеса особое внимание уделяется разработке и внедрению экологически безопасных и экономически эффективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур [2-6]. Озимая пшеница – одна из важнейших продовольственных культур, требует оптимизации систем удобрения для обеспечения стабильных и высоких урожаев с улучшенными качественными показателями зерна [7, 8, 9]. В этой связи актуальным направлением являются изучение и применение альтернативных видов удобрений, способных повысить эффективность использования питательных веществ и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Природные цеолиты, благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, таким как высокая катионообменная способность и пористая структура, представляют собой перспективный материал для создания удобрений пролонгированного действия [10-12]. Обогащение цеолитов карбамидом и аминокислотами позволяет повысить их агрономическую ценность и улучшить доступность питательных элементов для растений [13].

Цель исследования – комплексная оценка экономической целесообразности и агроэнергетической эффективности применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы, которая позволит объективно определить преимущества и недостатки применения данных удобрений, обосновать оптимальные дозы и схемы внесения, выбрать экономически выгодные и экологически обоснованные варианты интенсификации производства зерновых культур.

### Материалы и методы

Работа выполнена на базе опытного поля Ульяновского государственного аграрного университета в 2021-2023 гг. Исследования проведены в двухфакторном полевом опыте. Схема опыта представлена в таблице 1.

**Таблица 1. Схема опыта возделывания озимой пшеницы**

№ п/п	Естественный фон	№ п/п	Минеральный фон
1.1	Без удобрений (Ф1)	2.1	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (Ф2)
1.2	Цеолит, 250кг/га (Ф1+Ц1)	2.2	Цеолит, 250кг/га (Ф2+Ц1)
1.3	Цеолит, 500кг/га (Ф1+Ц2)	2.3	Цеолит, 500кг/га (Ф2+Ц2)
1.4	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га (Ф1+ЦК1)	2.4	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га (Ф2+ЦК1)
1.5	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га (Ф1+ЦК2)	2.5	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га (Ф2+ЦК2)
1.6	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га (Ф1+ЦА1)	2.6	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га (Ф2+ЦА1)
1.7	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (Ф1+ЦА2)	2.7	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (Ф2+ЦА2)

Почва опытного участка представляет собой чернозем типичный среднемощный среднесуглинистый с высоким содержанием подвижного фосфора и калия и нейтральной реакцией почвенного раствора. Испытания проводились на посевах сорта озимой пшеницы «Саратовская 17».

Опыт проводили в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. Посевная площадь делянки 120 м<sup>2</sup> (6×20), учетная – 72 м<sup>2</sup> (4×18).

Технология возделывания озимой пшеницы основывалась на общепринятых в Ульяновской области агротехнических приемах. Экспериментальные удобрения вносили вручную под культивацию перед посевом озимой пшеницы.

Экономический анализ технологий возделывания озимой пшеницы опирался на принятые в производственных условиях опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ нормативы и расценки. Стоимость полученной продукции рассчитывалась на основе рыночных цен реализации, актуальных на 2023 г. Экономические расчеты базировались на данных, представленных в технологических картах.

Энергетическую оценку эффективности проводили по методике Е.И. Базарова и др. (Базарова Е.И., Глинка Е.В. Методика биоэнергетической

#### 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

оценки технологий производства продукции растениеводства, Москва. 1983. 31 с.).

Результаты исследований статистически обрабатывали методами дисперсионного (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований: учебник / М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.) и корреляционно-регрессионного анализов с использованием программ MS Excel 2019 и Statistik C-1.

##### Результаты

Климатические условия лесостепи Среднего Поволжья в благоприятные годы позволяют формировать высокую урожайность озимой пшеницы, которая без применения удобрений составляет 5...6 т/га. Этому способствуют хорошая перезимовка, оптимальная влагообеспеченность и благоприятный температурный режим вегетации, а также высокая обеспеченность почвы доступными соединениями элементов питания.

Если рассматривать урожайность по годам исследования, то очевидна достаточно высокая вариабельность в показателях.

В таблице 2 приведены усредненные данные и показан прирост урожайности от применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы в годы исследования.

На участках с естественным плодородием средняя урожайность озимой пшеницы составила 4,26 т/га. Применение цеолитсодержащих удобрений продемонстрировало положительное влияние на урожайность, увеличив ее на 5,1...20,7% (0,22...0,88 т/га) в зависимости от модификации. Наиболее выраженный стимулирующий эффект был отмечен при внесении цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га.

Аналогичная тенденция наблюдалась и на минеральном агрофоне, где максимальная

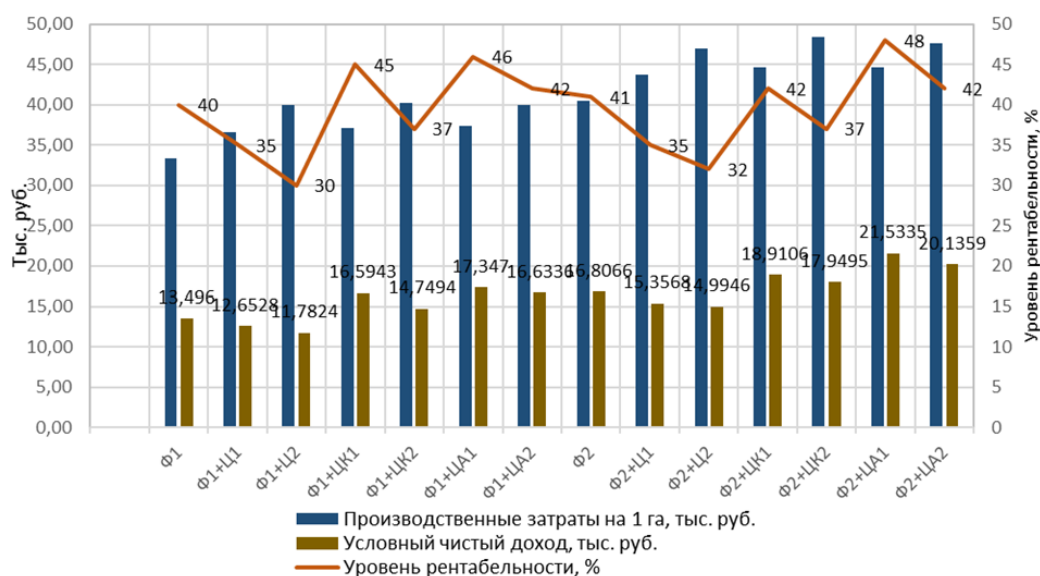
прибавка урожайности также была зафиксирована при использовании цеолита с аминокислотами (500 кг/га) и составила 6,16 т/га, что превосходит урожайность на минеральном фоне без цеолита на 0,95 т/га. Средняя урожайность по естественному агрофону составила 4,77 т/га, а при внесении минеральных удобрений – 5,75 т/га.

**Таблица 2. Прирост урожайности от применения цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы (среднее за 2021-2023 гг.)**

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка к фону, т/га	Стоимость прибавки, руб.
<b>Естественный фон (Ф1)</b>			
<b>Ф1</b>	4,26	-	-
Ф1+Ц1	4,48	0,22	2420
Ф1+Ц2	4,70	0,44	4840
Ф1+ЦК1	4,88	0,62	6820
Ф1+ЦК2	5,00	0,74	8140
Ф1+ЦА1	4,98	0,72	7920
Ф1+ЦА2	5,14	0,88	9680
<b>Минеральный фон (Ф2)</b>			
<b>Ф2</b>	5,21	-	-
Ф2+Ц1	5,37	0,16	1760
Ф2+Ц2	5,64	0,43	4730
Ф2+ЦК1	5,78	0,57	6270
Ф2+ЦК2	6,04	0,83	9130
Ф2+ЦА1	6,02	0,81	8910
Ф2+ЦА2	6,16	0,95	10450

Высокая эффективность удобрений наблюдается на обоих видах фона, однако минеральный фон демонстрирует более выраженную реакцию на дополнительное питание растений.

Эффективность производства сельскохозяйственной продукции, в частности озимой пшеницы, во многом определяется производственными затратами (рис. 1)



**Рис. 1. Экономическая эффективность цеолитсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы (2021-2023 гг.)**

Затраты на производство зерна озимой пшеницы на контрольном варианте составили 33364,0 руб./га в то время, как внесение минеральных удобрений увеличило этот показатель до 40503,4 руб./га. Одним из ключевых факторов, обуславливающих повышение производственных затрат, являлась высокая стоимость минеральных удобрений. Наибольшие затраты, зафиксированные на уровне 48490,5 и 47624,1 руб./га, наблюдали на вариантах с применением цеолита, модифицированного аминокислотами и карбамидом, на минеральном фоне в дозе 500 кг/га.

Однако, увеличение производственных затрат при использовании цеолита (как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом) на естественном и минеральном фоне было обусловлено не только расходами на приобретение удобрений, но и существенным приростом урожайности. В случаях, когда стоимость дополнительно полученного урожая компенсировала возрастающие затраты, это приводило к увеличению дохода и, как следствие, рентабельности производства. В противном случае, когда стоимость прибавки урожая не перекрывала увеличение производственных затрат, наблюдали повышение себестоимости продукции, снижение прибыли и уменьшение рентабельности. Данная тенденция четко прослеживается на вариантах с применением цеолита в чистом виде. Так, прибавка урожая в диапазоне 0,22...0,44 т/га не компенсировала затраты, увеличившиеся на 3263,2...6553,6 руб./га, что приводило к снижению условно чистого дохода на 843,2...1713,6 рубля.

Условный чистый доход на контрольном варианте (без применения удобрений) составлял 13496 руб./га. При внесении цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, данный показатель возрастал до 14749,4...17347,0 руб. в зависимости от дозы внесения. Максимальный доход на минеральном фоне был получен при использовании системы удобрения с применением цеолита, обогащенного аминокислотами, в дозе 250 кг/га и составил 21533,5 руб.

Проведенный анализ экономической эффективности возделывания озимой пшеницы с применением удобрений на основе цеолита показал, что наиболее высокую рентабельность производства демонстрируют варианты с использованием в качестве удобрения цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, в дозе 250 кг/га с уровнем рентабельности 45 и 46% (на контроле 40%). Система удобрения, основанная исключительно на минеральных удобрениях, показала меньшую рентабельность (41%). На фоне минеральных удобрений лучший экономический эффект также был получен при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га), где рентабельность составила 48%.

Оценка энергетической эффективности исследуемых систем удобрений была проведена путем сопоставления энергозатрат на производство зерна

озимой пшеницы и количества энергии, полученной с урожаем основной продукции. Расчеты показали, что энергозатраты на возделывание озимой пшеницы по изучаемым технологиям существенно различаются.

Несмотря на различия в энергозатратах, понесенные затраты энергии на производство зерна полностью окупались выходом валовой энергии на всех опытных вариантах, однако, энергетическая эффективность их варьировала (рис. 2).



**Рис. 2. Агроэнергетическая оценка технологии возделывания озимой пшеницы с использованием цеолитосодержащих удобрений**

В условиях естественного агрофона диапазон варьирования затрат совокупной энергии составил от 24,07 ГДж/га на контрольном варианте до 29,04 ГДж/га при использовании цеолитосодержащего удобрения с карбамидом, в дозе 500 кг/га. Интеграция минеральных удобрений в технологию возделывания привела к увеличению уровня энергозатрат до 29,22...34,99 ГДж/га, что на 20...21% превышает соответствующие показатели, зафиксированные на однотипных вариантах с естественным агрофоном.

Биоэнергетическая эффективность агротехнологий возделывания озимой пшеницы определяется не только величиной совокупных энергетических затрат, но и количеством энергии, аккумулированной в продукции. Согласно полученным данным, этот показатель варьировал от 70,08 ГДж/га на контрольном варианте до 101,33 ГДж/га при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га, и напрямую зависел от урожайности основной продукции озимой пшеницы.

Важнейшим критерием оценки энергетической эффективности является агроэнергетический коэффициент, представляющий собой отношение аккумулированной энергии в основной продукции к величине затраченной энергии (рис. 3).

Наибольший агроэнергетический коэффициент как на естественном, так и на минеральном фоне зафиксирован при использовании цеолита, модифицированного аминокислотами (250 кг/га), и составил 3,03 и 3,07 соответственно, указывая на оптимальное соотношение энергозатрат.

Наименьшая энергетическая эффективность наблюдалась на вариантах с применением цеолита

в дозе 500 кг/га как на естественном, так и на минеральном фоне в системе удобрения.



**Рис. 3. Коэффициент агроэнергетической эффективности технологии возделывания озимой пшеницы с использованием цеолитсодержащих удобрений**

#### Обсуждение

Ключевой задачей современного растениеводства является повышение урожайности сельскохозяйственных культур и увеличение общего объема производства продукции при одновременном снижении трудовых и финансовых затрат. Себестоимость производимой продукции является определяющим фактором, влияющим на конечный результат деятельности сельскохозяйственного предприятия. Увеличение разницы между себестоимостью и рыночной ценой реализации продукции напрямую определяет увеличение уровня рентабельности и прибыли предприятия [14, 15].

В работах Е. В. Безручко, А. Н. Арефьева Дегтяревой И.А. и других ученых были сделаны выводы о положительном влиянии кремнийсодержащих материалов, в том числе и цеолита, на урожайность сельскохозяйственных культур [3, 5, 10]. Это подтверждается и нашими исследованиями. Внесение в почву цеолитсодержащих удобрений увеличивало урожайность зерна до 21% на естественном фоне и до 18% – на фоне минеральных удобрений.

Многочисленные исследования подтверждают, что применение наиболее энергоэффективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и рациональный подход к использованию удобрений способствуют повышению целесообразности производства растениеводческой продукции [16-19].

В работе В. И. Нечаева и Я. Е. Давыдовой изложены методологические подходы биоэнергетической оценки и экономической эффективности агротехнических приёмов в растениеводстве, которые полностью согласуются с результатами наших исследований [20].

Применение цеолитсодержащих удобрений в агротехнологиях возделывания озимой пшеницы демонстрирует экономическую целесообразность.

При биоэнергетической оценке агротехнологий критически важно учитывать энергетический контекст почвы как ключевого фактора, способного оказывать существенное влияние на функционирование

агроэкосистемы в целом. Полученные данные подтверждают эффективность использования цеолитсодержащих удобрений в условиях как естественного, так и минерального агрофона, что указывает на их адаптивность к различным типам почв и системам земледелия.

#### Заключение

Оценка экономической эффективности применения цеолитсодержащих удобрений показала, что их использование при возделывании озимой пшеницы является экономически обоснованным. Данный агроприем способствует повышению рентабельности на 6...8% в сравнении с контрольным значением.

Анализ агроэнергетической оценки показал, что более энергетически эффективными при возделывании озимой пшеницы как на естественном, так и на минеральном фоне являлись технологии с применением цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га (коэффициенты агроэнергетической эффективности – 3,03 и 3,07 соответственно).

Применение цеолитсодержащих удобрений в технологии возделывания озимой пшеницы целесообразно с экономической и агроэнергетической точек зрения.

#### Литература

- Кузьменко О. В., Чумакова Н. В., Панасюк А. С. Формирование стратегии устойчивого развития сельскохозяйственного предприятия // Международный научный журнал. 2024. № 1(94). С. 28-38. doi: 10.34286/1995-4638-2024-94-1-28-38.
- Склярова Г. Ф. Цеолиты - нетрадиционный многоцелевой вид агрохимического сырья на территории Дальнего Востока // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 5. С. 36-44. doi: 10.21440/0536-1028-2021-5-36-44.
- Безручко Е. В. Кремний – недооцененный элемент питания растений // Земледелие. 2020. № 4. С. 40-46. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10411
- Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) / В. В. Матыченков, Е. А. Бочарникова, Г. В. Пироговская и др. // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 1 (68). С. 219-234. doi: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234
- Арефьев А. Н., Кузин Е. Н., Ильина Г. В. Последствие осадков сточных вод г. Пензы и природного цеолита на урожайность и качество растениеводческой продукции // Нива Поволжья. 2020. № 1(54). С. 61-66. doi: 10.36461/NP.2020.54.1.010.
- Тойгильдин, А. Л., Ермолаева Г. В., Никифорова С. А. Эффективность биологизированной технологии возделывания озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20, № 2(78). С. 50-56. doi: 10.12737/2073-0462-2025-50-56.
- Петров Л. К., Ивенин В. В., Ивенин А. В. Формирование урожайности сортов озимой пшеницы в зависимости от технологии их возделывания



в Нижегородской области // Аграрный научный журнал. 2024. № 10. С. 67-71. doi: 10.28983/asj.y2024i10pp67-71.

8. Артемьев А. А., Хвостов Е. Н. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы на фоне разных доз удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(67). С. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-6-12.

9. Курбанов С. А., Магомедова Д. С. Влияние доз минеральных удобрений и приемов основной обработки почвы на урожайность зерна озимой пшеницы // Плодородие. 2023. № 4(133). С. 22-25. doi: 10.25680/S19948603.2023.133.05.

10. Дегтярева И. А., Кириллова Н. И. Сравнительная оценка действия различных биоудобрений в комплексе с цеолитом на продуктивность и микробиоценоз гречихи // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4(76). С. 34-40. doi: 10.12737/2073-0462-2024-34-40. EDN HHNUAD.

11. Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety / Mondal M. Biswas B., Garai S. et al. // Agronomy. 2021. №11. P. 448. doi: 10.3390/AGRONOMY11030448

12. Агрохимические свойства серой лесной почвы и структура урожая зерновых культур под действием кремнийсодержащего органоминерального удобрения / Р. Р. Газизов, Р. Р. Сафина, Л. З. Каримова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 4(76). С. 18-25. doi: 10.12737/2073-0462-2024-18-25.

13. The yield formation of winter wheat under the influence of fertilization systems using two field experiments as an example / A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova, E. A. Yashin et al. // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, 03–05 июля 2023 года. Vol. 71. Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. P. 1053. doi: 10.1051/bioconf/20237101053.

14. Рыкова И. Н., Юрьева А. А., Морина В. А. Оценка себестоимости и рентабельности производства пшеницы в Российской Федерации // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8 (135). С. 87-103.

15. Мурзова О. В. Экономическая оценка применения удобрений при возделывании пленчатого и голозерного овса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 72-76.

16. Садовой А. С., Барановский А. В. Биоэнергетическая оценка применения регуляторов роста растений на посевах проса в условиях Донбасса // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 63-67. doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-63-67.

17. Нахаев М. Р., Астарханов И. Р., Муртазова Х. М. С. Биоэнергетическая оценка выращивания зерновых культур на склоновых ландшафтах Чеченской Республики // Проблемы развития АПК региона. 2023. № 2(54). С. 80-84. doi: 10.52671/20790996\_2023\_2\_80.

18. Никульчев К. А. Экономическая эффективность применения почвенного гербицида в посевах зерновых культур // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 2. С. 63-67. doi: 10.32651/242-63.

19. Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы в условиях Центральночерноземного региона / И. И. Гуреев, А. В. Гостев, В. А. Лукьянов и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 9. С. 36-41. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_9\_36.

20. Нечаев В. И., Давыдова Я. Е. Методологические подходы к биоэнергетической оценке и эколого-экономической эффективности агротехнических приемов в растениеводстве: отдельные аспекты // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 7. С. 24-33. doi: 10.32651/217-24.

## References

1. Kuzmenko O. V., Chumakova N. V., Panasyuk A. S. Formation of a sustainable development strategy for an agricultural enterprise // International Scientific Journal. 2024. No. 1(94). P. 28-38. doi: 10.34286/1995-4638-2024-94-1-28-38.

2. Sklyarova G. F. Zeolites - an unconventional multipurpose type of agrochemical raw materials in the Far East // News of higher educational institutions. Mining journal. 2021. No. 5. P. 36-44. doi: 10.21440/0536-1028-2021-5-36-44.

3. Bezruchko E. V. Silicon - an underestimated plant nutrition element // Agriculture. 2020. No. 4. P. 40-46. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10411

4. Prospects for usage of silicon preparations in agriculture (a review of the scientific literature) / V. V. Matychenkov, E. A. Bocharnikova, G. V. Pirogovskaya, et al. // Soil Science and Agrochemistry. 2022. No. 1 (68). P. 219-234. doi: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-219-234

5. Arefyev A. N., Kuzin E. N., Ilyina G. V. Aftereffect of Penza wastewater sludge and natural zeolite on the yield and quality of crop products // Niva Povolzhya. 2020. No. 1 (54). P. 61-66. doi: 10.36461/NP.2020.54.1.010.

6. Toygildin, A. L., Ermolaeva G. V., Nikiforova S. A. Efficiency of biologized technology for winter wheat cultivation in the forest-steppe zone of the Middle Volga region // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2025. Vol. 20, No. 2(78). P. 50-56. doi: 10.12737/2073-0462-2025-50-56.

7. Petrov L. K., Ivenin V. V., Ivenin A. V. Formation of the yield of winter wheat varieties depending on the technology of their cultivation in the Nizhny Novgorod region // Agrarian scientific journal. 2024. No. 10. P. 67-71. doi: 10.28983/asj.y2024i10pp67-71.

8. Artemyev A. A., Khvostov E. N. Yield and quality of winter wheat grain at different doses of fertilizers // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 3(67). P. 6-12. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-6-12.

9. Kurbanov S. A., Magomedova D. S. Influence of doses of mineral fertilizers and primary tillage techniques on the grain yield of winter wheat // Soil fertility.

2023. No. 4(133). P. 22-25. doi: 10.25680/S19948603.2023.133.05.

10. Degtyareva I., Kirillova N. Comparative evaluation of the effect of various biofertilizers in complex with zeolite on productivity and microbiocenosis of buckwheat // *Vestnik of Kazan state agrarian university*. 2024. Vol. 19. No. 4(76). P. 34-40. doi: 10.12737/2073-0462-2024-34-40. EDN HHNUAD.

11. Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety / Mondal M. Bi Swas B., Garai S. et al. // *Agronomy*. 2021. No. 11. P. 448. doi: 10.3390/AGRONOMY11030448

12. Agrochemical properties of gray forest soil and the yield structure of grain crops under the influence of silicon-containing organomineral fertilizer / R. R. Gazizov, R. R. Safina, L. Z. Karimova, et al. // *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024. Vol. 19, No. 4(76). P. 18-25. doi: 10.12737/2073-0462-2024-18-25.

13. The yield formation of winter wheat under the influence of fertilization systems using two field experiments as an example / A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova, E. A. Yashin et al. // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, July 3–5, 2023. Vol. 71. Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. P. 1053. doi: 10.1051/bio-conf/20237101053.

14. Rykova I. N., Yuryeva A. A., Morina V. A. Assessment of the cost and profitability of wheat production in the Russian Federation // *Vestnik of NGIEI*. 2022. No. 8 (135). P. 87-103.

15. Murzova O. V. Economic assessment of usage of fertilizers in cultivation of film-coated and naked oats on sod-podzolic light loamy soil // *Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022. No. 4. P. 72-76.

16. Sadovoy A. S., Baranovsky A. V. Bioenergetic assessment of the use of plant growth regulators on millet crops in the Donbass // *Grain Economy of Russia*. 2021. No. 1 (73). P. 63-67. doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-63-67.

17. Nakhaev M. R., Astarkhanov I. R., Murtazova H. M. S. Bioenergetic assessment of growing grain crops on sloping landscapes of the Chechen Republic // *Problems of development of the regional agro-industrial complex*. 2023. No. 2 (54). P. 80-84. doi: 10.52671/20790996\_2023\_2\_80.

18. Nikulchev K. A. Economic efficiency of using soil herbicide in grain crops // *Economics of agriculture of Russia*. 2024. No. 2. P. 63-67. doi: 10.32651/242-63.

19. The impact of agrotechnical practices on the productivity of winter wheat in the Central Black Soil Region / I. I. Gureev, A. V. Gostev, V. A. Lukyanov, et al. // *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2024. Vol. 38, No. 9. P. 36-41. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_9\_36

20. V. I. Nechaev, Ya. E. Davydova. Methodological approaches to bioenergetic assessment and ecological and economic efficiency of agrotechnical practices in crop production: selected aspects // *Agricultural Economics of Russia*. 2021. No. 7. P. 24-33. doi: 10.32651/217-24



**Влияние агрофизических свойств субстрата на урожайность томата в условиях шестой световой зоны**

**М. В. Селиванова**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой «Садоводство и переработка растительного сырья им. профессора Н.М. Куренного»

**А. Н. Есаулко**, доктор сельскохозяйственных наук, директор института агробиологии и природных ресурсов

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ

355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12

✉seliwanowa86@mail.ru

**Резюме.** Исследования были реализованы в зимней теплице IV поколения, расположенной в шестой световой зоне. Материалом для анализа свойств субстрата и урожайности томата послужили данные учетов, проведенных в динамике в период зимне-весенних оборотов 2021–2023 гг. Использование субстратов в течение вегетационного периода томата приводило к снижению их удельной массы, которая была меньше 0,5 г/см<sup>3</sup>, что характеризует низкие трудозатраты при подготовке и дальнейшем использовании субстратов. В течение вегетации томата объемная масса субстратов изменялась: субстратов на основе «торф + перлит» и лузги подсолнечника снижалась, минеральной ваты и кокосового волокна – увеличивалась. Наименьшая полная влагоемкость среди анализируемых субстратов была получена у кокосового волокна – в среднем в 1,8 раза меньше, чем у минеральной ваты при наибольшем значении в опыте в 79,5%. Наиболее оптимальные свойства кокосового субстрата способствовали получению максимальной урожайности томата в опыте – в среднем больше на 1,0...4,7 кг/м<sup>2</sup> относительно других субстратов, что является статистически значимо. Минеральная вата и кокосовый субстрат благодаря своим оптимальным свойствам и стабильному составу остаются наиболее популярными в крупных тепличных хозяйствах при выращивании томата и огурца, однако применение минеральной ваты находит большую практику использования в связи с ее высокой доступностью и наличием отечественного производства. При меньшей урожайности на субстрате из лузги подсолнечника он может найти применение в небольших фермерских теплицах с целью снижения затрат на закупку субстрата.

**Ключевые слова:** томат, защищенный грунт, субстрат, агрофизическое свойство, урожайность, гибрид.

**Для цитирования:** Селиванова М. В., Есаулко А. Н. Влияние агрофизических свойств субстрата на урожайность томата в условиях шестой световой зоны // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 77–82. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-77-82

**The influence of the agrophysical properties of the substrate on tomato yield in the conditions of the sixth light zone**

**M. V. Selivanova**<sup>✉</sup>, **A. N. Yesaulko**

Stavropol State Agrarian University

355017, Stavropol, lane Zootechnical, 12

✉seliwanowa86@mail.ru

**Abstract.** The research was carried out in a fourth-generation winter greenhouse located in the sixth light zone. The data from the calculations carried out in dynamics during the winter-spring turnover period of 2021–2023 served as a material for analyzing the properties of the substrate and tomato yield. As a result of the research, it was found that the use of substrates during the tomato growing season led to a decrease in their specific gravity, which was less than 0.5 g/cm<sup>3</sup>, which characterizes low labor costs during the preparation and further use of substrates. During the growing season, the volume mass of the substrates changed: peat + perlite-based substrates and sunflower husks decreased, while mineral wool and coconut fiber increased. The lowest total moisture capacity among the analyzed substrates was obtained for coconut fiber, which is on average 1.8 times less than that of mineral wool, with the highest value in the experiment being 79.5%. The most optimal properties of the coconut substrate contributed to obtaining the maximum yield of tomatoes in the experiment – an average increase of 1.0–4.7 kg/m<sup>2</sup> relative to other substrates, which is statistically significant. Mineral wool and coconut substrate, due to their optimal properties and stable composition, remain the most popular in large greenhouses for growing tomatoes and cucumbers, however, the use of mineral wool is widely used due to its high availability and availability of domestic production. With lower yields on sunflower husk substrate, it can be used in small farm greenhouses in order to reduce the cost of purchasing the substrate.

**Keywords:** tomato, protected soil, substrate, agrophysical property, yield, hybrid.

**For citation:** Selivanova M. V., Yesaulko A. N. The influence of the agrophysical properties of the substrate on tomato yield in the conditions of the sixth light zone // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 77–82. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-77-82

### Введение

Тепличное производство в настоящее время во всем мире считается динамично развивающимся направлением сельского хозяйства [1]. Выращивание овощных культур и зелени в теплицах в межсезонный период позволяет расширить возможности агротехнических приемов в различных почвенно-климатических условиях и предоставляет населению свежие овощи на протяжении всего года [2, 3].

Современные интенсивные технологии выращивания овощных культур в защищенном грунте, направленные на обеспечение всех потребностей растений в факторах роста и развития, основаны на малообъемном методе [4]. Малообъемная технология представляет собой управляемый процесс с целью создания благоприятных условий для выращиваемой культуры и снижения стрессовых реакций растений в течение вегетационного периода [5, 6]. Использование данной технологии позволяет повысить экономическую эффективность за счет увеличения урожайности овощных культур и рационального использования ресурсов, что включает оптимальное применение воды и удобрений, контроль и рециркуляцию дренажа, биологическую защиту растений от вредных объектов, и как результат способствует получению экологически безопасной продукции с высокими вкусовыми качествами [7].

К важному аспекту малообъемной технологии относится субстрат, который является средой для интенсивного развития корневой системы растений, предоставляя необходимые элементы – воду, воздух и питательные вещества в оптимальных количествах и пропорциях [8]. Универсальный субстрат, обеспечивающий высокую продуктивность культуры, среди существующих выделить трудно. В настоящее время существует широкий ассортимент субстратов органического и неорганического происхождения со специфическими физическими и химическими свойствами, необходимыми для успешного выращивания конкретных культур. Одними из основных критериев при использовании любого субстрата считаются его доступность, срок использования без ухудшения качества, возможность утилизации и экономическая эффективность [9, 10].

При выращивании в ограниченном пространстве субстрата условия для растений становятся значительно более строгими в сравнении с традиционной агротехникой открытого грунта, где корневая система

свободно развивается в неограниченном объеме почвы [11]. Поэтому следует учитывать физико-химические показатели субстратов, включая влагоемкость, плотность, порозность, химический состав, что в совокупности создает водно-воздушный режим [12, 13]. Совокупность агрохимических и водно-физических характеристик субстрата влияет на степень развития и общий объем корневой системы растений, в том числе на доступность питательных веществ и воздуха. Формирование корневой системы тепличных культур находится в прямой зависимости от агрофизических и агрохимических показателей субстрата, которые как следствие оказывают влияние на рост и развитие растения, и как итог урожайность культуры [14].

Цель исследований – изучение свойств субстратов в течение технологии выращивания томата в условиях защищенного грунта и оценка их влияния на урожайность культуры.

### Материалы и методы

Материалом для анализа свойств субстрата и урожайности послужили данные учетов, проведенных в период зимне-весенних оборотов томата в 2021-2023 гг. Опыт был реализован в зимней теплице IV поколения, расположенной в шестой световой зоне. Агротехника томата была традиционная для данного агроклиматического района и типа теплицы. Рассаду томата на всех вариантах опыта выращивали в минераловатных кубиках и дополнительно досвечивали натриевыми лампами.

Свойства субстрата изучали в течение вегетационного периода томата. Опыт был двухфакторный: А – субстрат, В – дата учета свойств субстрата. В качестве исследуемых субстратов применяли минеральную вату, кокосовое волокно, смесь торфа и перлита, и новый субстрат на основе лузги подсолнечника. Субстрат, сочетающий лузгу подсолнечника и дополнительные биокomпоненты, был разработан для выращивания овощных культур малообъемным методом [15]. Характеристики субстратов определяли при посадке рассады на маты, в начале плодоношения культуры и по завершении оборота. Изучение свойств субстратов осуществили на томате Мерлис F1. Урожайность томата в зависимости от применяемого субстрата определяли на гибридах Мерлис F1 и Максеза F1. Схема минерального питания томата была одинаковой на всех вариантах опыта (по Г.М. Кравцовой) (табл. 1).

**Таблица 1. Схема минерального питания томата, мг/л**

Период развития	N <sub>нитр.</sub>	K	Ca	Mg	P	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu
Запитка субстрата	225	215	270	80	40	120	2,0	0,55	0,3	0,35	0,06
Стартовый раствор (рассада – до цветения 1-й кисти)	220	260	220	60	40	120	1,5	0,55	0,3	0,35	0,06
До начала цветения 3-й кисти	200	280	220	60	40	120	2,0	1,0	0,3	0,35	0,06
Цветение 3-5-й кистей	200	320	200	60	40	120	1,2	0,55	0,3	0,35	0,06
Цветение 5-й кисти и до конца оборота	200	300	190	60	40	120	1,2	0,55	0,3	0,35	0,06

Учет изменения агрофизических свойств субстрата в течение оборота томата проводили по общепринятым методикам. Общую урожайность томата за оборот определяли весовым методом суммарно за все сборы в течение вегетации культуры.

#### Результаты

Исследования свойств субстратов проводили при выращивании томата Мерлис F1, так как генотипические особенности не оказывали существенного влияния на свойства субстрата. При сравнительном анализе данных минимальные значения удельной массы субстрата при выращивании культуры были у лузги подсолнечника. Удельная масса смеси «торф + перлит» была максимальной в опыте – в среднем  $0,357 \text{ г/см}^3$ , разница относительно минеральной ваты, кокосового волокна и лузги подсолнечника была  $0,062...0,169 \text{ г/см}^3$  (табл. 2).

**Таблица 2. Изменение удельной массы субстрата при выращивании томата,  $\text{г/см}^3$**

Субстрат (фактор А)	Период учета (фактор В)			В, $\text{HCP}_{05} = 0,0171$
	посадка рассады	начало плодоношения томата	в конце оборота	
Минеральная вата (контроль)	0,301	0,295	0,288	0,295
Торф + перлит	0,433	0,331	0,306	0,357
Лузга подсолнечника	0,228	0,182	0,155	0,188
Кокосовое волокно	0,342	0,271	0,218	0,277
А, $\text{HCP}_{05} = 0,0135$	0,326	0,270	0,242	$\text{HCP}_{05} = 0,0302$

Использование субстратов в течение зимне-весеннего оборота томата приводило к снижению удельной массы: к началу плодоношения культуры относительно исходных данных на 17,2% в среднем по субстратам, в конце оборота по сравнению с предыдущей датой учета – на 10,4%. В целом при завершении оборота удельная масса субстратов была меньше по сравнению с исходными данными на 4,3...36,3%.

Анализ объемной массы субстратов показал, что минеральная вата среди изучаемых субстратов имела наименьшие значения, что делает ее самым легким субстратом и упрощает процесс транспортировки. Кокосовое волокно характеризовалось в опыте максимальным объемным весом, показатель был существенно больше чем у минеральной ваты на  $0,05 \text{ г/см}^2$  в среднем по опыту. Объемная масса смеси «торфа + перлита» в среднем за вегетационный период была меньше кокосового волокна на  $0,05 \text{ г/см}^3$ . Объемная масса субстрата из лузги подсолнечника была меньше чем у кокосового волокна и смеси «торф + перлит» в среднем по опыту на  $0,035$  и  $0,012 \text{ г/см}^3$  соответственно и больше чем в контроле на  $0,015 \text{ г/см}^3$  (табл. 3).

В течение оборота томата объемная масса субстратов изменялась: при использовании субстратов на основе «торф + перлит» и лузги подсолнечника

показатель существенно снижался относительно предыдущих значений на 9,5...19,3%, минеральной ваты и кокосового волокна – увеличивался не существенно на 0,8...3,9%.

**Таблица 3. Изменение объемной массы субстрата при выращивании томата,  $\text{г/см}^3$**

Субстрат (фактор А)	Период учета (фактор В)			В, $\text{HCP}_{05} = 0,0079$
	посадка рассады	начало плодоношения томата	в конце оборота	
Минеральная вата (контроль)	0,077	0,080	0,082	0,08
Торф + перлит	0,125	0,109	0,088	0,107
Лузга подсолнечника	0,105	0,095	0,085	0,095
Кокосовое волокно	0,128	0,129	0,132	0,13
А, $\text{HCP}_{05} = 0,0041$	0,109	0,103	0,097	$\text{HCP}_{05} = 0,0118$

При оценке водного режима и водно-физических свойств субстрата используют показатель влагоемкости, на который оказывает влияние фракционный состав субстрата – соотношение крупной и мелкой части. Влагоемкость субстрата связана с его пористостью.

Наибольшие значения полной влагоемкости в среднем по опыту были отмечены у минеральной ваты – 79,5%, разница относительно других субстратов составила 13,9...34,2%. Наименьшая полная влагоемкость среди анализируемых субстратов была получена у кокосового волокна. При выращивании томата на минеральной вате, кокосовом волокне и лузге подсолнечника к концу оборота полная влагоемкость снижалась относительно начального уровня на 4,2...8,7%, на смеси торфа с перлитом увеличивалась на 7,5%. Наибольшее снижение полной влагоемкости было отмечено при применении субстрата из лузги подсолнечника (табл. 4).

**Таблица 4. Изменение полной влагоемкости при выращивании томата, %**

Субстрат (фактор А)	Период учета (фактор В)			В, $\text{HCP}_{05} = 4,15$
	посадка рассады	начало плодоношения томата	в конце оборота	
Минеральная вата (контроль)	81,3	80,2	77,1	79,5
Торф + перлит	61,7	65,8	69,2	65,6
Лузга подсолнечника	53,8	48,8	45,1	49,2
Кокосовое волокно	48,1	45,3	42,6	45,3
А, $\text{HCP}_{05} = 2,31$	61,2	60,0	58,5	$\text{HCP}_{05} = 6,42$

Исследованиями установлено, что максимальную урожайность томата в опыте обеспечивало применение кокосового волокна – в среднем по опыту больше на  $1,0...4,7 \text{ кг/м}^2$  относительно других субстратов, что является статистически значимо. Урожайность томата при применении смеси торфа

и перлита и субстрата из лузги подсолнечника оказалась меньше минеральной ваты на 2,2 и 3,7 кг/м<sup>2</sup> соответственно. На варианте с лузгой подсолнечника урожайность в среднем по гибридам была наименьшей в опыте и существенно уступала минеральной вате – разница была на уровне 3,7 кг/м<sup>2</sup> (табл. 5).

**Таблица 5. Влияние субстрата на урожайность томата, кг/м<sup>2</sup>**

Субстрат, А	Гибрид, В		В, НСР <sub>0,05</sub> = 0,95
	Мерлис F1	Максеза F1	
Минеральная вата (контроль)	20,4	19,9	20,2
Торф + перлит	18,2	17,8	18,0
Лузга подсолнечника	16,8	16,2	16,5
Кокосовое волокно	21,7	20,7	21,2
А, НСР <sub>0,05</sub> = 0,43	19,3	18,7	НСР <sub>0,05</sub> = 1,34

Сравнительный анализ урожайности различных гибридов томата показал, что полученные данные Мерлис F1 превосходили Максеза F1 в среднем на 0,5 кг/м<sup>2</sup>.

#### Обсуждение

Субстрат оказывает влияние на рост развитие корневой системы растений в течение всей вегетации томата. В связи с интенсивным использованием субстрата в тепличном овощеводстве, связанным с многократными поливами и ростом корневой системы, его свойства с течением времени изменяются. Стабильность свойств любого субстрата зависит от его состава, происхождения и качества производства [7].

Для создания оптимального водно-воздушного режима и обеспечения свободного перемещения воды и воздуха субстрат должен характеризоваться высокой влаго- и воздухопроницаемостью, низкой химической активностью, отсутствием вредных примесей, небольшим объемным весом, а также возможностью поддерживать подходящий уровень кислотности и необходимых питательных веществ в корневой зоне [16]. К основным физическим свойствам субстрата относятся общая пористость, удельная и объемная масса, а также наименьшая влагоемкость.

Каждый субстрат по аналогии с почвой имеет определённый удельный и объемный вес. Удельный вес субстрата обуславливает его долговечность и способность сохранять структуру при запитке, в течение интенсивного использования в период выращивания культуры и при изменяющихся температурных режимах в теплице [17]. Согласно полученным данным, удельный вес изучаемых субстратов был меньше 0,5 г/см<sup>3</sup>, что характеризует низкие трудозатраты при их подготовке и дальнейшем использовании.

Объемная масса субстрата представляет собой массу абсолютно сухого вещества в единице объема неизмененного состава. На объемную массу субстратов, как и при анализе грунтов, оказывают влияние

особенности составляющих компонентов (минералы, органика), общее количество и характеристика пор.

Согласно полученным данным, минеральная вата и кокосовое волокно характеризовались стабильностью состава в период использования. Устойчивость минеральной ваты обусловлена свойствами и расположением волокон: большинство современных субстратов из минеральной ваты имеют хаотичное расположение волокон, что сохраняет ее прочность и устойчивость к усадке и позволяет использовать повторно. Кокосовый субстрат состоит из нескольких типов фракций (пыль, волокно, чипсы) в различном соотношении, что также способствует сохранению стабильных характеристик.

Снижение объемной массы субстратов на основе «торф + перлит» и лузги подсолнечника свидетельствует о разложении органики субстратов и последующем их уплотнении, что может негативно сказываться на доступе воздуха при развитии корневой системы растений.

Влагоемкость – важный агрофизический показатель субстрата, от которого зависит аэрация корневой системы и поглощение элементов питания растением. Способность субстрата удерживать влагу обусловлена его происхождением и фракционным составом [18]. Полная влагоемкость кокосового субстрата в опыте была минимальная – в среднем в 1,8 раза меньше чем у минеральной ваты при её максимальном значении в опыте.

Определяющим этапом оценки качества любого субстрата является изучение продуктивности растений. Комплекс свойств субстрата при оптимальном поливе питательным раствором оказывает влияние на усвоение растениями элементов питания, устойчивость растений к болезням и в результате на урожайность культуры.

Наиболее оптимальные свойства кокосового субстрата способствовали получению наибольшей урожайности томата в опыте – в среднем на 5,0% больше чем на минеральной вате. Данные субстраты благодаря своим благоприятным свойствам и стабильному составу остаются наиболее популярными в крупных тепличных хозяйствах при выращивании томата и огурца. При меньшей урожайности на субстрате из лузги подсолнечника он может найти применение в небольших фермерских теплицах с целью снижения затрат на закупку субстрата.

#### Заключение

Субстрат в малообъемной технологии играет важную роль, его физико-химические свойства оказывают значительное влияние на формирование корневой системы и получение высоких урожаев овощных культур в условиях защищенного грунта.

В течение выращивания тепличной культуры свойства субстрата изменяются, что связано с многократными поливами и ростом корневой системы растений. Удельная и объемная масса, а также полная влагоемкость изучаемых субстратов снижалась в течение вегетационного периода томата.

Максимальные значения удельной массы отмечены у смеси торф с перлитом, объемной массы – у кокосового волокна, полной влагоемкости – у минеральной ваты. Анализ свойств субстратов в сравнении показал получение наиболее низкой удельной массы у лузги подсолнечника – разница относительно других субстратов в среднем была 0,089...0,169 г/см<sup>3</sup>. Среди исследуемых вариантов минимальными значениями объемной массы выделилась минеральная вата, полной влагоемкости – кокосовое волокно.

Наиболее оптимальные свойства кокосового субстрата способствовали получению максимальной урожайности томата в опыте – в среднем больше на 1,0...4,7 кг/м<sup>2</sup> относительно других субстратов, что является статистически значимо. Урожайность томата на минеральной вате также имела преимущество по сравнению субстратами на основе торфа и лузги подсолнечника. Минеральная вата и кокосовый субстрат благодаря своим оптимальным свойствам и стабильному составу остаются наиболее популярными в крупных тепличных хозяйствах при выращивании томата и огурца, однако применение минеральной ваты находит большую практику использования в связи с ее высокой доступностью и наличием отечественного производства. При меньшей урожайности на субстрате из лузги подсолнечника он может найти применение в небольших фермерских теплицах с целью снижения затрат на закупку субстрата.

#### Литература

1. Мамедов М. И. Структура и площади защищенного грунта в мире и глобальная тепличная технология: будущее производства продуктов питания // Овощи России. 2015. № 3-4(28-29). С. 64-69.
2. Кунгс Я. А., Угренинов И. А. Состояние тепличного овощеводства. Основные тенденции развития // Вестник КрасГАУ. 2014. № 6(93). С. 257-260.
3. Патракова С. С. Проблемы развития овощеводства защищенного грунта на Европейском Севере России // Научный вестник Южного института менеджмента. 2019. № 2(26). С. 78-83. doi: 10.31775/2305-3100-2019-2-78-83
4. Веремейчик Л. А. особенности применения химических удобрений для питания томатов в малообъемной культуре // Почвоведение и агрохимия. 2020. № 2(65). С. 164-170.
5. Ерошевская А. С. Проявление селекционных признаков томата на разных типах малообъемной технологии // Овощи России. 2023. № 4. С. 43-48. doi: 10.18619/2072-9146-2023-4-43-48
6. Reshma T., Sarath P.S. Standardization of Growing Media for the Hydroponic Cultivation of Tomato // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. No. 6(7). P. 626-631. doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.076
7. Влияние субстратов из древесных опилок и риковой шелухи на урожайность томатов Lilos F1 / Г. Е. Дямуршаева, Э. Б. Дямуршаева, Г. З. Сауытбаева и др. // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 30-34.
8. Чечеткина Н. В., Гурская Т. А. Подбор субстратов для малообъемного способа выращивания культуры огурца в условиях защищенного грунта // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2016. № 22(27). С. 9-11.
9. Gruda N. Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2009. Vol. 82. P.141-147.
10. Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу / Е. В. Робонен, М. И. Зайцева, Н.П. Чернобровкина и др. // Resources and Technology. 2015. № 12(1). С. 47-76. doi: 10.15393/j2.art.2015. 3081
11. Водно-физические свойства субстратов на основе торфа и компостированных отходов активного ила Архангельского целлюлозно-бумажного комбината / Е. Н. Наквасина, М. В. Никитина, С. В. Коптев и др. // Успехи современного естествознания. 2023. № 2. С. 13-17. doi: 10.17513/use.37992.
12. Наквасина Е. Н., Коптев С. В., Никитина М. В. Субстраты на основе торфа и компостированного активного ила Архангельского целлюлозно-бумажного комбината для выращивания посадочного материала хвойных пород // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2024. Т. 28. № 3. С. 67-77. doi: 10.18698/2542-1468-2024-3-67-77
13. Благородова Е. Н., Лысенко А. А. Влияние субстрата на формирование урожая томата в продленном обороте зимних теплиц // Аграрная наука – сельскому хозяйству: Сб. матер. XVII Междунар. науч.-практ. конфер. В 2-х книгах, Барнаул, 09–10 февраля 2022 года. Том Книга 1. Барнаул: Алтайский ГАУ, 2022. С. 189-191.
14. Патент № 2614780 С Российская Федерация, МПК А01G 9/00, А01G 1/00, А01C 1/00. Способ производства субстратных блоков для выращивания овощей защищенного грунта: № 2015142266: заявл. 05.10.2015: опубл. 29.03.2017 / А. Н. Есаулко, Е. А. Седых, М. В. Селиванова и др.; заявитель ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет».
15. Сафонова Е. В. Виды субстратов для овощей в защищенном грунте // Инновационная наука. 2015. № 7-2(7). С. 38-42.
16. Методика оптимизации состава почвогрунтов при выращивании саженцев с закрытой корневой системой. Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2018. 32 с.
17. Куропатина Н. Д. Субстраты для тепличных хозяйств: качество и эффективность // Гавриш. 2010. № 6. С. 18-22.

**References**

1. Mammadov M. I. The structure and areas of protected soil in the world and global greenhouse technology: the future of food production // *Vegetables of Russia*. 2015. No. 3-4(28-29). P. 64-69.
2. Kungs Ya. A., Ugreninov I. A. The state of greenhouse vegetable growing. Main development trends // *Bulletin of KrasGAU*. 2014. No. 6(93). P. 257-260.
3. Patrakova S. S. Problems of development of protected soil vegetable growing in the European North of Russia // *Scientific Bulletin of the Southern Institute of Management*. 2019. No. 2(26). P. 78-83. doi: 10.31775/2305-3100-2019-2-78-83.
4. Veremeychik L. A. features of the use of chemical fertilizers for tomato nutrition in low-volume crops // *Soil science and agrochemistry*. 2020. No. 2(65). P. 164-170.
5. Eroshevskaya A. S. The manifestation of tomato breeding characteristics on different types of low-volume technology // *Vegetables of Russia*. 2023. No. 4. P. 43-48. doi: 10.18619/2072-9146-2023-4-43-48.
6. Reshma T., Sarath P.S. Standardization of Growing Media for the Hydroponic Cultivation of Tomato // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. No. 6(7). P. 626-631. doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.076.
7. The influence of sawdust and rice husk substrates on the yield of Lilos F1 tomatoes / G. E. Dyamurshayeva, E. B. Dyamurshayeva, G. Z. Sauytbayeva, R. I. Kudiyarov // *Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products*. 2021. No. 23. P. 30-34.
9. Chechetkina N. V., Gurskaya T. A. Selection of substrates for a low-volume method of growing cucumber culture in protected soil conditions // *Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University*. 2016. No. 22(27). P. 9-11.
10. Gruda N. Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables // *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2009. Vol.82. P.141-147.
11. Experience in the development and use of container substrates for forest nurseries. Alternatives to peat / E. V. Robonen, M. I. Zaitseva, N.P. Chernobrovkina and others // *Resources and Technology*. 2015. No. 12(1). P. 47-76. doi: 10.15393/j2.art.2015. 3081.
12. Water-physical properties of peat-based substrates and composted activated sludge waste from the Arkhangelsk pulp and paper Mill / E. N. Nakvasina, M. V. Nikitina, S. V. Koptev [et al.] // *Successes of modern Natural Science*. 2023. No. 2. P. 13-17. doi: 10.17513/use.37992.
13. Nakvasina E. N., Koptev S. V., Nikitina M. V. Substrates based on peat and composted activated sludge of the Arkhangelsk pulp and paper mill for growing coniferous planting material. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin*. 2024. Vol. 28, No. 3. P. 67-77. doi: 10.18698/2542-1468-2024-3-67-77.
14. Noborova E. N., Lysenko A. A. The influence of substrate on the formation of tomato yield in the extended turnover of winter greenhouses // *Agrarian science – agriculture: Collection of materials. XVII International Scientific and Practical Conference In 2 books, Barnaul, February 09-10, 2022. Volume 1. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2022. P. 189-191.*
15. Patent No. 2614780 C Russian Federation, IPC A01G 9/00, A01G 1/00, A01C 1/00. Method of production of substrate blocks for growing vegetables in protected soil: No. 2015142266: application 05.10.2015: published 29.03.2017 / A. N. Yesaulko, E. A. Sedykh, M. V. Selivanova et al.; applicant Stavropol State Agrarian University.
16. Safonova E. V. Types of substrates for vegetables in protected soil / E. V. Safonova // *Innovative science*. 2015. No. 7-2(7). P. 38-42.
17. Methodology for optimizing the composition of soils when growing seedlings with a closed root system. - Ekaterinburg: Federal State Budgetary Scientific Institution "Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", 2018. 32 p.
18. Kuropatina N. D. Substrates for greenhouses: quality and efficiency // *Gavrish*. 2010. No. 6. P. 18-22.

**Оценка агрохимических и эколого-токсикологических показателей неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв****В. В. Чичигинаров**✉, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агрономия и химия»**И. И. Петрова**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Агрономия и химия»

Арктический государственный агротехнологический университет

677008, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское шоссе, 3

✉ vasyachich@yandex.ru

**Резюме.** Цель исследования – агрохимическая и эколого-токсикологическая оценка показателей мерзлотных почв неиспользуемых пашен Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Якутии. Проведено комплексное исследование почв на земельном участке, включающее почвенные, агрохимические и эколого-токсикологические характеристики. В основу исследования положены материалы агрохимических обследований мерзлотных почв пахотных угодий ООО «Сана олох» (2024 г.). Анализ образцов почв показал мерзлотные палево-слабоосолодые почвы. Почвенный разрез № 1 и № 7 (далее – ПР) характеризуется очень низким содержанием органических веществ, не превышающим 2,0%. По показателю реакции почвенной среды (рН обменной кислотности), отобранные с верхнего гумусового и иллювиально-карбонатного горизонта (ПР № 1), относятся к близкой нейтральной от 5,8 до 6,5 рН, остальные нижележащие горизонты относятся к слабощелочным 7,9...8,0 рН. В горизонтах Апах, А1пах (ПР № 2) верхние горизонты слабокислые – 5,1 рН, элювиальный горизонт А2 близок к нейтральной – 6,3 рН, ниже по профилю горизонты слабощелочные – 7,9 рН. В почвенном разрезе № 7 верхние горизонты Апах и А1пах близки к нейтральным – 5,8...5,9 рН. Горизонт Вf нейтральный – 7,2 рН. Ниже по профилю слабощелочной – 7,6...7,8 рН. Показатель гидролитической кислотности, по которому определяется потребность в проведении химической мелиорации (известкования), во всех горизонтах почвенных разрезов ПР №№ 1, 2, 7 отмечен как очень низкий (менее 2,0 ммоль/100 г). Величина ёмкости катионного обмена в верхних горизонтах профиля в месте заложения ПР №№ 1, 2, 7 характеризуется низкой (ЕКО <10...15 мг-экв/100 г). Средний показатель ЕКО отмечен в горизонте [Bf-Bca] @ (ПР № 7) – 16,0 мг-экв/100 г и (ПР № 1) в горизонте Bca (Bk) – 20,6 мг-экв/100 г. В остальных горизонтах отмечается очень низкое значение (ЕКО < 10 мг-экв/100 г).

**Ключевые слова:** неиспользуемые пашни, агрохимические, почвенные, мерзлотные почвы, горизонт.

**Для цитирования:** Чичигинаров В. В., Петрова И. И. Оценка агрохимических и эколого-токсикологических показателей неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 83-91. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-83-91

**Assessing the Agrochemical and Eco-Toxicological Parameters of Unused Cropland in Permafrost Soils****V. V. Chichiginarov**✉, **I. I. Petrova**

Arctic State Agrotechnological University

677008, Sakha Republic (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye Shosse, 3

✉ vasyachich@yandex.ru

**Abstract.** The objective of this study was to conduct an agrochemical and eco-toxicological assessment of the permafrost soil parameters of unused cropland in the Arangassky Nasleg of the Megino-Kangalassky Ulus, Yakutia. A comprehensive soil study was conducted on the plot, including soil, agrochemical, and eco-toxicological characteristics. The study is based on agrochemical surveys of permafrost soils on the arable lands of Sana Olokh LLC (2024). Soil sample analysis revealed permafrost-affected, pale-yellow, slightly solodized soils. Soil profiles No. 1 and No. 7 (hereinafter referred to as PR) are characterized by a very low organic matter content, not exceeding 2.0%. According to the soil reaction index (pH of exchangeable acidity), the soils sampled from the upper humus and illuvial-carbonate horizons (PR No. 1) are close to neutral from 5.8 to 6.5 pH, while the remaining underlying horizons are slightly alkaline at 7.9...8.0 pH. In the Apakh and A1pakh horizons (PR No. 2), the upper horizons are slightly acidic—5.1 pH, the eluvial horizon A2 is close to neutral—6.3 pH, and the horizons lower down the profile are slightly alkaline—7.9 pH. In soil profile No. 7, the upper Apakh and A1pakh horizons are close to neutral, with a pH of 5.8–5.9. Horizon Bf is neutral, with a pH of 7.2. Further down the profile, it is slightly alkaline, with a pH of 7.6–7.8. The hydrolytic acidity index, which determines the need for chemical melioration (liming), is very low (less than 2.0 mmol/100 g) in all horizons of soil profiles No.1, 2, and 7. The cation exchange capacity (CEC) in the upper horizons of the profile at the location of soil profiles No. 1, 2, and 7 is low (CEC <10–15 mg-eq/100 g). The average CEC value was 16.0 mg-eq/100 g in the [Bf-Bca] horizon (PR No. 7) and 20.6 mg-eq/100 g in the Bca (Bk) horizon (PR No. 1). Very low values were observed in the remaining horizons (CEC < 10 mg-eq/100 g).

**Keywords:** unused arable land, agrochemical, soil, permafrost soils, horizon.

**For citation:** Chichiginarov V. V., Petrova I. I. Assessing the Agrochemical and Eco-Toxicological Parameters of Unused Cropland in Permafrost Soils // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 83-91 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-83-91

##### Введение

Центральная Якутия – самый развитый центральный сельскохозяйственный район Якутии, где сосредоточены 86,1% сельскохозяйственных угодий, в том числе 86,7% – сенокосов и 83,9% – пастбищ [1]. Характеризуется резко континентальным климатом, где абсолютные годовые колебания температуры воздуха составляют 100...125 °С [2]. Специалисты отмечают свойственность резкой смены погоды по сезонам и холодные, малоснежные продолжительные зимы [3]. Площадь мерзлотных почв на всей территории Якутии составляет около 80% площади.

Центральная Якутия расположена в криолитозоне со своеобразными ландшафтно-климатическими условиями почвообразования, при которых формирование мерзлотных почв происходит в криоаридном климате, преимущественно на рыхлых алювиальных отложениях различного возраста, под лесной и лугово-степной растительностью и сплошном распространении многолетней мерзлоты [4]. Свойства, состав и режимы мерзлотных почв региона обусловлены влиянием криогенных почвообразовательных процессов [4]. Изучению климатических условий Центральной Якутии посвящали свои работы М. К. Гаврилова, А. Г. Емельянова, П. И. Собакин и др., почвы были исследованы Р.В. Десяткиным, С. Н. Лесовой, А.П. Чевычеловым и др.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью точного анализа состояния почвы и выявления её потенциала для дальнейшего сельскохозяйственного освоения территорий с многолетне-мерзлыми грунтами.

Полученные результаты позволят эффективно управлять земельными ресурсами региона, повысить производительность сельхозугодий и выбору оптимальных методов восстановления плодородия мерзлотных почв.

В соответствии с планом проведения почвенных, геоботанических и иных обследований земель сельскохозяйственного назначения, утвержденным ФГБУ «РосАгрохимслужба» в 2024 году, а также государственным заданием на 2024 год от 29 декабря 2023 г. № АР-6144 Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации Якутским филиалом ФГБУ «РосАгрохимслужба» проведено обследование сельскохозяйственных угодий.

Работы выполняли в рамках государственной программы «Государственный учёт показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов» и направлены на проведение почвенного, агрохимического и эколого-токсикологического обследования сельскохозяйственных угодий земель сельскохозяйственного назначения.

Цель исследования – агрохимическая и эколого-токсикологическая оценка показателей мерзлотных почв неиспользуемых пашен Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия).

##### Задачи:

- получение объективных данных о современном состоянии мерзлотных почв исследуемой пашни;
- выявление степени их деградации и возможного негативного влияния экологических факторов;
- оценка состояния плодородия мерзлотных почв неиспользуемой пашни.

Данная информация необходима для выработки обоснованных рекомендаций по возобновлению эффективного использования этих земель в сельскохозяйственном производстве, выбору оптимальных видов возделываемых культур и способов повышения плодородия.

##### Материалы и методы

Исследование проведено в соответствии с научно-методическими рекомендациями по проведению почвенного обследования сельскохозяйственных земель, разработанными Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Росинформагротех» (Голозубов О. М., Наумов В. Д., Некрасов Р. В. и др. *Проведение почвенного обследования сельскохозяйственных земель: Научно-методические рекомендации*. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 188 с.).

Объект исследования: мерзлотные почвы неиспользуемых пашен.

Предмет исследования: агрохимические и эколого-токсикологические показатели неиспользуемых пашен в условиях мерзлотных почв.

На территории Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия) были проведены почвенно-агрохимические исследования на восьми земельных участках общей площадью 251,3 га с кадастровыми номерами: 14:15:000000:4755, 14:15:030002:411, 14:15:030002:170, 14:15:030002:171, 14:15:030002:172, 14:15:030002:173, 14:15:030002:380, 14:15:030002:375, 14:15:030002:379.

В процессе исследования, проводимого в рамках схемы почвенно-экологического и почвенно-сельскохозяйственного районирования, разработанной Почвенным институтом имени В.В. Докучаева, было установлено, что исследуемый участок находится в Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной почвенно-биологической области [1].

Для определения площади земельных участков при отборе образцов грунта применяли программное обеспечение Fields Area Measure PRO [2, 3, 4]. Это позволило реализовать точные и своевременные измерения площадей с возможностью фиксации



данных об измеренных участках под индивидуальными наименованиями.

В соответствии с рекомендациями при проведении почвенного обследования неиспользуемых пахотных земель предусматривалась закладка одного почвенного разреза и от 8 до 10 уточняющих почвенных прикопок и полуям на каждые 80-100 гектаров исследуемой площади (Голозубов О. М., Наумов В. Д., Некрасов Р. В. и др. *Проведение почвенного обследования сельскохозяйственных земель: Научно-методические рекомендации*. М.: ФГБНУ «Росинформазротеx», 2022. 188 с.).

### Результаты

Результаты агрохимических характеристик генетических горизонтов почвенного разреза представлены в таблицах 1, 2, 3, 4.

Обследованные земельные участки относятся к типичным мерзлотным палевым слабоосолодым почвам (ПР № 1, ПР № 2, ПР № 7).

### Морфологическая характеристика и генезис мерзлотных почв

Исследуемая территория расположена в равнинной зоне палевых мерзлотных почв средней тайги Мегино-Кангаласского улуса Центральной Якутии. Территория района охватывает Центрально-Якутскую низменность, по мерзлотно-ландшафтному районированию территория Мегино-Кангаласского улуса находится в пределах двух провинций – Лено-Амгинской аласной и Амгино-Алданской пологоувалистой [5].

Исследованные почвы относятся к IV группе. Эти типы почв встречаются на возвышенных участках пойм таёжных рек и на границах лесных массивов, которые отличаются выраженным микрорельефом.

Почвенный покров представлен мерзлотными палевыми слабоосолодыми почвами. Ряд специалистов доказал обусловленность генетической природы этих почв образующими их элементарными почвенными процессами, протекающими на фоне криогенеза [6].

### Мерзлотные палевые слабоосолодые почвы

Палевые почвы широко распространены в Центральной Якутии [7]. Мерзлотные палевые почвы распространены в наиболее континентальных сухих и холодных районах области (Центрально-Якутская котловина), в зоне средней тайги и в горах Северо-Восточной Сибири. Они формируются в условиях экстраконтинентального семиаридного климата под среднетаёжными листовыми с травяным или кустарничковыми лишайниково-мохово-травяным покровом лесами на древнеаллювиальных лесовидных суглинках и элювии плотных пород [8].

Почвы имеют карбонатно-аккумулятивный горизонт над слоем многолетней мерзлоты. Мерзлотные палевые осолодые почвы отличаются от типичных палевых по строению профиля и свойствам [9].

Особенности формирования палевых почв обусловлены сухостью климата, наличием и в зимний период смыкания сезонной и многолетней мерзлоты [7]. Почвообразование и выветривание в таких условиях

происходит в близких к экстремальным условиям [8]. Лесная подстилка и почвообразующие породы обогащены основаниями. В период сухой весны и первой половины лета образующиеся восходящие токи нейтрализуют кислые продукты. Профиль ненарушенных палевых осолодых почв имеет следующее морфологическое строение:

О — (А<sub>0</sub>) — (А<sub>1</sub>) — А<sub>2</sub> — В — В<sub>са</sub> — В<sub>сса</sub> — С<sub>са</sub>

В профиле палевых осолодых почв под мало-мощной (2–5 см) подстилкой и грубогумусовым горизонтом А<sub>0</sub> иногда выделяется буровато-серый гумусовый горизонт мощностью 5–10 см с непрочной комковатой или листовато-комковатой структурой, под которым расположен элювиальный горизонт А<sub>2</sub> белесовато-пепельного цвета с непрочной чешуйчатой структурой и заметным присутствием мелких железистых конкреций (Наумов В. Д. *География почв. Почвы России. Часть 1: учебник*. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 208 с.).

Под ним залегает иллювиальный горизонт В мощностью 10–20 см коричневатого-бурого цвета, более тяжелого гранулометрического состава, уплотненный, комковато-ореховатой структуры, с заметными тонкими темно-коричневыми пленками по граням структурных отдельностей (Наумов В. Д. *География почв. Почвы России. Часть 1: учебник*. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 208 с.).

Ниже располагается иллювиально-карбонатный горизонт В<sub>са</sub> мощностью 20...30 см, палево-бурого или белесовато-палево-бурого цвета, менее плотный, непрочной мелкокомковатой структуры, пористый, с дисперсными или мицеллярными формами карбонатных новообразований.

Переходный к мерзлой почвообразующей породе горизонт В<sub>сса</sub> светло-бурого цвета характеризуется появлением криогенной плитчато-листоватой структуры. Среднелдистая мерзлота с тонкошлифовыми выделениями льда залегает на глубине 100...150 см.

Из-за распахки верхние, преимущественно гумусово-аккумулятивные горизонты, нарушаются, формируя новое строение профиля.

### Обеспеченность почв азотом

В обеспеченности почв азотом важно приспособление пищевого режима фитоценозов к динамике подвижных форм азота, управление его содержанием в почве во времени за счет биологической инактивации азота [9].

По содержанию почв азотом в верхнем органоминеральном (гумусовом), подпахотном горизонте в местах заложения ПР №№ 1, 2, 7 содержание азота колеблется в пределах от 0,0 до 0,11%, а в нижних горизонтах этот показатель достигает 0,3%. При этом наблюдается снижение содержания азота на 0,03 и 0,04% по мере углубления в профиль (табл. 2-4).

Общая концентрация азота в почвах различных типов варьируется от 0,1 до 0,5%. Однако в более плодородных почвах содержание азота может достигать 2...3% по массе.

**Массовая доля подвижных соединений фосфора**

Одним из лимитирующих факторов в получении высоких урожаев является содержание в почве подвижного фосфора [10].

В горизонтах Апах, А1пах почвенных разрезов № ПР №№ 1, 2, 7 (0...10 см, 10 20 см) содержание подвижного фосфора повышенное - варьирует от 148 до 190 мг/кг. Очень низкие уровни содержания фосфора (<50 мг/кг) фиксируются в следующих горизонтах: Вf и С (табл. 2-4).

Аккумуляция элементов минерального питания растений носит биогенный характер, причем фосфора намного больше, чем калия, что связано с малой растворимостью и слабой подвижностью в профиле большинства почв минеральных соединений фосфора [11].

Преобладание фосфора над содержанием калия в профиле большинства почв обусловлены малой растворимостью и слабой подвижностью его минеральных соединений [12].

**Массовая доля подвижных соединений калия**

Верхние гумусово-аккумулятивные горизонты (ПР № 1, ПР № 7) характеризуются высоким (в интервале от 146 до 246 мг/кг) и повышенным содержанием обменного калия. Вниз по профилю концентрация снижается до низких значений (<70) (табл. 2-4).

**Содержание органического вещества**

Уровень гумусонакопления в мерзлотных палево-слабоосолоделых почвах автономных ландшафтов регулируется их гранулометрическим составом и увеличивается с его утяжелением [12]. В основном преобладает аккумулятивный характер распределения органических веществ [13].

Анализ образцов почв показал, что мерзлотные палево-слабоосолоделые почвы (ПР № 1 и ПР № 7) характеризуются очень низким содержанием органических веществ, не превышающим 2,0%. В горизонте Апах (ПР № 2) отмечается также низкое содержание органического вещества, составляющее 2,1% (табл. 2-4).

**Показатель реакции почвенной среды**

Исследования специалистов показывают слабокислую реакцию мерзлотных палево-почв в гумусовом горизонте, которая с глубиной переходит в нейтральную, а затем в щелочную, а поглощающий комплекс палево-почв насыщен основаниями [13].

По показателю реакции почвенной среды (рН обменной кислотности), отобранные с верхнего гумусового и иллювиально-карбонатного горизонта (ПР № 1) относятся к близкой нейтральной от 5,8 до 6,5 рН, остальные нижележащие горизонты относятся к слабощелочным 7,9...8,0 рН. В горизонтах Апах, А1пах (ПР № 2) верхние горизонты слабокислые — 5,1 рН, элювиальный горизонт А2 близок к нейтральной — 6,3 рН, ниже по профилю горизонты слабощелочные — 7,9 рН. В почвенном разрезе № 7 верхние горизонты Апах и А1пах близки к нейтральным —

5,8...5,9 рН. Горизонт Вf нейтральный — 7,2 рН. Ниже по профилю слабощелочной — 7,6...7,8 рН (табл. 2-4).

**Гидролитическая кислотность**

Избыточная кислотность является основным лимитирующим фактором получения высокого урожая. В ее устранении наиболее эффективным приемом является известкование [14]. Изменение кислотно-щелочных условий слабо влияет на дифференцирование палево-почв по минералогическому составу [15]. Показатель гидролитической кислотности, по которому определяется потребность в проведении химической мелиорации (известкования), во всех горизонтах почвенных разрезов ПР №№ 1, 2, 7 отмечен как очень низкий (менее 2,0 ммоль/100 г).

**Показатель емкости катионного обмена**

Величина ёмкости катионного обмена в верхних горизонтах профиля в месте заложения ПР №№ 1, 2, 7 характеризуется низкой (ЕКО <10-15 мг-экв/100 г). Средний показатель ЕКО отмечен в горизонте [Вf-Всa] @ (ПР № 7) — 16,0 мг-экв/100 г и (ПР № 1) в горизонте Всa (Вк) — 20,6 мг-экв/100 г. (табл. №№ 2-4). В остальных горизонтах отмечается очень низкое значение (ЕКО < 10 мг-экв/100 г).

**Степень насыщенности основаниями**

Результаты проведенного обследования продемонстрировали (табл. 2-4), что большинство горизонтов по уровню насыщенности основаниями на местах заложения почвенных разрезов (ПР №№ 1, 2, 7) характеризуется очень низким значением — от 8,2 до 23,4% (менее 30%).

**Содержание обменного кальция и магния**

Кальций и магний необходимы для роста и развития растений в течение всего периода вегетации. Растения наиболее чувствительны к недостатку магния в начальный период развития [16].

По содержанию обменного кальция в верхних горизонтах почва в почвенных разрезах (ПР №№ 1, 2, 7) характеризуется средним уровнем от 5,1 до 8,3 ммоль/100 г. Вниз по профилю (ВС) наблюдается снижение обеспеченности обменным кальцием от 1,9 до 7,9 ммоль/100 г. (табл. 2-4).

Содержание обменного магния в верхнем органоминеральном (гумусовом), подпахотном и нижних горизонтах отмечено на высоком (более 3,0 ммоль/100 г.) и очень высоком (более 4,0 ммоль/100 г.) уровнях.

**Гранулометрический состав**

Мерзлотные палево-осолоделые почвы занимают значительную территорию Центральной Якутии и сформированы на породах разного гранулометрического состава [12].

По содержанию физической глины (содержание фракций менее 0,01 мм, %) пробы, отобранные с верхнего органоминерального (гумусово-аккумулятивного, пахотного) горизонта, относятся к среднесуглинистым (сумма фракций менее 0,01 мм > 50%). Исключение составили пробы ПР № 7 (сумма фракций менее 0,01 мм составляет 40,8%) — тяжелосуглинистые почвы (табл. 2-4).

### Содержание обменного натрия в почве

Содержание обменного натрия в почве играет ключевую роль в оценке физиологического состояния сельскохозяйственных культур, поскольку увеличение в агропочве обменного натрия обуславливает не только повышенную щелочность, но и неблагоприятные физические и водно-физические свойства почв [1]. В 2024 г. его уровень на исследуемых пахотных землях трех разрезов ПР №1, ПР № 2 и ПР №7 колеблется от 0,02 до 0,2 ммоль на 100 г почвы. Важно отметить, что при незначительном содержании обменного натрия в верхнем слое почвы (не более 0,3 ммоль на 100 г) его вариации в диапазоне от 0,01 до 0,2 ммоль на 100 г не оказывают существенного воздействия на характеристики почвы (табл. 2-4).

### Микроэлементы

В связи с неоднородностью химического состава экосистем для рационального использования и экологического мониторинга необходимо установление уровня фонового содержания микроэлементов в различных компонентах биосферы, в том числе и агроландшафтов. Микроэлементы - важнейший компонент системы удобрения, обеспечивающий сбалансированное питание сельскохозяйственных культур в процессе жизнедеятельности [17].

#### Содержание подвижной (сульфатной) серы

Содержание подвижной (сульфатной) серы в почвенных разрезах (ПР №№ 1, 7) во всех горизонтах почв показало низкие значения, менее 6,0 мг/кг. Высокое содержание данного элемента отмечено в почвенном разрезе № 2 в горизонтах Апх – 12,7 мг/кг, Вф – 15,8 мг/кг, ВСса(Вск) – 20 мг/кг (табл. 2-4).

#### Содержание подвижного марганца

Регулирующим агротехническим фактором уровня подвижного марганца в почве является севооборот [18].

Анализ уровня марганца во всех горизонтах трех почвенных разрезов показывает низкие показатели, не превышающие 30 мг/кг.

### Тяжелые металлы

Одним из основных показателей, характеризующим экологическое состояние почвы, является концентрация тяжелых металлов [19]. По мнению Десяткина Р.В. с авторами наиболее высокая подвижность в почве отмечается у кадмия и свинца, что обуславливает повышенное содержание этих элементов в образцах растительности [20]. По результатам лабораторных испытаний содержание подвижной формы свинца в исследованных образцах почвенных разрезов соответствовало требованиям санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (далее – СанПиН 1.2.3685-21). Обобщенные данные по содержанию подвижных форм тяжелых металлов в почве обследованных земельных участков представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Сводные результаты содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве обследованных земельных участков**

Почвенный разрез	Химический элемент	Подвижная форма, мг/кг			ПДК/ОДК (с учетом фона (кларка))
		Min	Max	Средне-взвешенное	
ПР № 1	Кадмий	0,005	0,064	0,02	не установлено
	Свинец	0,83	4,43	2,03	6,0 / -
ПР № 2	Кадмий	0,001	0,018	0,01	не установлено
	Свинец	0,62	3,42	1,46	6,0 / -
ПР № 7	Кадмий	0,008	0,013	0,01	не установлено
	Свинец	0,98	2,95	1,58	6,0 / -

Примечание к таблице: ПДК – предельно допустимая концентрация; ОДК – ориентировочно допустимая концентрация.

**Таблица 2. Агрохимическая характеристика генетических горизонтов почвенного разреза № 1 мерзлотной палевой слабоосолоделой почвы**

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	азот, %	Подвижный фосфор р2О5 мг/кг	Подвижный калий К2О ммоль/100 г.	Реакция среды рН КCl	Орг. в-во, % ГОСТ 26213-2021	Содержание обменного кальция Са, ммоль/100 г.	Содержание обменного магния Mg, ммоль/100г.	S (мэ), мг/кг	Mn (мэ), мг/кг	Гидролит. кислотность Нг, ммоль/100 г.	Степень насыщенности основаниями СНО, %	Емкость катионного обмена (ЕКО) мг-экв/100 г	Na обменный, ммоль/100г.
Апах	0-10(16)	0,08	190	0,23	5,8	1,5	5,1	4	0,5	20	1,03	14,62	10,38	0,02
А2пах	10(16)-20(25)	0,07	177	0,14	5,8	1,3	5,0	3,9	0,5	21	1,01	14,10	10,05	0,00
Вф	20(25)-28(35)	0,05	38	0,15	6,5	0,9	8,3	11,7	3,3	22	0,42	32,53	20,66	0,09
Вса (Вк)	25(35)-44(50)	0,07	23	0,15	8	1,3	4,3	5,1	1,9	3	< 0,23	15,18	9,88	0,1
ВСса (Вск)	44(50)-90	0,05	32	0,15	7,9	1,0	3,1	3,5	3,4	19	< 0,23	10,90	7,18	0,2
Сса (Ск)	90-130	0,04	39	0,15	7,9	0,8	3,1	3,9	10	15	< 0,23	11,57	7,45	0,07

Таблица 3. Агрохимическая характеристика генетических горизонтов почвенного разреза № 2 мерзлотной палевой слабоосолоделой почвы

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	азот, %	Подвижный фосфор P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг	Подвижный калий K <sub>2</sub> O ммоль/100 г.	Реакция среды pH KCl	Орг. в-во, % ГОСТ 26213-2021	Содержание обменного кальция Ca, ммоль/100 г.	Содержание обменного магния Mg, ммоль/100г.	S (мэ), мг/кг	Mn (мэ), мг/кг	Гидролит. кислотность Нг, ммоль/100 г.	Степень насыщенности основаниями СНО, %	Емкость катионного обмена (ЕКО) мг-экв/100 г	Na обменный, ммоль/100г.
Апах	0-10	0,11	108	0,23	5,4	2,1	5,6	2,9	12,7	14	1,67	13,57	10,43	0,03
А1пах	10-20	0,1	148	0,23	5,4	2	5,6	3	5,6	17	1,5	12,07	10,34	< 0,01
А2	22-28(35)	0,07	146	0,23	6,3	1,3	5,5	4	1,3	3	0,43	14,43	10,19	0,03
Вf	28(35)-58(60)	0,04	26	0,23	6,8	0,7	4,9	5,5	15,8	14	< 0,23	16,80	11,03	0,17
Вса(Вк)	58(60)-70	0,04	66	0,23	7,9	0,7	1,9	2,7	0,1	23	< 0,23	8,22	5,21	0,15
ВCca(ВCк)	70-100	0,08	24	0,23	7,9	1,5	4,7	5,5	20	3	< 0,23	16,66	10,88	0,22
С	100-140	0,03	38	0,23	7,9	0,5	2,6	2,5	5,9	10	< 0,23	8,40	5,64	0,08

Таблица 4. Агрохимическая характеристика генетических горизонтов почвенного разреза № 7 мерзлотной палевой слабоосолоделой почвы

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	азот, %	Подвижный фосфор P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг	Подвижный калий K <sub>2</sub> O ммоль/100 г.	Реакция среды pH KCl	Орг. в-во, % ГОСТ 26213-2021	Содержание обменного кальция Ca, ммоль/100 г.	Содержание обменного магния Mg, ммоль/100г.	S (мэ), мг/кг	Mn (мэ), мг/кг	Гидролит. кислотность Нг, ммоль/100 г.	Степень насыщенности основаниями СНО, %	Емкость катионного обмена (ЕКО) мг-экв/100 г	Na обменный, ммоль/100г.
Апах	0-7	0,09	164	0,63	5,9	1,8	6,4	3,6	3,7	18	1,03	15,93	11,69	0,03
А1пах	7-22	0,07	73	0,21	5,8	1,4	6,6	3,7	3,5	16	0,97	15,48	11,56	0,08
[Bf-Bca]@	22-50(55)	0,05	31	0,24	7,2	1	8,3	7,2	0,2	14	< 0,23	23,44	16,00	0,03
BC	50(55)-80	0,05	22	0,17	7,8	1	3,9	3,4	0,6	3	< 0,23	11,30	7,72	0,02
С	80-135	0,04	46	0,21	7,6	0,8	3,9	3	2	13	< 0,23	10,56	7,35	< 0,01

## Показатели радиоактивности

В ходе радиологического анализа образцов почвы с сельскохозяйственных земель были зафиксированы следующие уровни содержания радионуклидов: в ПР № 1 стронций-90 — 59 Бк/кг, цезий-137 — 7,2 Бк/кг; в ПР № 2 стронций-90 — 34,7 Бк/кг, цезий-137 — 4,7 Бк/кг; в ПР № 7 стронций-90 — 56 Бк/кг, цезий-137 — 6 Бк/кг, что находится в границах общепринятого для нашей зоны естественного фона по данным элементам.

## Обсуждение

Полученные результаты исследований мерзлотных почв Арангасского наслега Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия) позволяют сделать выводы об их агрохимическом и экологическом состоянии. В частности, выявленные особенности, такие как недостаток азота в верхних горизонтах, необходимость внесения фосфорных и калийных удобрений, низкий уровень органического вещества и выраженные различия в кислотности профиля соответствуют характеристикам мерзлотных почв, отраженным в ранее проведенных исследованиях мерзлотных почв Якутии [1–4].

В научных исследованиях, посвященных почвам данной зоны, отмечается, что мерзлотные и выделенные из их состава почвы обычно имеют ограниченные запасы питательных веществ и низкую

плодородность, что подчеркивается низким содержанием гумусовых соединений [3, 4]. Наши данные подтверждают эти особенности и показывают необходимость проведения агромелиоративных мероприятий для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Несмотря на благоприятные показатели по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов, что указывает на минимальное экологическое загрязнение в регионе [5], проблема дефицита питательных элементов остается актуальной. Проведенные мероприятия по известкованию, внесению гумусообразующих добавок и мониторингу состояния почв соответствуют рекомендациям, приведенным в литературных источниках [2, 4], и могут значительно улучшить плодородие данных почв.

Результаты исследования расширяют современное представление о состоянии и возможностях использования мерзлотных почв, подчеркивая важность комплексного подхода для восстановления плодородия. Научная значимость состоит в том, что полученные данные позволяют более точно формировать стратегии рационального использования земель, что особенно актуально для регионов с мерзлотными почвами.

### Заключение

В ходе агрохимической и эколого-токсикологической оценки мерзлотных почв неиспользуемых пашен в Арангасском наслеге Мегино-Кангаласского улуса были получены следующие результаты:

- содержание азота в верхних слоях почвы варьировалось от 0,0 до 0,11%, достигая 0,3% в нижних горизонтах;
- уровни подвижного фосфора в верхних горизонтах были высокими, в то время как в горизонтах Bf и C отмечались более низкие значения;
- калий также присутствовал в высоких концентрациях в верхних слоях почвы, постепенно снижаясь к нижним;
- органическое вещество в почвах присутствовало в небольших количествах, не превышая 2,0%, что свидетельствует о его недостатке;
- реакция почвенной среды в верхних горизонтах была близка к нейтральной или слабощелочной, в то время как в нижних горизонтах наблюдалась кислая или слабощелочная реакция;
- гидролитическая кислотность во всех горизонтах оказалась очень низкой, что указывает на необходимость проведения химической мелиорации;
- емкость катионного обмена была низкой в верхних слоях, средней в горизонтах [Bf-Vca] и Vca, и очень низкой в остальных горизонтах;
- степень насыщенности основаниями, согласно данным обследования, была низкой, не превышая 30% в большинстве горизонтов;
- содержание обменного кальция и магния также варьировалось в изученных горизонтах: обменный кальций был на среднем уровне в верхних слоях и снижался к нижним, в то время как обменный магний находился на высоком и очень высоком уровне.

### Литература

1. Емельянова А. Г. Особенности почвенно-климатических условий Центральной Якутии и адаптивные к ним сорта многолетних трав // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 2. С. 35-37.
2. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии: изд. 2-е, переработанное и дополненное. – Якутск: Якутское книжное издво, 1973. 119.
3. Справочник по климату СССР. Выпуск 24, ч. II. Температура воздуха и почвы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 397 с.
4. Чевычелов А. П., Собакин П. И., Кузнецова Л. И. Географо-генетические особенности почвообразования и разнообразие мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвы и окружающая среда. 2024. Т. 7. № 1. С. e233. doi: 10.31251/pos.v7i1.233
5. Экологические аспекты эволюции плодородия при интенсивном использовании почвенных ресурсов аридных территорий / А. Е. Кудрявцев, Г. Гуггенбергер, П. Иллигер и др. // Агрохимический вестник. 2020. № 1. С. 14-24. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10003.

6. Петухов Д. А., Назаров А. Н., Воронков И. В. Измерение площади поля с помощью современного специализированного приборного и программного обеспечения // Техника и оборудование для села. 2016. № 4. С. 14-17.

7. ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб», утв. Приказом Росстандарта от 01.06.2018 г. № 302-ст.

8. ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», утв. Приказом Росстандарта от 17.04.2018 г. № 202-ст.

9. Барашкова Н. В. Адаптивные луговые травосмеси среднетаежной подзоны Якутии. отв. Ред. М.М. Черосов; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, ФИЦ ЯНЦ, Ин-т биол. Проблем криолитозоны. Новосибирск: СО РАН, 2022. 274 с.

10. Чевычелов А. П., Алексеев А. А., Ермолаева С. В. Генезис, классификация и разнообразие мерзлотных почв Центральной Якутии // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V Международной научно- практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала, Иркутск, 23–29 августа 2021 года. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2021. С. 201-205.

11. Криоземы и палевые слабодифференцированные почвы тундр и тайги Якутии: свойства, минералогический состав и классификация / Р. В. Десяткин, С. Н. Лесовая и др. // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1423-1436. doi: 10.31857/S0032180X21120042

12. Новиков М. Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах / М. Н. Новиков // Агрохимия. 2020. № 8. С. 60-69. doi:10.31857/S0002188120080086

13. Динамика содержания подвижного фосфора в почвах нечерноземной зоны и его регулирование / С. А. Шафран, Н. А. Кирпичников, А. А. Ермаков, и др. // Агрохимия. 2021. № 5. С. 14-20. doi: 10.31857/S0002188121050100.

14. Оконешникова М. В. Современное состояние и прогноз изменений почв долины средней Лены (центральная Якутия) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 3(23). С. 7-18.

15. Оконешникова М. В. Гумусное состояние мерзлотных палевых осолоделых почв Центральной Якутии разного гранулометрического состава / М. В. Оконешникова // ВЕСТНИК СВФУ, 2019. № 4(72). С. 34-45. doi:10.25587/SVFU.2019.72.35046

16. Десяткин Р. В. Почвообразование в термокарстовых котловинах - аласах криолитозоны: монография / Р. В. Десяткин; Р. В. Десяткин; отв. ред. Б. Ф. Апарин; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т биологических проблем криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. 323 с.

17. Некрасов Р. В., Аканова П. Л., Шкуркин С. Л. Агроэкологическая и социально-экономическая перспектива химической мелиорации почв // Плодородие. 2021. №3. С. 52-55. doi: 10.25680/819948603.2021.120.09.

18. Палевые почвы Центральной Якутии: генетические особенности, свойства, классификация / Р. В. Десяткин, С. Н. Лесовая, М. В. Оконешникова и др. // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1425.

19. Митрофанова Е. М. Кальций и магний в дерново-подзолистых почвах Предуралья / Е. М. Митрофанова // Аграрный вестник Урала. 2011. № 2(81). С. 9-11.

20. Вильдфлуш И. Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур. Минск: Беларус. Навука. 2011. 293 с.

21. Воронин М. Ю., Сискевич, Р. Ю., Фролова Н. А. Динамика агрохимических показателей пахотного горизонта почв Липецкой области по результатам локального мониторинга // Агрохимический вестник. 2022. № 5. – С. 3-8. doi: 10.24412/1029-2551-2022-5-001

22. Содержание некоторых тяжелых металлов в почвах и растениях на антропогенно-нарушенных участках (Юго-западная Якутия) / Р. В. Десяткин, М. Х. Николаева, Р. П. Софронов и др. // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 30-38. doi: 10.17513/use.37946.

#### References

1. Emelyanova A. G. Features of the soil and climatic conditions of Central Yakutia and adaptive varieties of perennial grasses // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2013. No. 2. P. 35-37.

2. Gavrilova M. K. Climate of Central Yakutia: 2nd edition, revised and supplemented. - Yakutsk: Yakutskoe knizhnoe izdn., 1973. 119 p.

3. Handbook of the climate of the USSR. Issue 24, part II. Air and soil temperature. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. 397 p.

4. Chevychelov A. P., Sobakin P. I., Kuznetsova L. I. Geographical and genetic features of soil formation and diversity of permafrost soils of Central Yakutia // Soils and the environment. 2024. Vol. 7. No. 1. P. e233. doi: 10.31251/pos.v7i1.233

5. Ecological aspects of the evolution of fertility under intensive use of soil resources in arid territories / A. E. Kudryavtsev, G. Guggenberger, P. Illiger, et al. // Agrochemical Bulletin. 2020. No. 1. P. 14-24. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10003.

6. Petukhov D. A., Nazarov A. N., Voronkov I. V. Measuring field area using modern specialized instrumentation and software // Machinery and equipment for the village. 2016. No. 4. pp. 14-17.

7. GOST 17.4.3.01-2017 "Environmental Protection (SOP). Soils. General Requirements for Sampling", approved by Order of Rosstandart dated 01.06.2018 No. 302-st.

8. GOST 17.4.4.02-2017 "Environmental Protection (SOP). Soils. Methods of Sampling and Preparing Samples for Chemical, Bacteriological, and Helminthological Analysis", approved by Order of Rosstandart dated 17.04.2018 No. 202-st.

9. Barashkova N.V. Adaptive Meadow Grass Mixtures of the Middle Taiga Subzone of Yakutia. Ed. M.M. Cherosov; Rus. Academy of Sciences, Sib. Department, FRC Yakut Scientific Center, Institute of Biol. Problems of Cryolithozone. Novosibirsk: SB RAS, 2022. 274 p.

10. Chevychelov A. P., Alekseev A. A., Ermolaeva S. V. Genesis, classification, and diversity of permafrost soils in Central Yakutia // Soil as a link in the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Department of Soil Science and Land Resources Assessment of Irkutsk State University and Lake Baikal Day, Irkutsk, August 23–29, 2021. Irkutsk: Irkutsk State University, 2021. P. 201–205.

11. Cryozems and pale soils of the tundra and taiga of Yakutia: properties, mineralogical composition and classification / R. V. Desyatkin, S. N. Lesovaya, et al. // Soil Science. 2021. No. 12. P. 1423-1436. doi: 10.31857/S0032180X21120042

12. Novikov M. N. Biological methods for the efficient use of soil nitrogen, fertilizers, and symbiotic nitrogen fixation in field agrocenoses / M. N. Novikov // Agrochemistry. 2020. No. 8. P. 60-69. doi:10.31857/S0002188120080086

13. Dynamics of the content of mobile phosphorus in soils of the non-chernozem zone and its regulation / S. A. Shafran, N. A. Kirpichnikov, A. A. Ermakov, et al. // Agrochemistry. 2021. No. 5. pp. 14-20. doi: 10.31857/S0002188121050100.

14. Okoneshnikova M. V. Current state and forecast of changes in soils of the middle Lena valley (central Yakutia) // Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2013. No. 3 (23). P. 7- 18.

15. Okoneshnikova M. V. Humus state of permafrost pale solodized soils of Central Yakutia of different particle size distribution / M. V. Okoneshnikova // VESTNIK NEFU, 2019. No. 4 (72). P. 34-45. doi: 10.25587/SVFU.2019.72.35046

16. Desyatkin R. V. Soil formation in thermokarst basins - alases of the cryolithozone: monograph / R. V. Desyatkin; R. V. Desyatkin; ed. B. F. Aparin; Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Institute of Biological Problems of the Cryolithozone. Novosibirsk: Nauka, 2008. 323 p.

17. Nekrasov R. V., Akanova P. L., Shkurkin S. L. Agroecological and socio-economic prospects of chemical soil reclamation // Plodorodie. 2021. No. 3. P. 52-55. doi: 10.25680/819948603.2021.120.09.

18. Pale soils of Central Yakutia: genetic features, properties, classification / R. V. Desyatkin, S. N. Lesovaya, M. V. Okoneshnikova, et al. // Soil Science. 2011. No. 12. P. 1425.

19. Mitrofanova E. M. Calcium and magnesium in sod-podzolic soils of the Cis-Urals / E. M. Mitrofanova // Agrarian Bulletin of the Urals. 2011. No. 2(81). P. 9-11.

20. Wildflush I. R. Efficiency of using microfertilizers and growth regulators in the cultivation of agricultural crops. Minsk: Belarusian Science, 2011. 293 p.

21. Voronin M. Yu., Siskevich R. Yu., Frolova N. A. Dynamics of agrochemical indicators of the arable horizon of soils in the Lipetsk region based on the results of local monitoring // Agrochemical Bulletin. 2022. No. 5. P. 3-8. doi: 10.24412/1029-2551-2022-5-001

22. Content of some heavy metals in soils and plants in anthropogenically disturbed areas (Southwestern Yakutia) / R. V. Desyatkin, M. Kh. Nikolaeva, R. R. Sofronov, et al. // Advances in modern natural science. 2022. No. 12. P. 30-38. doi: 10.17513/use.37946.

#### 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-92-98

УДК 619:618.7

##### Лейкоцитарный профиль крови коров, больных послеродовым эндометритом

И. А. Алмакаева<sup>✉</sup>, аспирант кафедры «Хирургия, акушерство, фармакология и терапия»

Е. М. Марьин, доктор ветеринарных наук, доцент кафедры «Хирургия, акушерство, фармакология и терапия»

Н. Ю. Терентьева, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Хирургия, акушерство, фармакология и терапия»

ФБГОУ ВО Ульяновский ГАУ,

417000, г Ульяновск, б-р Новый Венец, зд.1

<sup>✉</sup>inna.almakaeva1@mail.ru

**Резюме.** Работу проводили с целью изучения лейкоцитарного профиля крови коров, больных послеродовым эндометритом в период проведения акушерско-гинекологической диспансеризации. Объектом исследования служили дойные коровы черно-пестрой породы. Для изучения показателей крови формировали 2 группы животных, подобранных по принципу парных аналогов: I группа – клинически здоровые (n=5); II группа – животные, больные послеродовым эндометритом (n=5). Взятие проб крови проводили до утреннего кормления, однократно. Определение гематологических показателей осуществляли в условиях Межкафедрального центра ветеринарной медицины ФБГОУ ВО Ульяновский ГАУ. Уровень лейкоцитов определяли на автоматическом гематологическом анализаторе MicroCC-20Plus. Для подсчета лейкоцитарной формулы изготавливали мазки крови. Подсчет субпопуляций лейкоцитов осуществляли четырехпольным методом (по Шиллингу) в количестве 100 клеток. На основании полученных данных были рассчитаны лейкоцитарные индексы: индекс Гаркави, индекс Бреддека, индекс Кребса, лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу, лейкоцитарный индекс интоксикации по В.К. Островскому, индекс сдвига лейкоцитов крови, лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс, индекс аллергизации по В.С. Тихончуку, индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной. Анализ полученных данных по распространению акушерско-гинекологических заболеваний у коров за четыре года в условиях ООО «Мегаферма Октябрьский» показал, что среди дойного поголовья, чаще всего регистрируются субклинический мастит (18,0...18,70%) и клинический мастит (5,0...5,18%), реже отмечаются трудные роды (0,39...0,41%), задержание последа (0,17...0,20%) и аборт (0,17...0,22%). За исследуемый период нами отмечалось повышение частоты встречаемости эндометрита у крупного рогатого скота с 4,11% до 4,22%. Содержание лейкоцитов в крови у больных животных было повышено на 10,8%, уровень эозинофилов - на 58,3%, лимфоциты снижены на 3,5% и сегментоядерные нейтрофилы - на 9% (p < 0,001). Количество моноцитов было статистически достоверно выше, чем у клинически здоровых животных и составило 9,20±2,4%. (p < 0,05) Такое состояние свидетельствует об ответной реакции организма на развитие патологического процесса и может быть признаком послеродовых заболеваний. Согласно результатам проведенного нами исследования на глубину эндогенной интоксикации указывает увеличение лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса на 3%, а на развитии патологического процесса на фоне присоединения инфекции - понижение лейкоцитарного индекса интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу на 20%, лейкоцитарного индекса интоксикации по В.К. Островскому - на 8% и индекса соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной на 27%.

**Ключевые слова:** диспансеризация, коровы, акушерско-гинекологические заболевания, кровь, лейкоцитарные индексы, лейкоциты, эндометриты.

**Для цитирования:** Алмакаева И. А., Марьин Е. М., Терентьева Н. Ю. Лейкоцитарный профиль крови коров, больных послеродовым эндометритом // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 92-98. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-92-98

##### Leukocyte profile of the blood of cows with postpartum endometritis

I. A. Almakaeva<sup>✉</sup>, E. M. Maryin, N. Yu. Terentyeva

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University,

417000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, Bldg. 1

<sup>✉</sup>inna.almakaeva1@mail.ru

**Abstract.** The study was conducted to study the leukocyte profile of the blood of cows with postpartum endometritis during obstetric and gynecological examination. The object of the study were black-and-white dairy cows. To study the blood parameters, 2 groups of animals were formed, selected on the principle of paired analogues: Group 1 - clinically healthy (n = 5); Group 2 - animals sick with postpartum endometritis (n = 5). Blood samples were taken once before the



morning feeding. Specification of hematological parameters was carried out at the Interdepartmental Center of Veterinary Medicine of the Ulyanovsk State Agrarian University. The level of leukocytes was determined using an automatic hematology analyzer MicroCC-20Plus. Blood smears were made to count the leukocyte formula. The count of leukocyte subpopulations was carried out by the four-field method (according to Schilling) in the amount of 100 cells. Based on the data obtained, the following leukocyte indexes were calculated: the Garkavi Index, the Breddeck Index, the Krebs Index, the Leukocyte Intoxication Index according to Ya.Ya. Kalf-Kalif, the Leukocyte Intoxication Index according to V.K. Ostrovsky, the Blood Leukocyte Shift Index, the Lymphocyte-Granulocyte Index, the Allergization Index according to V.S. Tikhonchuk, and the Neutrophil-Monocyte Ratio Index according to Zh.G. Mustafina. The analysis of the studied data on the prevalence of gynecological diseases in cows over four years showed that endometritis is quite widespread in the conditions of the production complex of ООО Megaferma Oktyabrsky in the Cherdaklinskiy District, amounting to 4.22% of the total herd in 2024. The white blood cell count in the blood of sick animals was increased by 10.9%, the eosinophil count by 58.3%, lymphocytes by 3.5% and segmented neutrophils by 9% ( $p < 0.001$ ). The monocyte count was statistically significantly higher than among clinically healthy animals and was  $9.20 \pm 2.4\%$ . ( $p < 0.05$ ) This condition indicates the body's response to the development of a pathological process and may be a sign of postpartum diseases. According to the results of our study, the depth of endogenous intoxication is indicated by a 3% increase in the lymphocyte-granulocyte index, and the development of a pathological process against the background of infection is indicated by a 20% decrease in the leukocyte intoxication index according to Ya.Ya. Kalf-Kalif and a 20% decrease in the leukocyte intoxication index according to V.K. Ostrovsky by 8% and the neutrophil-to-monocyte ratio index according to Zh.G. Mustafina by 27%.

**Keywords:** medical examination, cows, obstetric and gynecological diseases, blood, leukocyte indexes, leukocytes, endometritis.

**For citation:** Almakaeva I. A., Maryin E. M., Terentyeva N. Yu. Leukocyte profile of the blood of cows with postpartum endometritis// Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 92-98 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-92-98

## Введение

Улучшение воспроизводства стада крупного рогатого скота молочных пород и увеличение поголовья является одной из поставленных задач правительством Российской Федерации в развитии животноводства на 2017-2025 гг. Молочное скотоводство – важнейшая отрасль животноводства, которая удовлетворяет основные потребности населения в продуктах питания, в связи с этим для развития и увеличения объемов производства остаются актуальными вопросы сохранения здоровья сельскохозяйственных животных, их продолжительности использования, фертильности, ветеринарно-санитарного благополучия и в значительной мере зависят от раннего выявления и профилактики заболеваний [1].

Среди причин, препятствующих воспроизводству крупного рогатого скота, значительное место занимают заболевания половых органов, часто превышающие потери от других заразных и незаразных болезней, приводящие к снижению продуктивности, бесплодию, яловости, а в дальнейшем и к преждевременной выбраковке [2, 3].

В настоящее время одним из сложных процессов в животноводстве – это воспроизводство поголовья животных. Несмотря на достигнутые результаты в разработке множества эффективных методов лечения и профилактики акушерских заболеваний, данная проблема особенно в послеродовой период стоит остро [4, 5].

При современном ведении молочного производства процент заболеваемости коров акушерско-гинекологическими заболеваниями весьма высок, и значительное место занимают послеродовые эндометриты, возникающие на фоне слабой резистентности организма животных. Несоблюдение условий кормления, содержания и других факторов, ведущих

к нарушению обмена веществ, создают благоприятные условия для развития условно патогенной и патогенной микрофлоры. И как следствие ведет к недополучению здорового приплода, снижению ежегодных отелов и различным осложнениям родового процесса и послеродового периода. Всё это в значительной мере наносит экономический ущерб хозяйствам и является одной из основных проблем дальнейшего развития скотоводства [6,7,8].

Важным методом дифференциальной диагностики, позволяющим выявить больных животных, а также оценить скорость и течение, спрогнозировать исход болезни, является определение лейкоцитарного профиля крови. Уменьшение или увеличение лейкоцитарных фракций «белой крови» может свидетельствовать о реакции иммунной системы, выраженности заболевания, что может привести к патологическим сдвигам в организме животного [9].

Цель исследований состояла в изучении лейкоцитарного профиля крови коров, больных послеродовым эндометритом в период проведения акушерско-гинекологической диспансеризации.

## Материалы и методы

Исследования проводили в условиях ООО «Мегаферма Октябрьский» Чердаклинского района, Ульяновской области. Распространенность и структуру акушерско-гинекологических заболеваний у коров определяли на основании анализа данных результатов диспансеризации, журналов отела и послеродового периода. Объектом исследования служили дойные коровы черно-пестрой породы. Результаты проведенного мониторинга основных акушерско-гинекологических болезней животных способствовали отбору животных в группы: I группа – клинически здоровые ( $n=5$ ); II группа – животные, больные послеродовым эндометритом ( $n=5$ ). Взятие проб крови

проводили до утреннего кормления, однократно. Определение гематологических показателей осуществляли в условиях Межкафедрального центра ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Уровень лейкоцитов определяли через автоматический гематологический анализатор MicroCC-20Plus.

Для подсчета лейкоцитарной формулы изготавливали мазки крови. Каплю крови помещали на 1 см от края предметного стекла, распределяли ребром второго предметного стекла без нажатия во избежание повреждения клеток. Мазки крови высушивали, фиксировали красителем-фиксатором по Май-Грюнвальду (Гемстандарт-МГ) и окрашивали азур-эозином по Романовскому (Диахим-Гемистейн-Р). Микроскопическое исследование проводили с помощью светового микроскопа Awalife DM-02 (объективы PLAN 4x/0,10; 10x/0,25; 40x/0,70; 100x/1,25 OIL; окуляры WF10X/22).

Подсчет субпопуляций лейкоцитов осуществляли четырехпольным методом (по Шиллингу) в количестве 100 клеток. На основании полученных данных были рассчитаны лейкоцитарные индексы: индекс Гаркави, индекс Бреддека, индекс Кребса, лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу, лейкоцитарный индекс интоксикации по В.К. Островскому, индекс сдвига лейкоцитов крови, лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс, индекс аллергии по В.С. Тихончуку, индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной [10].

Математико-статистическую обработку полученных данных проводили в компьютерной программе Microsoft Excel 2016. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента и разницу между

величинами считали достоверной на уровне вероятности  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ .

### Результаты

Анализ изученных данных по распространению акушерско-гинекологических заболеваний у коров за четыре года (рис. 1) в условиях ООО «Мегаферма Октябрьский» показал, что среди дойного поголовья, чаще всего регистрируются субклинический мастит (18,0...18,70%) и клинический мастит (5,0...5,18%), реже отмечаются трудные роды (0,39...0,41%), задержание последа (0,17...0,20%) и аборт (0,17...0,22%). За исследуемый период нами отмечалось повышение частоты встречаемости эндометрита у крупного рогатого скота с 4,11% до 4,22%. Важным фактором исключения эндометритов является профилактика задержания последа, недопущение развития патогенной микрофлоры, так как впоследствии несвоевременно оказанная помощь при родах и в послеродовый период может привести к воспалительным заболеваниям в матке, перейти в хроническую форму и препятствовать нормальному вынашиванию плода.

Наиболее важными индикаторами состояния организма при развитии воспалительного процесса в организме животных является состав и функциональный статус форменных элементов крови. При проведении диагностики и мониторинга заболеваний различной этиологии широко применяются общий анализ крови и отдельных ее компонентов. Результаты исследований лейкоцитарной формулы и лейкоцитарных индексов крови у коров в период акушерско-гинекологической диспансеризации представлены в таблице 1.

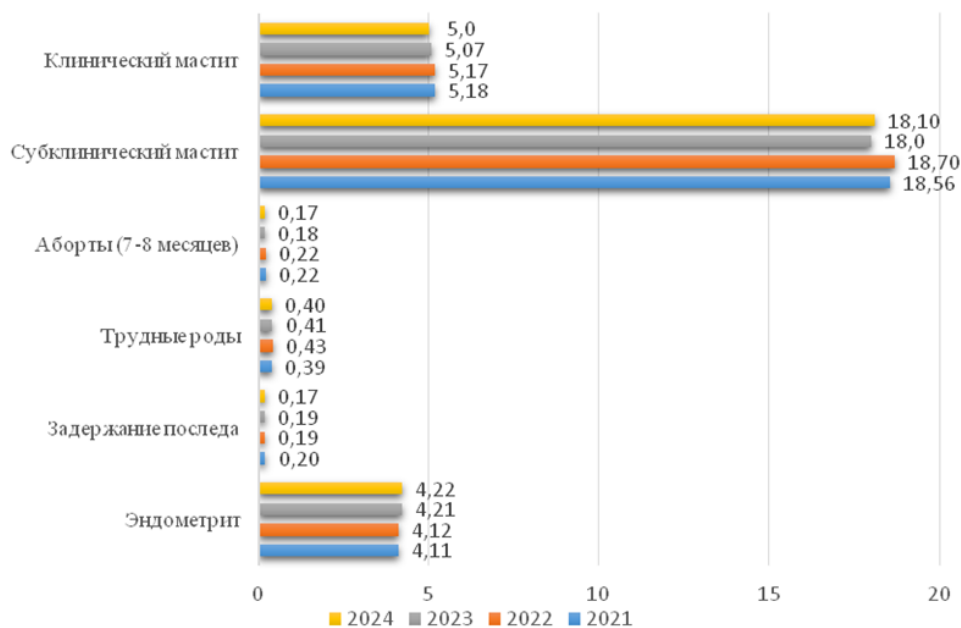


Рис. 1. Распространенность акушерско-гинекологических заболеваний у коров в ООО «Мегаферма Октябрьский», %

По результатам анализа таблицы 1 отмечается небольшой сдвиг лейкоцитарной формулы влево в крови животных больных эндометритом, при

котором происходит уменьшение количества сегментоядерных нейтрофилов с одновременным увеличением палочкоядерных нейтрофилов. Содержание

лейкоцитов повышено на 10,9%, уровень эозинофилов – на 58,3%, лимфоциты снижены на 3,5% и сегментоядерные нейтрофилы – на 9% ( $p < 0,001$ ). Количество моноцитов у больных животных было статистически достоверно выше, чем у клинически здоровых животных и составило  $9,20 \pm 2,4\%$ . ( $p < 0,05$ ). Такое состояние свидетельствует об ответной реакции организма на развитие патологического процесса и может быть признаком послеродовых заболеваний.

Для оценивания выраженности воспалительного процесса и оценки состояния животных

рассчитывали лейкоцитарные индексы по следующим формулам:

Индекс Гаркави (ИГ) = лимфоциты / сегментоядерные нейтрофилы. Используется для адаптационного и стрессового состояния организма. У коров с воспалительным процессом находился на уровне  $1,49 \pm 0,19$  усл.ед. и был повышен на  $0,08$  усл.ед. относительно уровня у клинически здоровых животных  $1,41 \pm 0,09$  усл.ед. Стресс фактором при повышении показателя может являться воспаление.

**Таблица 1. Лейкоцитарный профиль крови крупного рогатого скота в период проведения акушерско-гинекологической диспансеризации ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )**

Показатель	Референсные значения	Результаты исследований	
		Клинически здоровые животные	Животные, с диагнозом эндометрит
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	4,5...12,0	$12,82 \pm 0,59$	$14,22 \pm 2,81$
Базофилы, %	0...1,0	-	-
Эозинофилы, %	4,0...10,5	$2,40 \pm 1,52$	$3,80 \pm 4,09$
Нейтрофилы, в т.ч.			
Юные, %	0...1	-	-
Палочкоядерные, %	2,0...6,0	$2,20 \pm 1,30$	$3,40 \pm 1,67$
Сегментоядерные, %	14,0...42,0	$36,80 \pm 1,30$	$33,60 \pm 1,67^{**}$
Лимфоциты, %	47,0...67,0	$51,80 \pm 2,05$	$50,00 \pm 5,10$
Моноциты, %	3,0...8,5	$6,80 \pm 1,30$	$9,20 \pm 2,05^*$
Индекс Гаркави, усл.ед.	-	$1,41 \pm 0,09$	$1,49 \pm 0,19$
Индекс Бреддека, усл.ед.	-	$32,54 \pm 20,14$	$21,28 \pm 18,23$
Индекс Кребса, усл.ед.	-	$0,75 \pm 0,07$	$0,75 \pm 0,13$
Лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу, усл.ед.	-	$0,24 \pm 0,08$	$0,19 \pm 0,09$
Лейкоцитарный индекс интоксикации по В.К. Островскому, усл.ед.	-	$0,64 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,07$
Индекс сдвига лейкоцитов крови, усл.ед.	-	$0,71 \pm 0,09$	$0,70 \pm 0,18$
Лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс, усл.ед.	-	$1,26 \pm 0,15$	$1,30 \pm 0,21$
Индекс алергизации по В.С. Тихончуку, усл.ед.	-	$1,18 \pm 0,04$	$1,16 \pm 0,06$
Индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной, усл.ед.	-	$7,83 \pm 1,41$	$5,69 \pm 1,64^*$

Примечание: \* ( $P < 0,05$ ); \*\* ( $P < 0,01$ ); \*\*\* ( $P < 0,001$ ) относительно данных клинически здоровых животных

Индекс Бреддека (ИБ) = лимфоциты / палочкоядерные нейтрофилы. Этот показатель оценивает функциональное состояние организма и показывает иммунный ответ на стрессовые условия. У больных животных составил  $21,28 \pm 18,23$  усл.ед., что было на 34,6% ниже значений клинически здоровых животных  $32,54 \pm 20,14$  усл.ед. Такие изменения могут свидетельствовать о нарушении иммунологической реактивности;

Индекс Кребса (ИК) = сумма нейтрофилов / лимфоциты. Показывает выраженность эндогенной интоксикации на организм. В обеих группах он был одинаковых значений ( $0,75 \pm 0,13$  усл.ед. и  $0,75 \pm 0,07$  усл.ед.);

Лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу (ЛИИ) =  $(4 \times \text{миелоциты} + 3 \times \text{юные формы} + 2 \times \text{палочкоядерные нейтрофилы} + \text{сегментоядерные нейтрофилы}) / (\text{моноциты} + \text{лимфоциты}) \times (\text{эозинофилы} + 1)$ ; оценивает степень тяжести при воспалительных заболеваниях, гнойных инфекциях и течении процесса. У клинически здоровых животных находился в пределах значений  $0,24 \pm 0,08$  усл.

ед., а у акушерско-гинекологически больных животных -  $0,19 \pm 0,09$  усл. ед.;

Лейкоцитарный индекс интоксикации по В.К. Островскому (ЛИИост.) = сумма нейтрофилов / (лимфоциты + моноциты + эозинофилы + базофилы) выражает уровень эндогенной интоксикации и реакцию костного мозга на бактериальную инфекцию. У здоровых животных находился на уровне  $0,64 \pm 0,05$  усл.ед., а у коров больных эндометритом –  $0,59 \pm 0,07$  усл.ед.;

В обоих значениях уровень лейкоцитарных индексов интоксикации у больных животных снижался на 0,5 усл. ед. При росте показателей палочкоядерных нейтрофилов и моноцитов снижался процент лимфоцитов, что возможно из-за присоединения вирусной инфекции и развития патологического процесса на фоне снижения резистентности организма;

Индекс сдвига лейкоцитов крови по Н.И. Яблучанскому (ИСЛ) =  $(\text{эозинофилы} + \text{базофилы} + \text{сумма нейтрофилов}) / (\text{моноциты} + \text{лимфоциты})$  Позволяет определить активность воспалительного процесса. В обеих группах был примерно одинаковых значений ( $0,71 \pm 0,09$  усл. ед. и  $0,70 \pm 0,18$  усл. ед.);

Лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс (ЛГИ) = лимфоциты / (сумма нейтрофилов + эозинофилы + базофилы). Отражает активность воспаления и помогает дифференцировать аутоинтоксикацию. У животных с диагнозом эндометрит был равен  $1,30 \pm 0,21$  усл. ед., что было выше на 3% значений клинически здоровых животных  $1,26 \pm 0,15$  усл. ед. Повышенное значение данного показателя у больных животных может говорить о наличии воспалительного очага в организме и небольшой выраженности инфекционной интоксикации;

Индекс алергизации по В.С. Тихончуку (ИА) = (лимфоциты эозинофилы) / (сумма нейтрофилов + базофилы + моноциты) необходим для оценки вероятности развития аллергии. У обследованных животных находился на одной уровне  $1,18 \pm 0,04$  и  $1,16 \pm 0,06$  усл.ед.;

Индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной (ИСНМ) = сумма нейтрофилов / моноциты. Служит фактором для оценки фагоцитарной активности клеток в очаге воспаления. В крови животных, больных эндометритом, был достоверно снижен на 27% ( $5,69 \pm 1,64$  усл.ед.) ( $p < 0,01$ ) относительно значений клинически здоровых животных  $7,83 \pm 1,41$ , что связано с низкой фагоцитарной активности, снижением клеточного иммунитета, при котором воспалительный процесс может перейти в хроническую форму.

#### **Обсуждение**

По данным С.В. Полякова с соавторами В. М. Кравченко с соавторами и И. Р. Муллаевой в результате проведенных исследований по диспансеризации дойного поголовья в хозяйствах Ульяновской области, Краснодарского края и Республики Башкортостан большой процент заболеваемости приходится на эндометриты от 22% до 7%. Они тоже отмечают, что заболевание носит сезонный характер, основными причинами, вызывающими эндометриты, являются нарушение правил асептики и антисептики при родовспоможении, впоследствии присоединяются условно-патогенная и патогенная микрофлоры, низкое качество кормления и содержания стельных коров и ряд других факторов [11, 12, 13]. При изучении Н. Ю. Беляевой с соавторами, М. В. Авраменко, В. В. Чекрышевой морфологических показателей крови коров, больных эндометритом, установили увеличение количества лейкоцитов с одновременным увеличением палочкоядерных нейтрофилов, что говорит о наличии воспалительного процесса в организме [14, 15]. По данным В.В. Филина и Т. Е. Григорьевой, Г. В. Захаровского незначительное повышение эозинофилов и моноцитов свидетельствует об ответной реакции организма на развивающуюся бактериальную инфекцию в матке [16, 17], что согласуется с данными нашего исследования.

По результатам исследований О. Н. Полозюк с соавторами у коров, больных эндометритом, на фоне применения комплексного лечения с применением препарата Гамавит происходило

достоверное повышение относительного количества лимфоцитов, фагоцитарной активности нейтрофильных лейкоцитов, что подтверждалось увеличением индекса соотношения лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса, индекса соотношения лимфоцитов и эозинофилов и уменьшением - индекса сдвига лейкоцитов, индекса соотношения нейтрофилов и лимфоцитов, индекса соотношения нейтрофилов и моноцитов, индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов [18]. Снижение лейкоцитарных индексов интоксикации может быть связано с низкой фагоцитарной активностью нейтрофилов и уменьшением в лейкоцитарной формуле сегментоядерных нейтрофилов. На данное снижение могло повлиять и наличие других сопутствующих патологий в организме, как следствие присоединение бактериальных инфекций. Так, Д. Н. Надеждиным с соавт. при изучении лейкоцитарного профиля крови у ортопедически больных животных установили повышение уровня лейкоцитов, юных и палочкоядерных нейтрофилов, лейкоцитарного индекса интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу и по В.К. Островскому, индекса сдвига лейкоцитов крови, индекса соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной, при одновременном снижении сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов, индекса Бреддека, индекса Кребса, лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса, при этом индекс Гаркави, индекс алергизации по В.С. Тихончуку не изменялись [19].

#### **Заключение**

Процент акушерско-гинекологических заболеваний у высокопродуктивных коров в ООО «Мега-ферма Октябрьский» Чердаклинского района имеет достаточно широкое распространение, требующий особого внимания при комплексном лечении и направлен на устранение инфекции, восстановление функций поврежденных органов половой системы и укрепление иммунитета. Важной профилактической мерой является своевременная диспансеризация животных, помогающая выявить причины патологии, сопутствующих болезней и изменение обменных процессов, протекающих в организме для назначения эффективных лечебно-профилактических мероприятий для обеспечения высокой продуктивности молочного поголовья. Согласно результатам, проведенного нами исследования, уровень лейкоцитов у коров, больных эндометритом уровень лейкоцитов был выше относительно здоровых животных на 10,8%, отмечался незначительный сдвиг лейкоцитарной формулы влево, изменения лейкоцитарных индексов указывает на воспалительную реакцию на фоне снижения иммунологической реактивности организма. В крови больных животных происходило понижение лейкоцитарного индекса интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу на 20%, лейкоцитарного индекса интоксикации по В.К. Островскому на 8% и индекса соотношения нейтрофилов и моноцитов по Ж.Г. Мустафиной на 27% говорит о развитии

патологического процесса на фоне присоединения инфекции, а на глубину эндогенной интоксикации – увеличение лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса на 3%.

### Литература

- Алиев А. Ю., Булатханов Б. Б., Махтиева А. Ю. Мониторинг акушерско-гинекологических заболеваний у коров // Прикаспийский вестник ветеринарии. 2024. № 4(9). С. 74-79.
- Карликова Г. Г., Корнелаева М. В. Воспроизводительные способности и молочная продуктивность коров в зависимости от физиологического статуса в период лактации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 4. С. 484-498.
- Ткачева Л. В. Основные формы бесплодия у коров в условиях молочно-товарной фермы // Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Брянск, 01-02 декабря 2022 года / Брянский государственный аграрный университет. Том Часть 1. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2022. С. 859-862.
- Алиев А. Ю., Айгубова С. А., Булатханов Б. Б. Профилактика послеродового эндометрита у коров с использованием препарата Метрамаг-15 // Актуальные проблемы ветеринарной репродуктологии и современные пути их решения: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Махачкала, 19–20 сентября 2024 года. - Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ". 2024. С. 32-37.
- Кульпина А. А., Алтынбеков О. М. Опыт лечения послеродового эндометрита у коров // Наука молодых - инновационному развитию АПК: материалы XIV Национальной научно-практической конференции молодых ученых, Уфа, 17-18 ноября 2021 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»; Совет молодых ученых университета. - Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2021. С. 134-138.
- Батраков А. Я., Племяшов К. В., Сердюк Г. Н. Современное состояние молочного животноводства России и пути повышения его эффективности // Ветеринария. 2023. № 6. С. 10-14.
- Эпизоотический анализ животноводческих ферм, неблагополучных по факторным инфекциям / П. А. Руденко, Ю. А. Ватников, А. А. Руденко и др. // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 4(104). С. 572-585.
- Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows/ M. R. Carvalho, F. Penagaricano, J.E.P. Santos, et al. // Journal of Dairy Science. 2019. 102. P. 11701-11717. doi:10.3168/jds.2019-17025
- Полозюк О.Н., Ушакова Т.М. Гематология: учебное пособие. Персиановский: Донской ГАУ. 2019. С. 159.
- Симонов П. Г. Терапевтическая эффективность Аргумистина® при послеродовых и хронических эндометритах у высокопродуктивных коров: специальность 06.02.06 "Ветеринарное акушерство и биотехника репродукции животных": диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Симонов Павел Геннадьевич. 2022. С. 191.
- Поляков С. В., Терентьева Н. Ю., Иванова С. Н. Анализ эффективности профилактических мероприятий в послеродовом периоде у коров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4(52). С. 128-133.
- Кравченко В. М., Кравченко Г. А., Акуленко И. В. Этиология и Распространение послеродовых эндометритов у коров в НПХ Кореновское. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2022. Т. 11, № 1. С. 200-203.
- Муллаярова И. Р. Распространенность послеродового эндометрита среди коров // Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию учреждения образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины", Витебск, 04-06 ноября 2024 года. - Витебск: Витебская государственная академия ветеринарной медицины. 2024. С. 247-251.
- Беляева Н. Ю., Чекункова Ю. А., Смолянинов Ю. И. Изменения морфобиохимического состава крови при лечении острого послеродового эндометрита у коров // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 2(24). С. 46-52.
- Авраменко М. В., Чекрышева В. В. Анализ показателей крови коров при послеродовом гнойно-катаральном эндометрите // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 4(16). С. 64-75.
- Григорьева Т. Е., Захаровский Г. В. Показатели клеточных факторов защиты у коров после родов клинически здоровых и больных эндометритом // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1(4). С. 44-47.
- Филин В. В. Совершенствование метода комплексной фармакотерапии коров при послеродовых воспалительных заболеваниях матки: специальность 06.02.06 "Ветеринарное акушерство и биотехника репродукции животных": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Филин Василий Васильевич. Саратов. 2016. С. 22.
- Комплексные схемы лечения коров, больных гнойно-катаральным эндометритом / О. Н. Полозюк, Л. Г. Войтенко, Э. Е. Острикова, и др. // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2017. Т. 53, № 2. С. 123-126.
- Лейкоцитарный профиль крови у коров, больных гнойно-некротическими поражениями в области копытец / Д. Н. Надеждин, Е. М. Марьин, В. А. Ермолаев и др. // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2024. № 4. С. 82-85

**References**

1. Aliev A. Yu., Bulatkhanov B.B., Makhtieva A. Yu. Monitoring of obstetric and gynecological diseases of cows // Caspian Veterinary Vestnik. 2024. No. 4(9). P. 74-79.
2. Karlikova G.G., Kornelaeva M.V. Reproductive capacity and milk productivity of cows depending on physiological status during lactation // Vestnik of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2022. Vol. 17, No. 4. P. 484-498.
3. Tkacheva L. V. The main forms of infertility in cows on a dairy farm // Current trends in development of agricultural science: Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference, Bryansk, December 1-2, 2022 / Bryansk State Agrarian University. Volume Part 1. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022. P. 859-862.
4. Aliev A. Yu., Aigubova S. A., Bulatkhanov B. B. Prevention of postpartum endometritis of cows using Metramag-15 // Current problems of veterinary reproductive science and modern solutions: Collection of scientific papers of the International scientific and practical conference, Makhachkala, September 19-20, 2024. - Makhachkala: Limited Liability Company "ALEF Publishing House". 2024. P. 32-37.
5. Kulpina A. A., Altynbekov O. M. Experience in treating postpartum endometritis of cows // Science of the young - for innovative development of the agro-industrial complex: Proceedings of the XIV National Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Ufa, November 17-18, 2021 / Ministry of Agriculture of the Russian Federation; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University"; Council of Young Scientists of the University. - Ufa: Bashkir State Agrarian University. 2021. P. 134-138.
6. Batrakov A. Ya., Plemyashov K. V., Serdyuk G. N. Current state of dairy farming in Russia and ways to improve its efficiency // Veterinary science. 2023. No. 6. P. 10-14.
7. Epizootic analysis of livestock farms unfavorable for factor infections / P. A. Rudenko, Yu. A. Vatnikov, A. A. Rudenko, et al. // Scientific Life. 2020. Vol. 15. No. 4(104). P. 572-585.
8. Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows / M. R. Carvalho, F. Penagaricano, J.E.P. Santos, et al. // Journal of Dairy Science. 2019. 102. P. 11701-11717. doi:10.3168/jds.2019-17025
9. Polozyuk O.N., Ushakova T.M. Hematology: study manual. Persianovsky: Donskoy SAU. 2019. P. 159.
10. Simonov P. G. Therapeutic efficacy of Argumistin® in postpartum and chronic endometritis in highly productive cows: specialty 06.02.06 "Veterinary obstetrics and biotechnics of animal reproduction": dissertation for the degree of candidate of veterinary sciences / Simonov Pavel Genadievich. - 2022. - P. 191.
11. Polyakov S. V., Terentyeva N. Yu., Ivanova S. N. Analysis of the effectiveness of preventive measures in the postpartum period in cows // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2020. No. 4 (52). P. 128-133.
12. Kravchenko V. M., Kravchenko G. A., Akulenko I. V. Etiology and prevalence of postpartum endometritis in cows on Korenovskoye Farm. Collection of Scientific Papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine. 2022. Vol. 11, No. 1. P. 200-203.
13. Mullayarova I. R. Prevalence of postpartum endometritis among cows // Actual problems of treatment and prevention of diseases of young animals: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the educational institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine", Vitebsk, November 4-6, 2024. - Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2024. P. 247-251.
14. Belyaeva N. Yu., Chekunkova Yu. A., Smolyaninov Yu. I. Changes in the morphobiochemical composition of blood in the treatment of acute postpartum endometritis in cows // Innovations and food security. 2019. No. 2 (24). P. 46-52.
15. Avramenko M. V., Chekrysheva V. V. Analysis of blood parameters of cows with postpartum purulent-catarrhal endometritis // Agricultural journal. 2023. No. 4 (16). P. 64-75.
16. Grigorieva T. E., Zakharovsky G. V. Parameters of cellular protective factors in clinically healthy cows and those with endometritis after parturition. Vestnik of the Chuvash State Agricultural Academy. 2018. No. 1 (4). P. 44-47.
17. Filin V. V. Improvement of the method of complex pharmacotherapy of cows with postpartum inflammatory diseases of the uterus: specialty 06.02.06 "Veterinary obstetrics and biotechnics of animal reproduction": abstract of a dissertation for the degree of candidate of veterinary sciences / Filin Vasily Vasilyevich. - Saratov. - 2016. - P. 22.
18. Complex treatment regimens for cows with purulent-catarrhal endometritis / O. N. Polozyuk, L. G. Voitenko, E. E. Ostrikova, et al. // Scientific notes of the educational institution Vitebsk Order of Honor State Academy of Veterinary Medicine. 2017. Vol. 53, No. 2. P. 123-126.
19. Leukocyte blood profile of cows with purulent-necrotic lesions in the hooves / D. N. Nadezhdin, E. M. Maryin, V. A. Ermolaev, et al. // Normative-legal regulation in veterinary medicine. 2024. No. 4. P. 82-85.

### Чревная артерия козы зааненской породы

А. И. Полянская<sup>✉</sup>, кандидат ветеринарных наук

Д. В. Васильев, кандидат ветеринарных наук, доцент

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

Санкт-Петербург, Черниговская улица дом 5 <sup>✉</sup>polyanskaya2808@mail.ru

**Резюме.** Одной из распространённых ветеринарных проблем в козоводстве являются патологии желудочно-кишечного тракта незаразной этиологии, особенно у молодняка. Самый критический период – это возраст введения прикорма, то есть перехода с молочного типа кормления на смешанный. С увеличением морфометрических параметров стенки камер желудка происходит и усиление васкуляризации органов. Основной артерией, обеспечивающей васкуляризацию многокамерного желудка, является чревная артерия. Цель исследования – дать топографическую и морфометрическую характеристику чревной артерии и ее основных магистралей у коз зааненской породы в возрасте одного месяца. Кадаверный материал представлен козами зааненской породы, достигшими одномесячного возраста в количестве 9 штук. Основными методами исследования послужили: тонкое анатомическое препарирование, морфометрия и фотография. Из основных ветвей чревной артерии у козлят наибольший просвет имеет печеночная артерия, просвет которой составляет 59% от диаметра чревной артерии. Такое значение обусловлено участием печеночной артерии в кровоснабжении не только печени, но и правой половины сычуга, двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы. Левая рубцовая артерия имеет наименьший относительный диаметр среди ветвей чревной артерии. Он достигает значения 48% от просвета магистральной артерии. При этом правая рубцовая артерия имеет наименьший диаметр и, следовательно, уступает в объеме движущейся по ней крови левой рубцовой артерии в 1,29 раза. Проведя анализ артерий, васкуляризирующих сычуг, стоит отметить разность диаметров сосудов правой и левой сторон. Так, диаметр левой желудочной артерии в 1,87 раза будет превышать значение диаметра правой желудочной артерии. А на большой кривизне сычуга наблюдается обратная картина: диаметра правой желудочно-сальниковой артерии в 1,52 раза больше диаметра одноименной артерии левой стороны.

**Ключевые слова:** чревная артерия, васкуляризация, коза, рубец, сычуг, морфометрия.

**Для цитирования:** Полянская А. И., Васильев Д. В., Чревная артерия козы зааненской породы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 99-105. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-99-105

### Celiac artery of the saanen goat

A. I. Polyanskaya<sup>✉</sup>, D. V. Vasiliev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine"

Saint Petersburg, Chernigovskaya Street, Building 5

<sup>✉</sup>polyanskaya2808@mail.ru

**Abstract.** One of the most common veterinary problems in goat farming is non-infectious gastrointestinal pathologies, especially in young animals. The most critical period is the age of introducing complementary foods, that is, the transition from milk to mixed feeding. As the morphometric parameters of the stomach chamber walls increase, so does the vascularization of the organs. The main artery providing vascularization of the multi-chambered stomach is the celiac artery. The aim of this study was to provide a topographic and morphometric characterization of the celiac artery and its main arteries in one-month-old Saanen goats. The cadaveric material was represented by Saanen goats that had reached one month of age. There are 9 celiac arteries. The primary research methods were fine anatomical dissection, morphometry, and photography. Of the main branches of the celiac artery in kids, the hepatic artery has the largest lumen, accounting for 59% of the celiac artery diameter. This value is due to the hepatic artery role in supplying not only the liver but also the right half of the abomasum, duodenum, and pancreas. The left cicatricial artery has the smallest relative diameter among the celiac artery branches, reaching 48% of the main artery lumen. Furthermore, the right cicatricial artery has the smallest diameter and, therefore, carries 1.29 times less blood than the left cicatricial artery. Analysis of the arteries vascularizing the abomasum revealed a difference in vessel diameters between the right and left sides. Thus, the diameter of the left gastric artery is 1.87 times greater than the diameter of the right gastric artery. However, on the greater curvature of the abomasum, the opposite is true: the diameter of the right gastroepiploic artery is 1.52 times greater than the diameter of the same artery on the left side.

**Keywords:** celiac artery, vascularization, goat, rumen, abomasum, morphometry.

**For citation:** Polyanskaya A. I., Vasiliev D. V. / Celiac artery of the saanen goat // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 99-105 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-99-105

**Введение**

Козоводство в Российской Федерации – достаточно перспективное направление, которое сочетает в себе ряд факторов, которые влияют на его развитие, такие как: экологичность, низкие затраты, высокая продуктивность [1]. В Северо-Западном регионе основное поголовье молочного направления, так как молоко коз отличается высоким процентом жирности и является гипоаллергенной продукцией, в которой содержится большое количество аминокислот, благоприятно влияющих на организм человека, в частности, повышает устойчивость к инфекционным заболеваниям [2]. Также аминокислотный состав козьего молока ближе по составу к женскому молоку в отличие от молока коров, поэтому его чаще применяют в детском питании. Помимо этого продуктами козоводства являются: мясо, шерсть и пух [3]. Одна из основных пород коз, которая разводится в России, – это зааненская, она отличается высоким надоем, который в среднем составляет 5 литров молока в сутки, но прихотлива к условиям и качеству кормления [2, 3]. Самая распространённая проблема, с которой сталкиваются ветеринарные врачи у молодняка, – это болезни желудочно-кишечного тракта [4, 5, 6]. В возрасте одного месяца козлят начинают подкармливать концентратами, сеном и водой, и в этот период начинается активное развитие преджелудков [7-11]. С увеличением морфометрических параметров стенки камер желудка происходит и усиление васкуляризации органов [12-14]. Основной артерией, обеспечивающей васкуляризацию многокамерного желудка, является чревная артерия [15, 16]. Ветеринарным врачам в хозяйствах при разработке оперативных доступов и совершенствовании техник операций на желудочно-кишечном тракте необходимо иметь четкие представления о васкуляризации области интереса, чтобы избежать негативных последствий и возможных осложнений при хирургических манипуляциях.

Цель – дать топографическую и морфометрическую характеристики чревной артерии и ее основных магистралей у коз зааненской породы в возрасте одного месяца.

**Материалы и методы**

Работу выполняли на базе кафедры анатомии животных Санкт-Петербургского университета ветеринарной медицины. В качестве объектов исследования послужили 9 трупов козлят зааненской породы месячного возраста, полученных в результате естественной гибели от заболеваний, не затрагивающих пищеварительную систему. Подбор материала проводили с учетом отсутствия патологических изменений в сосудистой системе и органах брюшной полости.

1. Были применены такие методы исследования, как: тонкое анатомическое препарирование, морфометрия и фотографирование. Осуществляли предварительную подготовку сосудистого русла: для четкой визуализации артерий проводили их инъекцию

латексной массой с последующей фиксацией [17, 18]. Морфометрический анализ проводили с использованием цифрового штангенциркуля с точностью до 0,01 мм. Полученные количественные показатели подвергали статистическому анализу с расчетом: среднего арифметического значения и стандартного отклонения. Обработку результатов проводили с использованием пакета Microsoft Office Excel 2021 с построением вариационных рядов (*Гланц С. Медико-биологическая статистика: пер. с англ. М.: Практика, 1999. 459 с.*). При интерпретации данных руководствовались принципами международной ветеринарной анатомической номенклатуры, что обеспечило стандартизацию терминологии.

**Результаты**

Брюшная аорта у козлят располагается под телами грудных и поясничных позвонков. Её диаметр неодинаков на всем протяжении и в среднем составляет  $5,58 \pm 0,62$  мм. В плоскости последнего межреберья от брюшной аорты в вентральном направлении отходит первая висцеральная ветвь – чревная артерия (a. celiaca). Последняя является основной артериальной магистралью, обеспечивающей кровью брюшную часть пищевода, камеры желудка, начальную часть двенадцатиперстной кишки, селезенку, печень, поджелудочную железу, большой и малый сальники. Чревная артерия – значительный по протяженности сосуд: её длина от места отхождения от брюшной аорты до ответвления первой ветви составляет  $24,6 \pm 1,72$  мм. Диаметр чревной артерии постоянен на всем протяжении и составляет в среднем  $3,02 \pm 0,24$  мм.

Ветвление чревной артерии имеет свои видовые особенности, зависящие от топографии органов эпигастриального отдела брюшной полости у козлят (рис. 1).

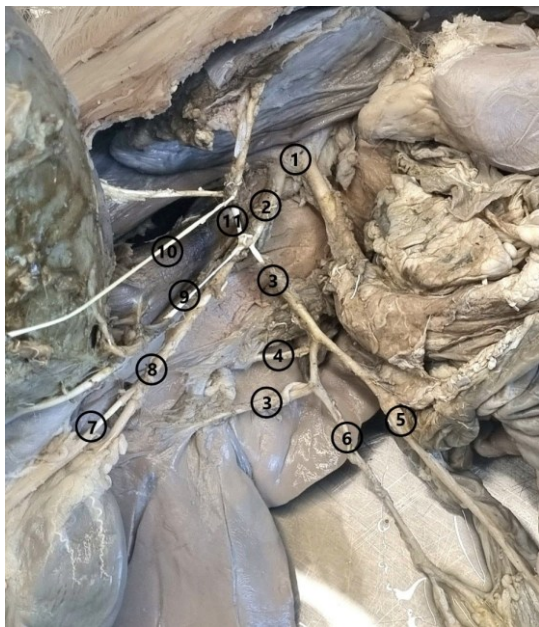
Первоначально от чревной артерии отходит печеночная артерия (a. hepatica), средний показатель диаметра которой составил  $1,78 \pm 0,11$  мм. Основные магистрали, отходящие от печеночной артерии, участвуют в кровоснабжении самой печени, а также: поджелудочной железы, желчного пузыря, пилорической части сычуга и начальной части двенадцатиперстной кишки. Длина участка печеночной артерии до отхождения первой ветви составляет  $22,14 \pm 1,53$  мм, где она отдает правую желудочно-сальниковую артерию (a. gastroepiploica dextra).

Мы установили, что правая желудочно-сальниковая артерия представляет собой сосуд со средним диаметром  $1,41 \pm 0,10$  мм. На начальном отрезке данный артериальный ствол проходит в толще брыжейки двенадцатиперстной кишки, следуя в направлении пилорического отдела сычуга. В области перехода на желудок артерия отдает ветвь – желудочно-двенадцатиперстную артерию (a. gastroduodenalis), которая является источником для кровоснабжения нисходящего отдела двенадцатиперстной кишки и тела поджелудочной железы. После отхождения указанной ветви основной ствол артерии



продолжает свой ход вдоль большой кривизны сычуга, участвуя в формировании его сосудистой сети.

Следующей сосудистой ветвью печеночной артерии является правая желудочная артерия (*a. gastrica dextra*), средний показатель просвета которой составляет  $0,94 \pm 0,05$  мм. Она направляется вдоль стенки двенадцатиперстной кишки, следуя к пилорусу сычуга и переходит на его малую кривизну.



**Рис. 1. Чревная артерия козы зааненской породы. Тонкое анатомическое препарирование. Инъекция сосудов латексом:**

1 – брюшная аорта; 2 – чревный ствол; 3 – печеночная артерия; 4 – пузырная артерия; 5 – правая желудочно-сальниковая артерия; 6 – правая желудочная артерия; 7 – левая желудочно-сальниковая артерия; 8 – левая желудочная артерия; 9 – левая рубцовая артерия; 10 – правая рубцовая артерия; 11 – селезеночная артерия.

При анализе ветвления печеночной артерии было установлено наличие сосудистой ветви, участвующей в кровоснабжении желчного пузыря – пузырной артерии (*a. cystica*). Данный сосуд берет начало от основного ствола печеночной артерии на участке ее прохождения по каудальной поверхности печени. Средний диаметр просвета пузырной артерии достигает значения  $0,86 \pm 0,07$  мм. Этот параметр свидетельствует о достаточно интенсивном кровоснабжении желчного пузыря, что коррелирует с его важной функцией в процессах желчеобразования и желчевыделения.

На висцеральную поверхность печени от печеночной артерии отходит: пузырная артерия (*a. cystica*), доставляющая кровь желчному пузырю. Средний показатель просвета пузырной артерии составляет  $0,86 \pm 0,07$  мм. Далее печеночная артерия проникает в ворота печени в центре средней доли. Здесь её диаметр уменьшается в 1,55 раза от первоначального значения и составляет  $1,15 \pm 0,07$  мм.

После ответвления печеночной артерии чревная артерия трифуркационно делится на левую желудочную, селезеночную и левую рубцовую артерии.

Левая желудочная артерия (*a. gastrica sinistra*) представляет собой сосудистый ствол диаметром  $1,76 \pm 0,13$  мм и протяженностью  $34,07 \pm 2,84$  мм. Левая желудочная артерия первоначально отдает функционально важную ветвь – левую желудочно-сальниковую (*a. gastroepiploica sinistra*). Она направляется по правой стенке сетки, достигая кардиального отдела сычуга и выходит на его большую кривизну. Своими конечными ветвями левая желудочно-сальниковая артерия формирует анастомотические связи с одноименной артерией противоположной стороны. По ходу основного ствола левой желудочной артерии отходят сосудистые ветви для книжки. Терминальные ветви магистрального сосуда в области малой кривизны сычуга формируют внутрисистемные анастомозы с правой желудочной артерией.

Следует отметить морфометрические параметры описанных артерий. Так, просвет левой желудочно-сальниковой артерий составляет почти 53% от диаметра левой желудочной артерии. Диаметр последней неодинаков на всем протяжении. Так, от места ответвления до области малой кривизны сычуга он уменьшается в 1,10 раза и будет равняться  $1,60 \pm 0,11$  мм.

Селезеночная артерия (*a. lienalis*) диаметром  $1,74 \pm 0,12$  мм будет давать начало таким артериям, как: правая рубцовая артерия и три ветви для селезеночных. Правая рубцовая артерия (*a. ruminalis dextra*) топографически располагается в правой продольной борозде рубца (*sulcus longitudinalis dexter ruminis*), следует в каудальном направлении. Достигая плоскости венечного желоба, отдает дорсально и вентрально направленные сосудистые ветви, питающие стенку каудальной части рубца и переходит с его висцеральной на париетальную поверхность в составе каудальной борозды. Диаметр правой рубцовой артерии составляет  $1,13 \pm 0,07$  мм.

Ветви для селезенки проникают внутрь органа и имеют практически равный диаметр, который составляет  $1,54 \pm 0,13$  мм.

Левая рубцовая артерия (*a. ruminalis sinistra*) является самостоятельной ветвью чревной артерии, ее диаметр в среднем равен  $1,46 \pm 0,09$  мм. В своей проксимальной части она отдает ряд мелких ветвей, участвующих в кровоснабжении брюшной части пищевода и поясничной части диафрагмы. Далее левая рубцовая следует по краниальной борозде рубца вниз и отдает сосудистые ветви в преддверия рубца и вентрального рубцового мешка. Затем своим дистальным участком она переходит на пристеночную поверхность рубца, и будет лежать в левой продольной борозде, где участвует в формировании анастомозов с конечными ветвями правой рубцовой артерии. Данные анастомотические связи обеспечивают компенсаторные возможности кровоснабжения

и равномерность распределения артериальной крови, особенно при изменении объема рубца.

**Таблица 1. Морфометрические значения ветвей чревной артерии козлят зааненской породы**

Название сосуда	Диаметр, мм	Относительный диаметр к просвету брюшной аорты, %
Брюшная аорта	5,58±0,62	100
Чревная артерия	3,02±0,24	54,12
Печеночная артерия	1,78±0,11	31,90
Правая желудочно-сальниковая артерия	1,41±0,10	25,27
Правая желудочная артерия	0,94±0,05	16,85
Пузырная артерия	0,86±0,07	15,41
Левая желудочная артерия	1,76±0,13	31,54
Левая желудочно-сальниковая артерия	0,93±0,06	16,67
Селезеночная артерия	1,74±0,12	31,18
Правая рубцовая артерия	1,13±0,07	20,25
Левая рубцовая артерия	1,46±0,09	26,16

#### Обсуждение

Особенности кровоснабжения многокамерного желудка жвачных всегда находились в поле зрения ветеринарных морфологов [8, 9, 12]. Чревная артерия является основной артериальной магистралью органов эпигастриального отдела, включая печень, камеры желудка, начальный отдел двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы [4, 10, 16]. Чревная артерия у козлят зааненской породы -значительный по протяженности сосуд: её длина от места отхождения от брюшной аорты до ответвления первой ветви составляет 24,6±1,72 мм. С. И. Мельников, М. В. Щипакин, В. А. Хватов в своей работе [12] отмечают, что у овец эдильбаевской породы чревная артерия имеет несколько вариантов ветвления, однако самым распространенным является магистральный тип. Первым сосудом, отходящим от чревной артерии у козлят зааненской породы, является печеночная артерия. Согласно данным исследования А. В. Прусаковой, Н. В. Зеленева [15] печеночная артерия у козлят англо-нубийской породы дихотомически делится на правую и левую печеночные ветви.

Нами отмечен трифуркационный тип ветвления чревной артерии козлят после отхождения от нее печеночной артерии. С. И. Мельников в своей работе отмечает последовательное отхождение сначала правой рубцовой артерии, затем селезеночной артерии и продолжение магистрали как левая желудочная артерия [8].

В особенностях кровоснабжения сычуга необходимо отметить наличие анастомотических связей на малой кривизне между конечными ветвями правой и левой желудочных артерий, правой и левой

желудочно-сальниковых артерий на большой кривизне. Аналогичные результаты у овец в своих работах отмечает С. И. Мельников [7].

#### Заключение

Чревная артерия является основной артериальной магистралью, обеспечивающей кровью брюшную часть пищевода, камеры желудка, начальную часть двенадцатиперстной кишки, селезенку, печень, поджелудочную железу, большой и малый сальники.

Из основных ветвей чревной артерии у козлят наибольший просвет имеет печеночная артерия, просвет которой составляет 59% от диаметра чревной артерии. Такое значение обусловлено участием печеночной артерии в кровоснабжении не только печени, но и правой половины сычуга, двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы.

Левая рубцовая артерия имеет наименьший относительный диаметр среди ветвей чревной артерии. Он достигает значения 48% от просвета магистральной артерии. При этом правая рубцовая артерия будет иметь наименьший диаметр, а следовательно, будет уступать в объеме движущейся по ней крови левой рубцовой артерии в 1,29 раза. Данные сосуды будут между собой образовывать анастомозы в каудальной борозде рубца.

Анализируя артерии, кровоснабжающие сычуг, следует отметить разность диаметров сосудов правой и левой сторон. Так диаметр левой желудочной артерии в 1,87 раза превышает значение диаметра правой желудочной артерии. На большой кривизне сычуга мы видим обратную картину: диаметр правой желудочно-сальниковой артерии в 1,52 раза больше диаметра одноименной артерии левой стороны.

#### Литература

- Новопашина С. И., Санников М. Ю. Технология содержания молочных коз // Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства, Ставрополь: 2018. 176 с.
- Щипакин М. В. Анализ гистогенеза молочной железы коз зааненской породы при смене функциональных состояний // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2013. № 4(20). С. 84-88.
- Анатомо-топографические особенности ветвления артерий молочной железы у козы англо-нубийской породы / М. В. Щипакин, Н. В. Зеленева, Д. С. Былинская, В. А. Хватов // Международный вестник ветеринарии. 2022. № 3. С. 162-166. doi:10.52419/issn2072-2419.2022.3.162
- Груздев П. В., Порублев В. А. Экстраорганные артерии двенадцатиперстной кишки одномесячных ягнят ставропольской породы // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2005. Т. 2. № 2. С. 124-126.
- Шпыгова В. М., Квочко А. Н. Изменения морфометрических параметров миоцитов правой рубцовой артерии желудка крупного рогатого скота

в постнатальном онтогенезе // Международный вестник ветеринарии. 2018. № 4. С. 135-139.

7. Особенности строения и топографии камер многокамерного желудка телят черно-пестрой породы / А. В. Прусаков, М. В. Щипакин, Н. В. Зеленовский, С. В. Вирунен, Д. С. Былинская, Д. В. Васильев // Иппология и ветеринария. 2017. № 2 (24). С. 34-38.

8. Мельников С. И., Щипакин М. В. Артериальное кровоснабжение сыгуча овец эдильбаевской породы // Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 15-летию со дня образования института биотехнологии и ветеринарной медицины «Актуальные вопросы развития аграрной науки», Тюмень, 12 октября 2021 года. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2021. С. 248-250.

9. Мельников С. И., Щипакин М. В. Архитектоника артериального русла многокамерного желудка овец эдильбаевской породы в возрастном аспекте // Международный вестник ветеринарии. 2020. № 2. С. 169-173. doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.2.169

10. Мельников С. И., Щипакин М. В. Топография и васкуляризация рубца у овец эдильбаевской породы в возрастном аспекте // Аграрное образование и наука - в развитии животноводства: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного работника сельского хозяйства РФ, почетного работника ВПО РФ, лауреата государственной премии УР, ректора ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Любимова Александра Ивановича. В 2-х томах., Ижевск, 20 июля 2020 года. Том I. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. С. 301-304.

11. Дилекова О. В., Лапина Т. И. Развитие и функциональная характеристика многокамерного желудка овец в пренатальном онтогенезе // Управление функциональными системами организма: м-лы Междунар. науч.-практ. интернет-конф., посвящ. 75-летию кафедры физиологии и 60-летию кафедры хирургии Ставропольского ГАУ. Ставрополь, 2006. С. 66-70.

12. Особенности строения и топографии камер многокамерного желудка телят черно-пестрой породы / А. В. Прусаков, М. В. Щипакин, Н. В. Зеленовский и др. // Иппология и ветеринария. 2017. № 2 (24). С. 34-38.

13. Оценка диаметра артериальных сосудов многокамерного желудка у овец эдильбаевской породы на разных этапах постнатального онтогенеза / С. И. Мельников, М. В. Щипакин, В. А. Хватов // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2023. № 1. С. 137-141.

14. Определение динамики прироста абсолютной массы камер многокамерного желудка овец эдильбаевской породы в разные возрастные периоды роста и развития / С. И. Мельников, Н. В. Зеленовский, В. А. Хватов // Иппология и ветеринария. 2023. № 1(47). С. 61-69.

15. Особенности кровоснабжения многокамерного желудка козы англо-нубийской породы / М. В. Щипакин, Н. В. Зеленовский, Д. С. Былинская и др. // Современные проблемы морфологии: Материалы научной конференции, посвященной памяти академика РАН, профессора Льва Львовича Колесникова, Москва, 10 декабря 2020 года. Москва: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2020. С. 265-267.

16. Прусакова А. В., Зеленовский Н. В. Особенности хода и ветвления печеночной артерии у новорожденных козлят англо-нубийской породы // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика: Материалы II Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых АПК, Рассвет, 12-15 мая 2020 года. Ростов-на-Дону. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. С. 189-192.

17. Прусаков А. В., Зеленовский Н. В. Артериальное кровоснабжение желчного пузыря козы англо-нубийской породы // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: Материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 19-20 ноября 2020 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2020. С. 289-290.

18. Универсальные методики изучения артериальной системы животных / М. В. Щипакин, Ю. Ю. Бартенева, Д. С. Былинская, Д. В. Васильев, А. С. Стратонов, В. А. Хватов // Актуальные проблемы ветеринарной морфологии и высшего зооветеринарного образования: Сборник трудов Национальной научно-практической конференции с международным участием, Москва, 14-16 октября 2019 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина», 2019. С. 66-70.

19. Хватов, В. А. Внедрение методики полимерного балъзамирования на кафедре анатомии животных ФГБОУ ВО СПбГУВМ / В. А. Хватов, М. В. Щипакин // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика: Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Москва, 01-04 июня 2021 года. Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина», 2021. С. 229-233.

20. Международная ветеринарная анатомическая номенклатура в России: история и современность / Н. В. Зеленовский, М. В. Щипакин, Д. С. Былинская и др. // Clío Anatomica: Сборник научных статей, посвященный 90-летию со дня основания кафедры нормальной анатомии Крымского медицинского института/университета/института КФУ им. В.И.

Вернадского / Под редакцией С.А. Кути. Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2021. С. 188-191.

#### References

1. Novopashina S. I., Sannikov M. Yu. Dairy goat farming technology // All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding, Stavropol: 2018. 176 p.
2. Shchipakin M. V. Analysis of mammary gland histogenesis in Saanen Goats with changes in functional states // Current Issues in Veterinary Biology. 2013. No. 4(20). P. 84-88.
3. Anatomical and topographic features of the branching of the mammary arteries in the Anglo-Nubian goat / M. V. Shchipakin, N. V. Zelenevsky, D. S. Bylinskaya, et al. // International Veterinary Vestnik. 2022. No. 3. P. 162-166. doi: 10.52419/issn2072-2419.2022.3.162.
4. Gruzdev P. V., Porublev V. A. Extraorgan arteries of the duodenum of one-month-old Stavropol lambs // Collection of scientific papers of the Stavropol Research Institute of Animal Husbandry and Forage Production. 2005. Vol. 2. No. 2. P. 124-126.
5. Shpygova V. M., Kvochko A. N. Changes in morphometric parameters of myocytes of the right cicatricial artery of the stomach of cattle in postnatal ontogenesis // International Vestnik of Veterinary Medicine. 2018. No. 4. P. 135-139.
6. Features of the structure and topography of the chambers of the multi-chamber stomach of Black-and-White calves / A. V. Prusakov, M. V. Shchipakin, N. V. Zelenevsky, et al. // Ippology and Veterinary Medicine. 2017. No. 2 (24). P. 34-38.
7. Melnikov S. I., Shchipakin M. V. Arterial blood supply of the sygok of Edilbaev sheep // Collection of materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 15th anniversary of the foundation of the Institute of Biotechnology and Veterinary Medicine "Topical issues in the development of agricultural science", Tyumen, October 12, 2021. Tyumen: State Agrarian University of Northern Trans-Urals, 2021. P. 248-250.
8. Melnikov S. I., Shchipakin M. V. Architectonics of the arterial bed of the multi-chamber stomach of Edilbaev sheep in the age aspect // International Vestnik of Veterinary Medicine. 2020. No. 2. P. 169-173. doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.2.169.
9. Melnikov S. I., Shchipakin M. V. Topography and vascularization of the rumen in Edilbaevskaya sheep in the age aspect // Agrarian education and science - in the development of animal husbandry: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Honored Worker of Agriculture of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, laureate of the State Prize of the Udmurt Republic, Rector of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Izhevsk State Agricultural Academy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor Alexander Ivanovich Lyubimov. In 2 volumes., Izhevsk, July 20, 2020. Volume I. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020. P. 301-304.
10. Dilekova O. V., Lapina T. I. Development and functional characteristics of the multi-chamber stomach of sheep in prenatal ontogenesis // Management of functional systems of the body: Proc. of the Int. scientific and practical Internet conference dedicated to the 75th anniversary of the Department of Physiology and the 60th anniversary of the Department of Surgery of Stavropol State Agricultural University. Stavropol, 2006. P. 66-70.
11. Features of the structure and topography of the chambers of the multi-chamber stomach of Black-and-White calves / A. V. Prusakov, M. V. Shchipakin, N. V. Zelenevsky, et al. // Ippology and veterinary science. 2017. No. 2 (24). P. 12.
12. Evaluation of the diameter of arterial vessels of the multi-chamber stomach in Edilbaev sheep at different stages of postnatal ontogenesis / S. I. Melnikov, M. V. Shchipakin, V. A. Khvatov // Normative-legal regulation in veterinary medicine. 2023. No. 1. P. 137-141.
13. Specification of the dynamics of the increase in the absolute mass of the chambers of the multi-chamber stomach of Edilbaev sheep at different age periods of growth and development / S. I. Melnikov, N. V. Zelenevsky, V. A. Khvatov, et al. // Ippology and veterinary science. 2023. No. 1 (47). P. 61-69.
14. Features of the blood supply to the multi-chamber stomach of the Anglo-Nubian goat / M. V. Shchipakin, N. V. Zelenevsky, D. S. Bylinskaya, et al. // Modern problems of morphology: Proceedings of the scientific conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor Lev Lvovich Kolesnikov, Moscow, December 10, 2020. Moscow: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2020. P. 265-267.
15. Prusakova A. V., Zelenevsky N. V. Features of the course and branching of the hepatic artery in newborn kids of the Anglo-Nubian breed // Actual issues of development of agricultural sectors: theory and practice: Proceedings of the II All-Russian (with international participation) scientific and practical conference of young scientists of the agro-industrial complex, Rassvet, May 12-15, 2020. Rostov-on-Don. Taganrog: Publishing House of the Southern Federal University, 2020. P. 189-192.
16. Prusakov A. V., Zelenevsky N. V. Arterial blood supply to the gallbladder of the Anglo-Nubian goat // Knowledge of young people for the development of veterinary medicine and the country agro-industrial complex: Proceedings of the international scientific conference of students, graduate students, and young scientists, St. Petersburg, November 19-20, 2020. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2020. P. 289-290.
17. Universal methods for studying the arterial system of animals / M. V. Shchipakin, Yu. Yu. Barteneva, D. S. Bylinskaya, et al. // Actual problems of veterinary morphology and higher zooveterinary education: Collection of works of the National scientific and practical

conference with international participation, Moscow, October 14-16, 2019. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K.I. Skryabin", 2019. P. 66-70.

18. Khvatov, V. A. Implementation of the polymer embalming technique at the Department of Animal Anatomy of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine / V. A. Khvatov, M. V. Shchipakin // Morphology in the 21st century: theory, methodology, practice: Collection of papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Moscow, June 1–4, 2021. Moscow: Federal State

Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K. I. Skryabin", 2021. P. 229–233.

19. International Veterinary Anatomical Nomenclature in Russia: History and Modernity / N. V. Zelenevsky, M. V. Shchipakin, D. S. Bylinskaya, et al. // Clio Anatomica: Collection of scientific articles dedicated to the 90th anniversary of the founding of the Department of Normal Anatomy of the Crimean Medical Institute/University/Institute of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky / Edited by S. A. Kuti. Simferopol: Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, 2021. P. 188-191.

### Клиническая эффективность использования препарата «Полиметилсилоксана полигидрат (ЭнтероЗоо)» при гастроэнтеральных расстройствах с диарейным синдромом бактериального происхождения у лабораторных крыс

А. В. Савинков, доктор ветеринарных наук, профессор

К. Д. Андриец, аспирант

ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет

446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2, a\_v\_sav@mail.ru

**Резюме.** Заболевания пищеварительной системы молодняка животных с диарейным синдромом имеют обширную этиологию и причиняют большой ущерб за счет гибели животных, развития вторичной патологии, существенных затрат на лечение. В целях решения этой проблемы компанией ООО «Фармасил» при экспериментальной разработке концепции использования энтеросорбента как самостоятельного средства предложена возможность применения препарата ЭнтероЗоо. Цель исследования: оценить возможность монотерапии с применением препарата ЭнтероЗоо при желудочно-кишечной комплексной бактериальной инфекции у лабораторных животных. Исследования были проведены на белых лабораторных крысах породы Wistar. Было сформировано 3 группы по 10 лабораторных крыс в каждой. Каждой крысе во всех группах в начале исследования для формирования расстройства пищеварения и развития диареи принудительно была введена смесь суточной культуры выделенных от больных животных с гастро-энтеральными заболеваниями: *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumonia*, *Acinetobacter towneri*. Животным контрольной группы на протяжении 7 суток подкожно 2 раза в сутки инъекцировали антибиотик цефтриаксон – 100 мг/кг. Животным этой группы вводилось внутривентриально по 1,0 мл 0,9% раствора натрия хлорида. Животные I группы на протяжении 7 суток в инъекционном виде получали цефтриаксон и принудительно 3 раза в сутки внутривентриально – препарат ЭнтероЗоо в количестве ½ чайной ложки. Животные II группы на протяжении 7 суток 3 раза в сутки принудительно внутривентриально получали только ЭнтероЗоо. Полное прекращение диареи у всех животных при использовании комплексной схемы лечения происходит на 3-й день, а полное выздоровление – на 4-й. При обычной антибиотикотерапии выздоровление задерживается на одни сутки. Суточные привесы крыс при комплексной терапии были больше контрольных на 48,7% ( $P \leq 0.01$ ). Двигательная активность в тесте на горизонтальном стержне была выше контрольных значений до 85,6% ( $P \leq 0.05$ ). Использование препарата ЭнтероЗоо как самостоятельного средства способствует прекращению диареи, однако не в состоянии купировать системный инфекционный процесс. У больных крыс отмечалось ухудшение в общем состоянии, выраженное угнетением двигательной активности, истощением и 20% падежом.

**Ключевые слова:** полиметилсилоксана полигидрат, ЭнтероЗоо, крысы, энтеросорбент, диарейный синдром, гастроэнтерит бактериального происхождения.

**Для цитирования:** Савинков А. В., Андриец К. Д. Клиническая эффективность использования препарата «Полиметилсилоксана полигидрат (ЭнтероЗоо)» при гастроэнтеральных расстройствах с диарейным синдромом бактериального происхождения у лабораторных крыс // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 106-113. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-106-113

### Clinical efficacy of «Polymethylsiloxane polyhydrate (Enterozoo)» for gastroenteric disorders with diarrheal syndrome of bacterial origin in laboratory rats

A. V. Savinkov, K. D. Andriets

Samara State Agrarian University

446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Uchebnaya Street, 2, a\_v\_sav@mail.ru

**Abstract.** Digestive system diseases with diarrheal syndrome in young animals have a broad etiology and cause significant damage due to animal mortality, secondary pathology, and significant treatment costs. To address this issue, Pharmasil LLC, in its experimental development of the concept of using an enterosorbent as a standalone treatment, proposed the use of Enterozoo. The aim of the study was to evaluate the feasibility of Enterozoo monotherapy for gastrointestinal complex bacterial infections in laboratory animals. The study was conducted on white Wistar laboratory rats. Three groups of 10 rats each were formed. At the beginning of the study, each rat in all groups was forcibly injected with a mixture of a daily culture of *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumonia*, and *Acinetobacter towneri* isolated from sick animals with gastrointestinal diseases to induce digestive upset and diarrhea. Animals in the control group received subcutaneous injections of the antibiotic ceftriaxone (100 mg/kg) twice daily for 7 days. Animals in this group received 1.0 ml of a 0.9% sodium chloride solution intragastrically. Animals in Group I received ceftriaxone by injection for 7 days and Enterozoo by force, 3 times daily, at a dose of ½ teaspoon, intragastrically. Animals in Group II received Enterozoo only by force, 3 times daily, intragastrically for 7 days. Complete cessation of diarrhea in all animals with the combined treatment regimen occurred on the 3rd day, and complete recovery occurred on the 4th. With conventional antibiotic

therapy, recovery was delayed by one day. Daily weight gain in rats receiving the combined treatment was 48.7% greater than in controls ( $P \leq 0.01$ ). Motor activity in the horizontal rod test was up to 85.6% higher than control values ( $P \leq 0.05$ ). The use of EnteroZoo as an independent agent helps stop diarrhea, but is unable to arrest the systemic infectious process. Sick rats showed a deterioration in their general condition, characterized by decreased motor activity, exhaustion, and a 20% mortality rate.

**Keywords:** polymethylsiloxane polyhydrate, Enterozoo, rats, enterosorbent, diarrhea syndrome, bacterial gastroenteritis.

**For citation:** Savinkov A. V., Andriets K. D. Clinical efficacy of «Polymethylsiloxane polyhydrate (Enterozoo)» for gastroenteric disorders with diarrheal syndrome of bacterial origin in laboratory rats // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 106-113 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-106-113

## Введение

Энтеросорбционные лекарственные вещества широко используют в ветеринарной медицине как адсорбирующие средства и средства, защищающие поверхность желудочно-кишечного тракта от агрессивных воздействий различной этиологии [1, 5]. Для борьбы с диспептическими явлениями применяются сорбентные препараты. В литературных источниках отмечается способность сорбентов извлекать посредством всасывания по градиенту обратной концентрации токсинов из крови [17]. В настоящее время в ветеринарной практике применяются следующие виды энтеросорбентов: углеродные, кремнийсодержащие, сорбенты химического происхождения, сорбенты на основе природных и синтетических полимеров, природные органические сорбенты [1].

Кремнийорганические сорбенты на основе полиметилсилоксана характеризуются гидрофобностью и высокой сорбционной способностью по отношению к органическим веществам, которая определяется их пористостью и природой заместителя у атома кремния [13]. Природные материалы для получения энтеросорбентов наиболее популярны и важны для сельского хозяйства, так как имеют наиболее выгодную материальную сторону, соответственно, продукция животноводства является наиболее экологичной. [17] В клинико-экспериментальных исследованиях установлено, что кремнийорганические сорбенты на основе полиметилсилоксана способствуют связыванию и выведению из организма эндогенных и экзогенных токсических веществ различной природы, включая антигены, лекарственные препараты и яды, соли тяжёлых металлов, сорбции ряда нежелательных продуктов обмена веществ, патогенных бактерий, ротавирусов, что снижает эндотоксинемию и облегчает детоксицирующую функцию печени [18, 19]. В отличие от известных углеродных энтеросорбентов и высокодисперсных кремнезёмов сорбенты на основе полиметилсилоксана полигидрата характеризуются явной селективностью: наиболее активно сорбирует среднемолекулярные токсические метаболиты и практически не связывает электролиты (ионы) и высокомолекулярные вещества. По величине сорбционной ёмкости полиметилсилоксана полигидрат практически в 2,0...2,5 раза превышает другие типы сорбентов [7].

К настоящему времени определены сферы применения энтеросорбентов. Среди них ведущее место занимают болезни, при которых сорбция позволяет элиминировать из организма аллергены, медиаторы аллергических реакций, циркулирующие иммунные комплексы. Сорбенты показаны при нарушении барьерной функции слизистых оболочек ЖКТ, так как многие токсические

вещества способны всасываться и приводить к эндотоксикозу, что часто встречается у животных. При дисбактериозе кишечника сорбенты в сочетании с пробиотиками восстанавливают микробиоценоз кишечника [2].

В условиях животноводства и птицеводства целесообразно вносить в корм специальные добавки, адсорбирующие либо нейтрализующие микотоксины, связывание и выведение которых при этом происходит в пищеварительном тракте. Эти добавки рекомендуется скормливать животным постоянно в качестве профилактического средства [10, 11].

Различные исследования свидетельствуют о необходимости использования препарата Энтерозоо в составе комплексной терапии при различных гастроэнтеральных патологиях с диарейным синдромом для молодняка продуктивных животных и птицы [6, 7, 14, 9, 17], учитывая, что заболевания пищеварительной системы молодняка сельскохозяйственных животных и птицы с клиническими проявлениями диарейного синдрома имеют весьма обширную этиологию. Заболевания такого типа широко распространены в условиях животноводческих, свиноводческих предприятий и птицефабрик и причиняют большой экономический ущерб за счёт падежа и низких привесов животных. Эти проблемы возникают в результате действующих технологических режимов и по этой причине нуждаются в дополнительной медикаментозной коррекции. В целях решения этой проблемы компанией ООО «Фармасил» предложена возможность применения препарата Энтерозоо. Для объективной оценки терапевтической эффективности препарата необходимо доказать его активность в отношении возбудителей желудочно-кишечных расстройств.

Цель исследования – оценить возможность монотерапии с применением препарата Энтерозоо при желудочно-кишечной инфекции бактериального происхождения у лабораторных животных.

Для реализации цели была поставлена следующая задача – провести клиническую оценку эффективности использования Энтерозоо при лечении искусственно смоделированной желудочно-кишечной бактериальной инфекции у лабораторных животных в качестве монотерапии и в сочетании с антибиотиком широкого спектра действия.

## Материал и методы

Клинико-экспериментальные исследования проводили на лабораторных белых крысах – самцах породы Wistar, массой тела 200-230 г с смоделированным диарейным синдромом бактериального происхождения общим числом животных 30 голов.



В начале опыта было сформировано 3 группы по 10 крыс в каждой. Каждому животному индивидуально в начале исследования было проведено заражение путем нескольких последовательных этапов внутрижелудочного введения микробной смеси из агрессивных условно-патогенных микроорганизмов в достаточном количестве для формирования устойчивого расстройства пищеварения и развития диарейного синдрома (подробности детально изложены в разделе результатов исследования).

Животные контрольной группы на протяжении семи суток получали в инъекционном виде антибиотик цефалоспоринового ряда – цефтриаксон, который вводили инъекционным способом подкожно, 2 раза в сутки с интервалом в 12 часов из расчета 100 мг/кг массы тела. Так как эта группа имела статус контроля, всем животным этой группы три раза в сутки вводили внутрижелудочно по 1,0 мл 0,9 % раствора натрия хлорида.

Животные I опытной группы получали в том же режиме антибиотикотерапию в сочетании с внутрижелудочным введением сорбента. Препарат Энтерозоо применяли крысам в соответствии с инструкцией в количестве  $\frac{1}{2}$  чайной ложки за один прием, три раза в сутки.

Животные II группы на протяжении семи суток 3 раза в сутки принудительно внутрижелудочно получали препарат Энтерозоо в дозе  $\frac{1}{2}$  чайной ложки на животное за одно введение.

Внутрижелудочное введение проводили посредством металлического изогнутого пищеводного зонда с металлической оливой на конце и одноразового пластмассового шприца системы Luer. Для удобства введения препарат разводился с водой в равных пропорциях.

В течение исследовательского периода вели наблюдение за клиническим состоянием животного. Оценивали следующие критерии: прием корма и воды, двигательная активность, наличие диареи, масса тела, кожные проявления, сроки купирования диарейного синдрома, сроки выздоровления, сохранность животных и др.

Для фиксации двигательной активности крыс применяли тесты вертикальной (ВДА) и горизонтальной двигательной активности (ГДА). ВДА оценивали путём подсчёта числа подъёмов на задние конечности, выполненных животными за трёхминутный интервал. ГДА определяли по времени, в течение которого животные удерживались на горизонтальном стержне.

Критериями оценки эффективности действия препарата расценивали по следующим признакам: ослабление, а затем и исчезновение клинических признаков заболевания; сокращение сроков выздоровления и реабилитации. Отсутствие таких признаков, как диарея с жидкими каловыми массами, характерных вынужденных поз, ослабление (отсутствие) аппетита, общее угнетение двигательной активности, отсутствие проявлений эндогенной и интоксикации у

лабораторных крыс с моделированным желудочно-кишечным расстройством бактериального происхождения расценивалось как клиническое благополучие.

На протяжении периода карантина и эксперимента животные находились в одинаковых условиях содержания и кормления. Исследования проводили в специализированном помещении, обустроенном в соответствии с санитарными нормами, установленными Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 29 августа 2014 года № 51 «Об утверждении СП 2.2.1.3218-14». Процессы акклиматизации и ухода за животными соответствовали требованиям ГОСТ Р ИСО 10993-2-2009. Крысы содержались в клетках из поликарбонатного материала с открытой верхней частью с металлической решеткой. Подопытные животные обеспечивались полноценным питанием. Для кормления использовали специализированный гранулированный корм, производящийся в соответствии со стандартом ПК-120 ГОСТ Р 51849-2011 Р.5 (ООО «Лабораторкорм», г. Москва). Животные получали чистую свежую воду без ограничения через специализированные пластиковые поилки с металлическим наконечником.

Клинические исследования проводили по классическим методикам в соответствии с общепринятой схемой исследований [3].

Исследуемый препарат — активная фармацевтическая субстанция полиметилсилоксана полигидрата (Энтерозоо) для ветеринарного применения. Представляет собой гелеобразную форму. Препарат содержит субстанцию полиметилсилоксана полигидрат — 60 %, очищенная вода — 40 %. Производитель - ООО «ТНК СИЛМА», Российская Федерация.

Клинико-фармакологическая группа: Энтеросорбент.

Фармако-терапевтическая группа: Энтеросорбирующее средство.

Фармакологическое действие: Кишечный адсорбент. Имеет пористую структуру кремнийорганической матрицы (молекулярная губка) гидрофобной природы, которая характеризуется сорбционным действием по отношению только к среднемолекулярным токсическим метаболитам (м.м. от 70 до 1000). Обладает выраженными сорбционными и детоксикационными свойствами.

Значения эффективности результатов исследования были рассчитаны в соответствии с методами вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента [8]. Статистической единицей было отдельное животное. Статистическая оценка производилась с использованием программы Excel Microsoft Office 2010 for Windows 7. Изменения по сравнению с контролем считались достоверными при вероятности  $p \leq 0,05$ .

#### **Результаты**

За семь суток перед проведением опыта у подопытных крыс отмечалась адекватная двигательная активность, животные хорошо употребляли корм и воду, каловые массы имели оформленный вид. В



этот период у животных была определена масса тела, а также были проверены их параметры двигательной активности – вертикальная двигательная активность (ВДА) и горизонтальная двигательная активность (ГДА). При оценке ВДА учитывалось количество вертикальных стоек, которые производила каждая крыса в произвольном порядке в течение 3-х минут. При определении параметров ГДА учитывалось время в секундах, за которое крыса удерживается на горизонтальном стержне в висающем положении за счет передних конечностей.

Для формирования устойчивого патологического состояния за пять суток до инфицирования животным в рацион были введены в большом количестве растительные сочные корма (сырая свекла и морковь), было ограничено количество основных кормов. Для формирования желудочно-кишечного расстройства каждой крысе внутримышечно в течение двух дней по одному разу в сутки вводилось 3 мл бактериальной смеси агрессивных условно-патогенных микроорганизмов.

Для инфицирования животных были использованы следующие культуры микроорганизмов, выделенных от больных животных с гастро-энтеральными заболеваниями: *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumonia*, *Acinetobacter towneri*. Бактерии предварительно выращивались на питательной среде, затем пересеивались на мясо-пептонный бульон (МПБ) и культивировались в отдельных пробирках в термостате при температуре 38°C в течение суток до выраженного замутнения среды. Суточные культуры отдельных микроорганизмов смешивались между собой в равных пропорциях и были использованы для инфицирования подопытных животных.

После двукратного введения патогена на 3 сутки у всех подопытных животных регистрировалась картина инфекционного желудочно-кишечного расстройства. Отмечалось учащение дефекации с разжиженными зловонными каловыми массами, у животных регистрировалось нарушение аппетита и двигательной активности. Крысы сбивались в кучу, внешне выглядели вялыми, апатичными, был существенно снижен мышечный тонус. Были нарушены характеристики внешнего вида: животные сильно горбились, подбирали под себя конечности, шерстный покров приобрел взъерошенный вид с желтоватым оттенком. Масса тела у животных во всех группах снизилась по сравнению с исходными значениями на 3,6-3,9%. Существенно сократились критерии двигательной активности: ВДА – в 10,5-13,5 раз; ГДА – на 39,4-50,7%. Таким образом, экспериментальное моделирование инфекционного гастроэнтерита бактериального происхождения у крыс было достигнуто.

В дальнейшем в соответствии с разработанным планом животные каждой группы получали собственное лечение в течение семи суток.

Внутрижелудочное введение осуществлялось при помощи шприца и специального металлического зонда с оливой на конце.

На второй день после начала лечения у животных всех групп произошло изменение в характеристиках каловых масс. В контрольной группе у 30% они приобрели оформленный вид, а у 70% – имели размягченную кашицеобразную консистенцию. У животных I группы аналогичные изменения произошли у 80% и 20% животных соответственно. Во II группе у 20% животных фекалии были жидкими, у 30% размягченными, а у 50% – имели оформленный вид.

На третий день лечения у животных контрольной группы происходит улучшение внешнего состояния и аппетита у 40%, оформленные фекалии отмечаются у 50% животных. У животных I группы, которые получали комплексную терапию, регистрируется оформленный кал у 100% животных. Аппетит и внешний вид восстанавливается у 50% животных. У крыс II группы улучшений внешнего состояния, а также употребления корма и воды не произошло. Каловые массы оформлены у 70% животных, в 20% они жидкие и у одной крысы размягченные.

Следует отметить, что в клетках, где содержались животные, получавшие в качестве лечения сорбент (2 и 3 группы), подстилка в значительной степени была более сухой и в меньшей степени испачкана фекалиями.

На четвертый день в контрольной группе достигается клиническое благополучие по состоянию внешнего вида и аппетита крыс. Однако еще регистрируется размягченные фекалии у 40% животных. В I группе отмечается полное восстановление животных по всем контролируемым параметрам. Во II группе оформленные каловые массы отмечаются у 80% крыс, у 20% животных они имеют размягченную консистенцию. У 40% животных произошло восстановление характеристик внешнего вида и аппетита.

На пятый день у всех животных контрольной и I опытной групп было достигнуто полное клиническое выздоровление. До конца эксперимента в этих группах рецидивов болезни не было установлено. Во II группе изменений по сравнению с картиной предыдущих суток не выявлено.

На шестой день произошел падеж одной крысы во II опытной группе. В оцениваемых критериях изменений не отмечено. На седьмой день пала еще одна крыса.

На восьмой, итоговый день во II группе отмечается восстановление консистенции каловых масс у 100% оставшихся животных. У 50% животных аппетит и внешний вид также улучшается, но эти животные выглядят похудевшими и ослабленными. У другой половины подопытных животных регистрируется выраженное исхудание, желтоватый взъерошенный шерстный покров, выражена горбатость, подборание конечностей под себя, под кожей отчетливо контрастирует позвоночник, мышечный тонус сильно понижен.

Результаты оценки двигательной активности подопытных животных представлены в таблице 1.

На второй день лечения ВДА несущественно увеличилась по сравнению с исходными значениями в 4,5 раза, 5 раз и в 3,9 раза в контрольной, в I и во II группах соответственно. ГДА у крыс контрольной и I опытной групп не имела существенных изменений, во II группе происходит дальнейшее снижение этого показателя на 48,6%.

На третий день лечения при анализе ВДА установлено, что в контрольной группе произошло увеличение этого показателя почти в два раза, в I и во II группе ВДА не улучшилось по сравнению с предыдущим замером. ГДА не изменилась в контрольной группе, в I группе отмечено выраженное увеличение на 73,8% по сравнению со значениями предыдущего дня. Во II группе данный показатель снижается на 14,5%. Следует отметить, что показатель ГДА у животных I группы был больше контрольных значений на 64,2% ( $P \leq 0.05$ ), а показатели во II группе были меньше контроля на 50,8% ( $P \leq 0.05$ ).

На четвертый день показатели вертикальной активности у животных всех трех групп находятся примерно на одинаковом уровне по сравнению со значениями предыдущего дня. ГДА уменьшилась в контрольной и в I группах на 17,7% и 27,1% соответственно. Во II группе несущественно увеличилась на 4 сек..

До конца опыта в контрольной и в I опытной группах отмечалась положительная динамика увеличения ВДА в 1,8 раза и в 2,5 раза по сравнению со значениями 4-х суток. Во II группе данный показатель существенно не изменялся. Число вставаний крыс колебалось в пределах 2,3...3,3 раза за 3 минуты. При этом различия между I опытной и контрольной группой до конца опыта были несущественными. Тогда как контрольный показатель был больше средних значений II группы на 40,7% ( $P \leq 0.05$ ) на пятый день; на 74,7% ( $P \leq 0.001$ ) на шестой день; на 72,4% ( $P \leq 0.001$ ) на седьмой день; 74,8% ( $P \leq 0.001$ ) в конце опыта.

Показатели ГДА в контрольной и I опытной группах до конца опыта имели тенденцию к увеличению. Различия с показателями четвертых суток составили соответственно 30,2% и 61,5%. Значения ГДА во II группе были существенно ниже. В итоге различия между I опытной группой и контролем составили в пользу опытной группы на пятый день 48,1%; на шестой день – 85,6% ( $P \leq 0.05$ ); на седьмой день на – 24,1%; на восьмой день – на 68,7% ( $P \leq 0.05$ ). Различия между II опытной группой и контролем составили в пользу контроля на пятый день 37,1%, на шестой день – 67,3% ( $P \leq 0.05$ ); на седьмой день – 75,4% ( $P \leq 0.01$ ); на восьмой день – 68,0% ( $P \leq 0.01$ ).

Данные оценки массы тела подопытных крыс в процессе опыта представлены в таблице 2.

Таблица 1. Динамика двигательной активности крыс

№ п/п	Период исследования, сут.	Вертикальная двигательная активность (число вертикальных стоек за 3 мин)			Горизонтальная двигательная активность (время удержания на стержне, с)		
		Группы животных			Группы животных		
		контроль (антибиотик)	I (антибиотик + сорбент)	II (сорбент)	контроль (антибиотик)	I (антибиотик + сорбент)	II (сорбент)
1.	- 7	10,5±1,67	10,4±0,99	9,5±2,35	49,1±6,78	41,3±7,78	48,5±15,50
2.	1	1,0±1,02	0,8±0,30	0,7±0,43	24,8±4,87	24,2±2,05	29,4±6,90
3.	2	4,5±0,90	4,0±1,30	2,7±0,95	23,5±6,77	24,0±4,23	15,1±2,68
4.	3	9,7±1,77	4,9±1,83	2,0±0,68	25,4±3,76	41,7±4,98*	12,9±1,57*
5.	4	6,9±2,89	4,6±0,98	2,0±1,12	20,9±1,98	30,4±1,92*	16,9±4,30
6.	5	8,1±1,61	7,4±1,43	3,3±0,49*	19,1±2,02	28,3±4,82	12,0±2,96
7.	6	9,1±1,04	9,7±1,68	2,3±0,55***	22,3±4,27	41,4±5,73*	7,3±0,50*
8.	7	10,3±1,22	11,5±1,79	2,8±0,71***	38,2±4,39	47,4±8,80	9,4±1,17***
9.	8	12,3±1,79	11,4±1,12	3,1±0,61***	29,1±3,29	49,1±8,09*	9,3±0,57***

Примечание – \* $P \leq 0.05$ ; \*\*\* $P \leq 0.001$  по отношению к значениям контрольной группы

Таблица 2. Динамика масса тела подопытных крыс, г

Период исследования / показатель	Группа животных		
	1	2	3
7 сут. до начала лечения			
$\bar{x} \pm Sx$ , г	219,6±3,05	219,7±2,77	221,2±2,41
Начало лечения			
$\bar{x} \pm Sx$ , г	211,2±3,08	211,2±2,43	213,1±2,29
Ср. сут. привес, г	-1,14±0,026	-1,21±0,085	-1,16±0,062
$\Delta x$ , %	96,4±0,10	96,1±0,24	96,3±0,19
Завершение опыта			
$\bar{x} \pm Sx$ , г	221,7±3,25	226,8±1,79	201,5±2,10***
Ср. сут. привес, г	1,50±0,075	2,23±0,166**	-1,93±0,060***
$\Delta x$ , %	105,0±0,24	107,4±0,62**	93,7±0,22***

Примечание – \* $P \leq 0.05$ ; \*\*\* $P \leq 0.001$  по отношению к значениям контрольной группы

На восьмой день опыта была проведена завершающая оценка массы тела подопытных крыс. Наиболее высокие суточные привесы за период

лечения были зарегистрированы в I опытной группе (2,23±0,166 г), привесы крыс в контрольной группе составили 1,50±0,075 г. Во II опытной группе

наоборот отмечали снижение массы тела подопытных животных ( $-1,93 \pm 0,060$  г). Различия между контролем и I опытной группой составили 48,7% ( $P \leq 0,01$ ); между контролем и II группы – 128,6% ( $P \leq 0,01$ ). Различия в итоговой массе тела крыс I группы по отношению к контролю составили 2,3%; II группы по отношению к контролю – 9,1% ( $P \leq 0,001$ ).

Использование препарата ЭнтероЗоо при экспериментально смоделированном желудочно-кишечном расстройстве бактериального происхождения у подопытных крыс в рекомендуемом режиме использования в сочетании с антибиотикотерапией оказалось более эффективным по сравнению с лечением при использовании только одного антибиотика. Использование препарата ЭнтероЗоо как самостоятельного средства способствует прекращению диареи, однако не в состоянии купировать системный инфекционный процесс.

### Обсуждение

В представленной работе использовался препарат ЭнтероЗоо. В исследовании Мороз. А.А. и Счисленко С.А. использовался препарат из коры лиственницы при остром эшерихиозе белых мышей. В вышеупомянутом опыте был получен следующий результат: применение сорбента, полученного из коры лиственницы, в течение двух суток в лечебных целях обеспечивало сохранность 80 % лабораторных животных при острой форме колибактериозной инфекции [12]. При исследовании сорбентов в целях купирования диарейного синдрома в опыте, который провели В.В. Великанов, А.Л. Лях, А.А. Малков, было выяснено, что за время проведения эксперимента животные обеих групп были подвижны, у них наблюдался хороший аппетит. При мануальном исследовании подопытных кроликов болезненности при пальпации брюшных стенок в области расположения ЖКТ отмечено не было. Акт дефекации не нарушен, фекальные массы сформированы, темно-коричневого цвета, плотной консистенции, округлой формы [2]. Эффективность сорбции у большинства испытанных веществ была проведена в опыте Жорова Г.А., Бричко Н.А., Захаровой Л.Л., Обрывина В.Н., Лемяевой С.В.: результаты показали высокую сорбционную активность в отношении свинца, за исключением смектита, вермикулита и ковелоссорба, которые активнее сорбировали кадмий. Высокий (более 50%) уровень сорбции свинца в основном проявлялся при массе навесок сорбентов более 0,1 г. У вермикулита и полисорба максимальная эффективность сорбции кадмия достигала 38...48,5 %, свинца – 31,1...40,5% при массе навесок от 0,05 до 0,1 г и дальнейшее увеличение массы к повышению сорбции не приводило. В то же время ферроцин, бифеж, ХЖ-90 и белая сажа в отношении свинца проявили высокую (более 50%) сорбционную способность уже при минимальной массе навесок, взятой в опыты (0,01 г), и с повышением массы эффективность сорбции возрастала: у ферроцианидных препаратов до 83,3...92,5 %, у белой сажи – до 94,9 %. Чага в условиях *in vitro* сорбировала

кадмия до 89,0 %, а свинца – до 95,1 % [15]. Сам препарат ЭнтероЗоо изучался и в работе В. Н. Романова и Н. В. Боголюбовой. Было выявлено повышение потребления сена у овец, получавших ЭнтероЗоо, при одинаковой даче концентратов. Благодаря этому потребление сухого вещества рациона повысилось на 12,9 %, сырого протеина – на 6,3 %, сырого жира – на 33,1 %, сырой клетчатки – на 28,8 %, БЭВ – на 5,8 %. Это было взаимосвязано с улучшением пищеварительных процессов в организме, что подтверждают изменения показателей рубцового пищеварения, отмечена интенсивность роста молодняка на 7,0 % [16]. В случае исследования терапевтических свойств препарата выявлено, что его использование даже на больных животных обеспечивает привес, в отличие от тех подопытных, кто препарат не получал.

Исходя из проведенного анализа литературных источников, удалось выяснить, что препараты различных фармакологических классов, обладающие эффектом энтеросорбции, наиболее оптимально проявляют свою эффективность при алиментарной интоксикации. Также удалось найти подтверждение эффективности данных средств при лечении кишечных инфекций. Однако сопоставительная оценка терапевтической эффективности самостоятельного использования сорбентов и в комплексе с антибиотикотерапией в доступной литературе в виде самостоятельного исследования не была обнаружена.

### Заключение

Применение препарата ЭнтероЗоо при экспериментально смоделированном желудочно-кишечном расстройстве бактериального происхождения у подопытных крыс в рекомендуемом режиме использования в сочетании с антибиотикотерапией оказалось более эффективным по сравнению с лечением при использовании только одного антибиотика. Полное прекращение диареи при использовании комплексной схемы лечения происходит на 3-й день, а полное выздоровление – на 4-й. При обычной антибиотикотерапии выздоровление задерживается на одни сутки. Суточные привесы крыс при комплексной терапии были больше контрольных на 48,7% ( $P \leq 0,01$ ). Двигательная активность в тесте на горизонтальном стержне была выше контрольных значений до 85,6% ( $P \leq 0,05$ ). Использование препарата ЭнтероЗоо как самостоятельного средства способствует прекращению диареи, однако не в состоянии купировать системный инфекционный процесс. По этой причине в группе крыс, где использовался только один сорбентный препарат, отмечалось ухудшение в общем состоянии животных, выраженное угнетение двигательной активности, истощение и падеж, который составил 20%.

### Литература

1. Альшин С. К., Пчельникова К. В., Скосырских Л. Н. Энтеросорбенты в ветеринарной медицине // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сборник LVI научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 01 марта 2023 года. С. 72-77

2. Великанов В. В., Лях А. Л., Малков А. А. Влияние препарата "Экофилтрум" на слизистую оболочку желудочнокишечного тракта кроликов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2011. № 2. С. 25-30.

3. Клиническая диагностика с рентгенологией / Е. С. Воронин, Г. В. Сноз, М. Ф. Васильев и др.; под ред. Е. С. Воронина. М.: Колос, 2006. 509 с.

4. Сорбция кадмия и свинца веществами, перспективными для создания композиционных препаратов на основе гексацианоферратов / Г. А. Жоров, Н. А. Бричко, Л. Л. Захарова и др. // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2023. № 3(47). С. 374-380.

5. Каракчеев А. А., Маннова М. С., Якименко Н. Н. Влияние полиметилсилоксана полигидрата на клинический статус и на показатели кала телят // Эффективное животноводство. 2019. № 8(156). С. 28-30.

6. Формирование антиоксидантной защиты в раннем постэмбриональном онтогенезе у цыплят на фоне применения пробиотика и энтеросорбента. / Л. В. Клетикова, М. С. Маннова, А.Н. Мартынов и др. // Иппология и ветеринария. 2021. Т. 39. № 1. С. 117-125.

7. Состояние здоровья телят и стратегия профилактики ранней постнатальной патологии. / Л.В. Клетикова, А.Н. Мартынов, Н.П. Шишкина и др. // Вестник аграрной науки. 2020. № 1 (82). С. 73-80.

8. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

9. Мигина Е.И. Применение энтеросорбентов в ветеринарии // Молодой ученый. - 2016. № 21 (125). С. 291-295.

10. Микулич Е. Л., Бородулина В. И. Анализ структурных изменений печени и биохимических показателей крови свиней при кормовых микотоксикозах и при применении многокомпонентного адсорбента микотоксинов «Фунгинорм» // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: электронный сборник статей XVII Международная научно-практическая конференция, Кемерово, 13–14 ноября. 2018 г. Кемеровский ГСХИ. Кемерово, 2018. С. 169-182.

11. Микулич Е. Л., Бородулина В. И. Эффективность применения адсорбента микотоксинов «Фунгинорм» в кормлении свиней // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференция, Курск, 11-13 декабря 2019 г. Курская ГСХА. Курск, 2019. С. 140-145.

12. Мороз А. А., Счисленко С. А. Перспективы применения лигниносодержащих сорбентов в ветеринарии // Ветеринария Кубани. 2020. № 4. С. 29-30.

13. Создание и перспективы использования модифицированных сорбентов в ветеринарной медицине. / Л. Г. Пьянова, Л. К. Герунова, В. А. Лихолобов, и др. // Вестник ОмГАУ. 2016. №2 (22). С. 138-146.

14. Романов В.Н. Применение препарата Энтерозоо жвачным животным. / В.Н. Романов, Н. В. Боголюбова // В сборнике: Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения. Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 174-181.

15. Романов В. Н., Боголюбова Н. В. Профилактическое действие препарата Энтерозоо в рационах жвачных животных // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 59-61.

16. Сенчук И. В., Дукальтетенко А. В. Применение сорбентных препаратов при комплексной терапии диспепсии телят // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 30(193). С. 156-165.

17. Шишкина Н. П., Клетикова Л. В., Мартынов А. Н. Эффективность энтеросорбента Энтерозоо при дегельминтизации лошадей // В сборнике: Наука. Исследования. Практика. Сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции. 2019. С. 29-33.

18. Eroglu N., Emekci M., Athanassiou C. G. Applications of natural zeolites on agriculture and food production // Journal of the Eroglu Science of Food and Agriculture. 2017. Vol. 97. No. 11. P. 3487-3499.

19. Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities / D. Y. Kim, A. Kadam, S. Shinde, et al. // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. Vol. 98. No. 3. P. 849–864.

20. New ion-exchanged zeolite derivatives: antifungal and antimycotoxin properties against *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 / G. D. Savi, W. A. Cardoso, B. G. Furtado, et al. // Materials Research Express. 2017. Vol. 4. No. 8.

## References

1. Alshin S. K., Pchelnikova K. V., Skosyrskikh L. N. Enterosorbents in veterinary medicine // Achievements of youth science for the agro-industrial complex: collection of the LVI scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, Tyumen, March 1, 2023. Pp. 72-77

2. Velikanov V. V., Lyakh A. L., Malkov A. A. Effect of the drug "Ecofiltrum" on the mucous membrane of the gastrointestinal tract of rabbits // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2011. No. 2. Pp. 25-30.

3. Clinical diagnostics with radiology / E. S. Voronin, G. V. Snoz, M. F. Vasiliev, et al.; edited by E. S. Voronin. Moscow: Kolos, 2006. 509 p.

4. Sorption of cadmium and lead by substances promising for the creation of composite preparations based on hexacyanoferrates / G. A. Zhorov, N. A. Brichko, L. L. Zakharova, et al. // Russian Journal of Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2023. No. 3 (47). P. 374-380.

5. Karakcheev A. A., Mannova M. S., Yakimenko N. N. Effect of polymethylsiloxane polyhydrate on the clinical status and fecal parameters of calves // Effective animal husbandry. 2019. No. 8 (156). P. 28-30.

6. Formation of antioxidant protection in early postembryonic ontogenesis in chickens against the background of the use of a probiotic and an enterosorbent. / L. V. Kletikova, M. S. Mannova, A. N. Martynov, et al. // *Ippology and Veterinary Science*. 2021. Vol. 39. No. 1. Pp. 117-125.
7. Health Status of Calves and Strategy for the Prevention of Early Postnatal Pathology. / L. V. Kletikova, A. N. Martynov, N. P. Shishkina, et al. // *Bulletin of Agrarian Science*. 2020. No. 1 (82). Pp. 73-80.
8. Lakin G. F. *Biometry*. Moscow: Higher School, 1980. 293 p.
9. Migina E. I. Use of Enterosorbents in Veterinary Medicine // *Young Scientist*. - 2016. No. 21 (125). Pp. 291-295.
10. Mikulich E. L., Borodulina V. I. Analysis of structural changes in the liver and biochemical parameters of blood of pigs with feed mycotoxicosis and with the use of the multicomponent mycotoxin adsorbent "Fungi-norm" // *Current trends in agricultural production in the global economy: electronic collection of articles of the XVII International scientific and practical conference, Kemerovo, November 13-14, 2018*. Kemerovo State Agricultural Institute. Kemerovo, 2018. Pp. 169-182.
11. Mikulich E. L., Borodulina V. I. Efficiency of using the mycotoxin adsorbent "Funginorm" in pig feeding // *Actual problems of youth science in the development of the agro-industrial complex: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Kursk, December 11-13, 2019*. Kursk State Agricultural Academy. Kursk, 2019. Pp. 140-145.
12. Moroz A. A., Schischenko S. A. Prospects for the use of lignin-containing sorbents in veterinary medicine // *Veterinary science of Kuban*. 2020. No. 4. Pp. 29-30.
13. Creation and prospects for the use of modified sorbents in veterinary medicine. / L. G. Pyanova, L. K. Gerunova, V. A. Likholobov, et al. // *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2016. No. 2 (22). Pp. 138-146.
14. Romanov V. N. Use of the drug Enterozoo in ruminants. / V. N. Romanov, N. V. Bogolyubova // *In the collection: Improving the competitiveness of animal husbandry and the tasks of personnel provision. Proceedings of the international scientific and practical conference*. 2018. P. 174-181.
15. Romanov V. N., Bogolyubova N. V. Preventive effect of Enterozoo in ruminant diets // *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2018. Vol. 32. No. 4. P. 59-61.
16. Senchuk I. V., Dukaltetenko A. V. Use of sorbent preparations in the complex therapy of calf dyspepsia // *News of agricultural science of Tavrida*. 2022. No. 30 (193). P. 156-165.
17. Shishkina N. P., Kletikova L. V., Martynov A. N. Efficiency of enterosorbent Enterozoo in deworming horses // *In the collection: Science. Research. Practice. Collection of selected articles from the proceedings of the International Scientific Conference*. 2019. pp. 29-33.
18. Eroglu N., Emekci M., Athanassiou C. G. Applications of natural zeolites on agriculture and food production // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017. Vol. 97. No. 11. pp. 3487-3499.
19. Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities / D. Y. Kim, A. Kadam, S. Shinde, et al. // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017. Vol. 98. No. 3. pp. 849-864.
20. New ion-exchanged zeolite derivatives: antifungal and antimycotoxin properties against *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 / G. D. Savi, W. A. Cardoso, B. G. Furtado, et al. // *Materials Research Express*. 2017. Vol. 4. No. 8.

#### 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (биологические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-114-120

УДК: 611.428:636.087.72:599.323.45

#### Морфологическое исследование лимфатических узлов крыс при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений

О. А. Душенина<sup>✉</sup>, кандидат биологических наук, доцент  
Л. Ю. Карпенко, доктор биологических наук, профессор  
Т. Н. Домнина, врач-терапевт Ветеринарного центра Прайд  
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины  
196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5  
<sup>✉</sup>olgpanchenkova@yandex.ru

**Резюме.** В статье рассмотрено морфологическое исследование лимфатических узлов белых лабораторных крыс линии Wistar при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений. Эксперимент проводили на самцах белых лабораторных крыс линии Wistar массой 200...250 г. В качестве минерально-кормовой добавки использовали «Хелавит С». По прошествии трех месяцев была проведена эвтаназия животных ингаляционными средствами в комбинации с инъекциями сверхдозы анестетика. Морфологический анализ проводили на макро- и микропрепаратах лимфатических узлов. Для общей оценки гистологической организации лимфатических узлов использовали окраску гематоксилин-эозином, для оценки накопления железа в лимфатических узлах применяли окраску препаратов берлинской лазурью по Перлсу. Различия клинико-морфологических показателей, оцениваемых на макропрепаратах лимфатических узлов животных из экспериментальной и контрольной групп, незначительные и находятся в пределах допустимой физико-анатомической нормы. Морфометрический анализ, проведенный на гистологических препаратах лимфатических узлов, не выявил различий между группами, следующие показатели находятся в пределах допустимых нормативов: диаметр коркового и мозгового вещества, периметр вторичного фолликула, периметр мантии, диаметр субкапсулярного синуса. Содержание железа в лимфатических узлах животных экспериментальной и контрольной групп при оценке по методу Перлса соответствует нормальным значениям (от 1+ до 3+). Таким образом, кормовая добавка на основе хелатных соединений не вызывает развития гемосидероза, который в дальнейшем может переходить в гемохроматоз. Минерально-кормовая добавка на основе хелатных соединений восполняет недополученные микроэлементы, не вызывая морфологических изменений лимфатических узлов крыс. Тем не менее при введении добавки животным необходимо точно рассчитывать дозировку во избежание возможного токсического действия.

**Ключевые слова:** лимфатические узлы, крыса, кормовая добавка, микроэлементы, железо.

**Для цитирования:** Душенина О. А., Карпенко Л. Ю., Домнина Т. Н. Морфологическое исследование лимфатических узлов крыс при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №4 (72). С. 114-120. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-114-120

#### Morphological study of lymph nodes of rats administered a chelated mineral feed supplement

О. А. Dushenina<sup>✉</sup>, L. Yu. Karpenko, T. N. Domnina  
FSBEI HE Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine,  
196084 St. Petersburg, Chernigovskaya Street, 5  
<sup>✉</sup>olgpanchenkova@yandex.ru

**Abstract.** This article examines a morphological study of the lymph nodes of Wistar albino laboratory rats administered a chelated mineral feed supplement. The experiment was conducted on male Wistar albino laboratory rats weighing 200–250 g. Helavit S was used as the mineral feed supplement. After three months, the animals were euthanized using inhalation agents combined with overdose anesthetic injections. Morphological analysis was performed on macro- and micro-preparations of lymph nodes. Hematoxylin and eosin staining was used for a general assessment of the histological organization of the lymph nodes, and Perls' Prussian blue staining was used to assess iron accumulation in the lymph nodes. Differences in clinical and morphological parameters assessed on macropreparations of lymph nodes from animals in the experimental and control groups were minor and within the permissible physical and anatomical norm. Morphometric analysis performed on histological preparations of lymph nodes revealed no differences between the groups; the following parameters were within acceptable limits: cortex and medulla diameter, secondary follicle circumference, mantle perimeter, and subcapsular sinus diameter. Iron content in the lymph nodes of animals in the experimental and control groups, as assessed by the Perls method, corresponds to normal values (from 1+ to 3+). Thus, the chelate-based feed additive does

not cause hemosiderosis, which can subsequently progress to hemochromatosis. The chelate-based mineral feed additive replenishes lost trace elements without causing morphological changes in the rat lymph nodes. However, when administering the additive to animals, it is necessary to accurately calculate the dosage to avoid possible toxic effects.

**Keywords:** lymph nodes, rat, feed additive, trace elements, iron.

**For citation:** Dushenina O. A., Karpenko L. Yu., Domnina T. N. Morphological study of lymph nodes of rats administered a chelated mineral feed supplement // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 114-120 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-114-120

## Введение

Иммунная система защищает организм млекопитающих от чужеродных бактерий, вирусов, грибов, собственных опухолевых клеток [1]. Иммунная система включает центральные органы, имеющие прямую связь с красным костным мозгом, а также периферические, которые автономны, однако, принимают активное участие в формировании клеточного и гуморального иммунитета [2]. К таким органам относятся лимфатические узлы.

Лимфатические узлы млекопитающих могут быть округлой, бобовидной и овальной форм [3]. Это паренхиматозные органы, состоящие из стромы и паренхимы [4]. Строма лимфоузлов включает в себя как соединительнотканый компонент, формирующий капсулу и трабекулы, так и ретикулярную ткань, которая образует саму строму органа. Паренхима лимфатического узла состоит из коркового вещества, представленного фолликулами (В-зависимая зона), мозгового вещества (мозговые тяжи, ретикулярные клетки и лимфоциты) и находящейся между ними паракортикальной зоны (Т-зависимая зона) [5].

Для нормального функционирования иммунной системы, синтеза антител, успешной дифференцировки В- и Т-лимфоцитов организму млекопитающих необходимы витамины, минеральные вещества, участвующие в биохимических процессах: обмене углеводов, липидов, белков, водно-солевом и минеральном обменах [6]. С кормом млекопитающие недополучают отмеченные выше витаминные и минеральные вещества, поэтому в их рационы целесообразно вводить биологически активные вещества [7].

Недостатком минерально-витаминных добавок является несоответствие заявленной производителем дозировки витаминов и микроэлементов с ежедневным количеством усвояемых активных веществ, то есть низкой биодоступностью [8]. Поэтому разрабатываются фармакологические формы минеральных препаратов с высокой усвояемостью, к таким средствам можно отнести хелатные комплексы в форме растворов, включающие в состав минералы и витамины, где хелатирующий агент связывает минералы, доставляет их к крипам тонкого отдела кишечника, где происходит их активное всасывание [9].

Однако применение их может сопровождаться развитием побочных реакций, возникновение которых зависит от самого препарата, от его дозы и состояния организма [10].

Известно, что в организме существуют механизмы детоксикации в отношении тяжелых металлов [11]. Чрезмерно длительное и интенсивное воздействие, возникающее вследствие увеличения

количества тяжелых металлов, в т. ч. железа в организме часто является причиной развития патологии различных органов и систем [12].

На сегодняшний день отсутствуют сведения об изменениях периферических органов иммунной системы в процессе развития такого рода интоксикации [13]. Более того информации по измерениям морфологических показателей и изменениям на микроуровне лимфатических узлов при воздействии железосодержащих препаратов практически нет. Учитывая протективную роль иммунной системы при различных патологических состояниях, в том числе при интоксикациях, исследование лимфатических узлов становится важной задачей [14].

Цель работы – морфологическое исследование макро- и микропрепаратов подмышечных лимфатических узлов белых лабораторных крыс линии Wistar при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений для определения наличия или отсутствия морфологических изменений в органах лабораторных животных.

На основании поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Оценить на макропрепаратах структурные и морфологические изменения в тканях лимфатических узлов методами клинко-морфологического и макроскопического сопоставления экспериментальных и контрольных образцов.
2. Оценить и сопоставить на микропрепаратах морфометрические показатели лимфатических узлов экспериментальной и контрольной групп животных.
3. Определить накопление железа в лимфатических узлах методом окраски микропрепаратов по Перлсу (берлинская лазурь).

## Материалы и методы

Исследование проводили на базе Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины на белых лабораторных крысах-самцах линии Wistar возрастом 7 мес., весом 250 г.

Для исследования были сформированы две группы животных (экспериментальная и контрольная) по 4 особи в каждой. Животные на всем протяжении исследования находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Опытная группа в течение трех месяцев перорально (по 0,02 мл) получала минерально-кормовую добавку на основе хелатных соединений «Хелавит С», а контрольная – по 0,02 мл перорально воду. Кормление животных осуществлялось готовым комбикормом для лабораторных животных (крыс) производства Тосненского комбикормового завода.

Наблюдение за животными вели в течение трех месяцев. Животные обеих групп на протяжении эксперимента были клинически здоровые, адекватно реагировали на внешние раздражители, рефлексы, зрение, слух, обоняние и вкус были сохранены. Движения животных были свободные и координированные. Тонус мускулатуры умеренный, кости конечностей не искривлены, суставы не увеличенные и подвижные. Постановка конечностей правильная. Положение губ, головы и шеи естественное. За весь период наблюдения гибели животных не произошло. Нарушений со стороны желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой, дыхательной, мочевыделительной систем не было отмечено.

По истечении трех месяцев была проведена эвтаназия животных ингаляционными средствами (изофлуран) в комбинации с инъекционным введением сверхдозы анестетика (новокаин). Посмертно был осуществлен забор биологического материала.

Были получены макропрепараты и изготовлены микропрепараты лимфатических узлов. На макропрепаратах оценивали структурные и морфологические изменения в тканях методом клинко-морфологического и макроскопического сопоставления экспериментальных и контрольных образцов.

После оценки макропрепаратов фрагменты исследуемых органов были использованы для приготовления гистологических срезов. Образцы были разрезаны на кусочки толщиной 3...4 мм, длиной 10 мм, зафиксированы в 10%-ном забуференном формалине в течение 24 часов. После этого материал промывали, проводили обезвоживание в этиловом и изобутиловом спирте, выдерживали в промежуточной среде (хлороформ-парафин) и пропитывали парафином. После проводки материал был залит в парафиновые блоки. На ротаторном микротоме были сделаны срезы, изготовлены микропрепараты, окрашены гематоксилин-эозином и по методу Перлса.

Метод окраски микропрепарата по Перлсу (ГИСТОПОИНТ, 3х 100 мл) позволяет выявлять депонированное трехвалентное железо в тканях. Исследование проводили согласно протоколу окрашивания, находящемуся в паспорте изделия.

В соответствии с техникой Перлса на микропрепарат наносят активирующий кислотный буфер и раствор основного фуксина в равных пропорциях, выдерживаются 30 минут, после чего промываются дистиллированной водой и затем наносят 2% ферроцианид калия на 2 минуты. В результате взаимодействия трехвалентного железа с реактивом Перлса образуется нерастворимый пигмент синего цвета, который и говорит о наличии трехвалентного железа в тканях. Таким образом, по количеству синего пигмента можно судить о накоплении железа либо о недостатке его в тканях.

Оценку запасов железа в тканях проводили минимум в 10 полях зрения, чтобы с достаточной степенью достоверности судить о наличии или отсутствии железа в лимфатических узлах. Полученные

результаты оценивали в плюсах, начиная от 1+, обозначающего небольшие частицы железа, едва видимые в макрофагах при использовании масляного объектива до 6+, что свидетельствовало об очень больших скоплениях и наличии внеклеточного железа. Запасы железа оценивали как нормальные, уменьшенные или повышенные, где показатели от 1+ до 3+ считали нормальными, от 4+ до 6+ - повышенными, а показатели от 0 до 1+ - пониженными. В качестве альтернативы запасы железа также могут быть оценены от 1 до +4. Окрашенные препараты исследовали с помощью микроскопа (ув.  $\times 1000$ ; ув.  $\times 40$ ).

Морфометрический анализ микропрепаратов проводили с помощью программы ImageJ. Минимум на 10 срезах для каждой особи проводили измерения: диаметр коркового и мозгового вещества лимфатического узла, соотношение коркового и мозгового слоев, периметр первичного и вторичного фолликулов, периметр герминативного центра, периметр мантии, диаметр субкапсулярного синуса, количество фолликулов в срезе.

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли нахождением средних арифметических значений и их стандартных ошибок, используя пакет программ Microsoft Office Excel 2018. Достоверность

различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента, различия считали статистически достоверными при  $p < 0,05$ .

#### **Результаты**

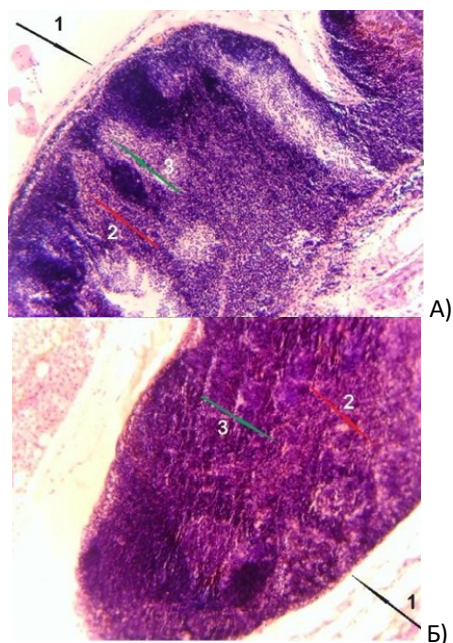
При проведении патологоанатомического вскрытия были извлечены подмышечные лимфатические узлы, оценены на макроскопическом уровне, после чего приготовлены микропрепараты.

На макроскопическом уровне подмышечные лимфатические узлы животных экспериментальной и контрольной групп округло-овальной формы, приблизительно 0,50 см в диаметре, упругой консистенции, подвижные. На разрезе лимфатический узел беловатого цвета, края органа сходятся, рисунок органа сохранен, поверхность разреза влажная.

Тонкая соединительная капсула легко снимается, гладкая. Строма органа гладкая, упругой консистенции. Четко видны корковый и мозговой слои. Цвет коркового вещества светло-серого цвета, мозгового - беловатого, соотношение коркового и мозгового вещества 1:3.

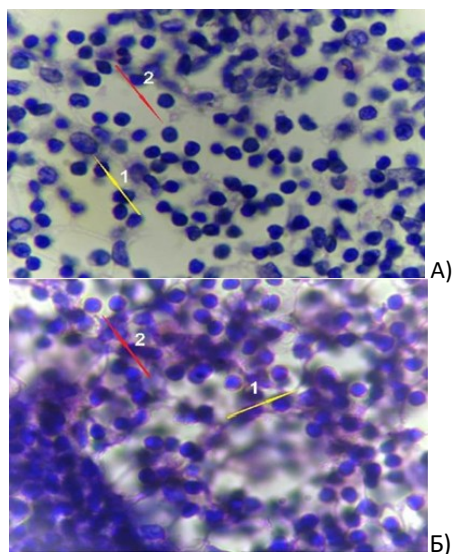
На гистологическом уровне подмышечные лимфатические узлы контрольной и экспериментальной групп животных снаружи покрыты тонкой соединительнотканной капсулой, состоящей из плотной волокнистой соединительной ткани, от которой внутрь органа отходили трабекулы. Между трабекулами находилась трехмерная сеть ретикулярной ткани. В строме присутствовали кровеносные сосуды и нервы (рис. 1).





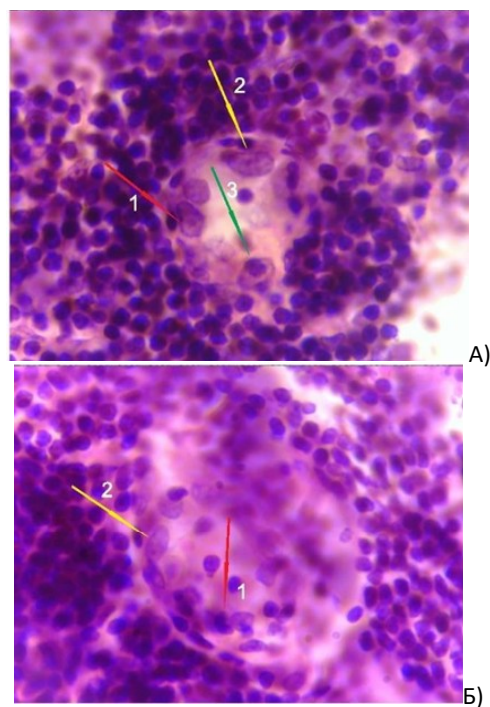
**Рис. 1.** Гистоархитектоника лимфатического узла крыс из контрольной (А) и экспериментальной (Б) групп: 1 – капсула органа, 2 – трабекулы, 3 – ретикулярная ткань. Окраска гематоксилин-эозин (об.  $\times 10$ ; ок.  $\times 10$ ).

У животных как контрольной, так и экспериментальной групп строма лимфатического узла состояла из ретикулярной ткани, включающей отросчатые ретикулярные клетки, связанные между собой ретикулярными волокнами. В петлях сети ретикулярной ткани на микропрепаратах располагались лимфоциты (не имели отростков, вокруг ядра цитоплазма не визуализируется) (рис. 2). Лимфоцитов на микрофотографии несколько, так как они составляют основу клеточного состава лимфоузла.



**Рис. 2.** Ретикулярная ткань стромы лимфатического узла крыс из контрольной (А) и экспериментальной (Б) групп: 1 – ретикулярные клетки, 2 – лимфоцит. Окраска гематоксилин-эозин (об.  $\times 100$ ; ок.  $\times 10$ ).

На исследуемых микропрепаратах паренхима органа у крыс как контрольной группы, так и у экспериментальной состояла из лимфоидной ткани, образующей корковое, мозговое вещества и паракортикальную зону. Корковое вещество образовано округлыми или овальными вторичными фолликулами, расположенными по периметру и представляющими собой фолликулы (узелки). Вторичные фолликулы – скопление лимфоцитов со светлым содержимым в центре и темным ободком по периметру каждого фолликула. Светлый центр фолликулы морфологически принадлежал к герминативному центру и имел асимметричную форму за счет крупных центробластов, находящихся с одной стороны. Также в герминативном центре на гистологических препаратах контрольной, так и экспериментальной групп животных находились centrocytes и dendritic cells (рис. 3).



**Рис. 3.** Герминативный центр вторичного фолликула лимфатического узла крыс из контрольной (А) и экспериментальной (Б) групп: 1 – centrocytes, 2 – дендритные клетки, 3 – центробласты. Окраска гематоксилин-эозин (об.  $\times 100$ ; ок.  $\times 10$ ).

Микроскопическое строение подмышечных лимфатических узлов крыс контрольной группы ничем не отличалось от строения подмышечных лимфатических узлов экспериментальной группы животных.

Далее приведена таблица, содержащая морфометрические показатели строения лимфатических узлов обеих групп животных (табл.1).

**Таблица 1. Морфометрические показатели подмышечных лимфатических узлов животных контрольной и экспериментальной групп**

Показатель	Контроль (M±m)	Опыт (M±m)
Диаметр коркового вещества, мкм	143,46±4,90	154,51±3,71
Диаметр мозгового вещества, мкм	25,31±5,31	27,64±4,36
Соотношение коркового и мозгового вещества, %	45,61±0,88	47,14 ±0,58
Периметр вторичного фолликула, мкм	484,34±24,37*	504,06±9,32
Периметр герминативного центра, мкм	155,73±1,84	179,89±11,26*
Периметр мантии, мкм	5,05±0,13	5,49±0,37
Диаметр субкапсулярного синуса, мкм	14,35±0,49	16,54±1,41
Количество фолликулов в срезе, шт	9,75±1,65	10,50±0,55

Различия показателей по сравнению с группой контроля статистически значимы при  $P < 0,05$ .

В соответствии с данными морфометрии подмышечных лимфатических узлов у животных контрольных и экспериментальных групп межгрупповой разницы в показателях практически нет. Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что минерально-кормовая добавка «Хелавит С» с элементами железа не вызывала структурных изменений в подмышечных лимфатических узлах.

**Таблица 2. Гистологические данные наличия молекулярного железа у крыс**

Гистологическая оценка	Присутствие железа в подмышечных лимфатических узлах	
	Контрольная группа	Экспериментальная группа
0		
+		1
++	3*	2
+++	1	1*
++++		
+++++		
++++++		
Всего особей	4	4

Различия показателей по сравнению с группой контроля статистически значимы при  $P < 0,05$ .

Наличие железа в лимфатических узлах как в экспериментальной, так и в контрольной группах животных соответствует нормальным значениям (от 1+ до 3+). Из чего можно сделать вывод, что минерально-кормовая добавка «Хелавит С» не способствует развитию гемосидероза (табл. 2).

#### Обсуждения

Полученные результаты представляют значительный интерес для современной ветеринарной медицины, так как использование минеральных добавок в животноводстве становится всё более распространенной практикой [15]. Однако, исследования наших коллег в данном направлении свидетельствуют об изменениях в морфологии

и на микропрепаратах тканей лимфатических узлов лабораторных крыс [16]. Отметим, что препараты вводились парентерально. Соответственно, изменения в тканях лабораторных животных, на наш взгляд, связаны с методом введения препарата. При пероральном введении препарата его всасывание происходит в тонком кишечнике, после чего доставляется к органам-мишеням. А при внутривенной инфузии препарат сразу циркулирует в кровотоке, однако, только 25% его объема остается в сосудистом русле, остальная часть уходит в межтканевое пространство [17].

Актуальность нашего опыта обусловлена растущим спросом на безопасные и эффективные способы обогащения рациона животных необходимыми микроэлементами без возникновения побочных эффектов. Однако, важно понимать их воздействие на здоровье животных, особенно на такие чувствительные структуры, как лимфатические узлы.

Лимфатические узлы – важные элементы иммунной системы, ответственные за фильтрацию лимфы и участие в иммунном ответе. Изучение их морфологии и микроструктур при воздействии изучаемого минерального комплекса помогает оценить влияние различных факторов на иммунитет.

Отсутствие различий в морфологии и содержании железа между группами крыс указывает на то, что добавка не оказывает негативного влияния на иммунную систему, что является важным аспектом при выборе кормовых добавок.

Изучение морфологии тканей при воздействии минеральных хелатных комплексов подтверждает безопасность применения «Хелавит С» с элементами железа для животных, что важно в контексте разработки и внедрения инновационных продуктов в животноводстве. Данные могут быть использованы для обоснования норм и стандартов в ветеринарной практике, а также в разработке новых безопасных кормовых продуктов.

Проведенный опыт не только подтверждает безопасность минерально-кормовой добавки «Хелавит С», но и открывает новые перспективы для изучения влияния добавок на иммунную систему животных, что имеет важное значение для сельского хозяйства и здравоохранения.

#### Заключение

1. Различия клинико-морфологических показателей макропрепаратов подмышечных лимфатических узлов животных из экспериментальной и контрольной групп одинаковые и находятся в пределах допустимой физико-анатомической нормы, что подтверждают следующие морфологические данные: размеры лимфатических узлов опытной и контрольной групп животных 50×25×15 мм, светло-бежевого цвета, упругой консистенции.

2. Морфометрический анализ, проведенный на микропрепаратах подмышечных лимфатических узлов, не выявил различий между группами, показатели находятся в пределах нормы. Разница между

показателями опытной и контрольной групп животных по диаметру коркового и мозгового вещества составляет 7,15% и мозгового вещества 7,32%, периметром вторичного фолликула 3,91% и периметром мантии 8,01%.

3. Минерально-кормовая добавка «Хелавит С» не вызывает накопления избыточного железа, которое будет откладываться в тканях иммунной системы и развивать гемосидероз, так как микроскопические включения железа в лимфатических узлах экспериментальной и контрольной групп животных соответствуют нормальным значениям (от 1+ до 3+).

Исследуемая минерально-кормовая добавка на основе хелатных комплексов восполняет недополученные с кормом микроэлементы, не оказывая токсического воздействия на подмышечные лимфатические узлы животных.

#### Благодарности

Авторы выражают благодарность д.б.н. Боголюбову Дмитрию Сергеевичу и д.б.н. Боголюбовой Ирине Олеговне за полезные советы и помощь в проведении данного исследования.

#### Литература

- Биологическая активность хелатов железа на основе *Bacillus* sp / А. Н. Сизенцов, Л. В. Галактионова, О. К. Давыдова и др. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2024. Т. 27. № 11. С. 48-55. doi:10.29296/25877313-2024-11-06
- Комплексы ЭДТА, тимидина и ионов  $\text{Cu}^{2+}$  по данным масс-спектрометрии / С. В. Пастон, А. И. Николаев, П. А. Ушков и др. // Журнал структурной химии. 2017. Т. 58. № 2. С. 410-416. doi:10.15372/JSC20170225. EDN YJVQVD.
- Васильева С. В., Карпенко Л. Ю., Душенина О. А. Поиск оптимальных способов забора крови у лабораторных крыс в условиях хронического // Генетика и разведение животных. 2022. № 4. С. 56-60. doi:10.31043/2410-2733-2022-4-56-60. EDN LHKVKV.
- Душенина О. А., Карпенко Л. Ю., Васильева С. В. Анализ методов взятия крови у экспериментальных крыс // Ветеринария Кубани. 2022. № 6. С. 21-24. doi:10.33861/2071-8020-2022-6-21-24. EDN JYFNKV.
- Новые пищевые источники эссенциальных микроэлементов. Комплекс цинка с ферментативным гидролизатом сывороточных белков коровьего молока / В. К. Мазо, С. Н. Зорин, И. В. Гмошинский и др. // Вопросы детской диетологии. 2003. Т. 1. № 6. С. 6-9. EDN IABTJR.
- Модифицирование природных цеолитовых туфов Мухор-Талинского месторождения органическими комплексами селена и йода / С. В. Хонихоева, С. Д. Жамсаранова, Е. В. Сордонова и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, № 2. С. 259-264. EDN OXPHWD.
- Новые пищевые источники эссенциальных микроэлементов.: Комплексы цинка, меди, марганца и хрома с ферментативным гидролизатом белка куриного яйца / С. Н. Зорин, М. Баяржаргал, Е. А. Бурдза и др. // Вопросы детской диетологии. 2005. Т. 3, № 4. С. 5-7. EDN IACNHN.
- Симонов Г. А., Кочеткова Н. А. Цитраты биометаллов в рационах цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2010. № 1. С. 42-43. EDN OOKPXX.
- Особенности люминесценции и светостойкости смешанных комплексов европия и гадолиния в полимерных пленках / И. Р. Мардалейшвили, Н. Л. Зайченко, Л. С. Кольцова и др. // Химия высоких энергий. 2023. Т. 57, № 3. С. 171-176. doi:10.31857/S0023119323030099. EDN KDOSJW.
- Влияние органоминерального хелатного комплекса на амилолитическую активность ферментов кишечника некоторых видов рыб / П. А. Полистовская, Л. Ю. Карпенко, И. А. Махнин и др. // Международный вестник ветеринарии. 2024. № 2. С. 198-205. doi:10.52419/issn2072-2419.2024.2.198. EDN BFHCTJ.
- Морфологическое исследование печени крыс при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений / О. А. Душенина, Л. Ю. Карпенко, И. О. Боголюбова и др. // Генетика и разведение животных. 2024. № 3. С. 107-113. doi:10.31043/2410-2733-2024-3-107-113. EDN NQBBDHL.
- Морфологическое исследование селезенки крыс при применении минерально-кормовой добавки на основе хелатных соединений / О. А. Душенина, Л. Ю. Карпенко, И. О. Боголюбова и др. // Генетика и разведение животных. 2024. № 4. С. 14-21. doi:10.31043/2410-2733-2024-4-14-21. EDN ZRHTVX.
- Панова Н. А. Клеточный иммунитет новорожденных мышат-самцов // SPbVetScience: сборник научных трудов. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2024. С. 123-129. EDN LVHWEC.
- Скопичев В. Г., Прозоровский В. Б. Физиологические основы фармакологии / Beau Bassin: Lap LAMBERT Academic Publishing, 2018. 335 с. EDN: YLBAPJ.
- Изменения морфологии лимфатических узлов мышей BALB/c под влиянием *Bifidobacterium bifidum* в условиях стресса / В. П. Косарева, О. В. Рубальский, Л. Г. Сентюрова и др. // Морфология. 2009. Т. 136, № 4. С. 82с. EDN LAGHYB.
- Морфология лимфатических узлов крыс при коррекции раннего посткомпрессионного периода синдрома длительного сдавления перфтораном / К. Я. Шугаева, А. А. Османова, М. А. Магомедов и др. // Фундаментальные исследования. 2014. № 7-5. С. 1054-1059. EDN TRTZOP.
- Морфология брыжеечного лимфатического узла крыс подросткового возраста при хронической интоксикации свинцом / П. А. Елясин, С. В. Залавина, А. Н. Машак и др. // Морфология. 2019. Т. 156, № 6. С. 94. EDN EIAUAX.

#### References

- Biological activity of iron chelates based on *Bacillus* sp / A. N. Sizenov, L. V. Galaktionova, O. K. Davydova, et al. // Issues of biological, medical and pharmacological

chemistry. 2024. Vol. 27. No. 11. P. 48-55. doi: 10.29296/25877313-2024-11-06.

2. Complexes of EDTA, thymidine, and Cu<sup>2+</sup> ions according to mass spectrometry data / S. V. Paston, A. I. Nikolaev, P. A. Ushkov, et al. // Journal of structural chemistry. 2017. Vol. 58. No. 2. P. 410-416. doi: 10.15372/JSC20170225. EDN YJVQVD.

3. Vasilyeva S. V., Karpenko L. Yu., Dushenina O. A. Search for appropriate methods of blood collection from laboratory rats under chronic conditions // Genetics and animal breeding. 2022. No. 4. P. 56-60. doi: 10.31043/2410-2733-2022-4-56-60. EDN LHKBKV.

4. Dushenina O. A., Karpenko L. Yu., Vasilyeva S. V. Analysis of methods of blood collection from experimental rats // Veterinary science of Kuban. 2022. No. 6. P. 21-24. doi: 10.33861/2071-8020-2022-6-21-24. EDN JYFNKV.

5. New food sources of essential microelements. Zinc complex with enzymatic hydrolysate of cow's milk whey proteins / V. K. Mazo, S. N. Zorin, I. V. Gmshinsky, et al. // Issues of Children's Dietetics. 2003. Vol. 1, No. 6, P. 6-9. EDN IABTJR.

6. Modification of natural zeolite tuffs of the Mukhor-Talinskoye deposit with organic complexes of selenium and iodine / S. V. Khonikhoeva, S. D. Zhamsaranova, E. V. Sordonova, et al. // Chemistry for Sustainable Development. 2012. Vol. 20. No. 2, P. 259-264. EDN OXPHWD.

7. New food sources of essential microelements: Complexes of zinc, copper, manganese and chromium with enzymatic hydrolysate of chicken egg white / S. N. Zorin, M. Bayarzhargal, E. A. Burdza, et al. // Issues of Children's Dietetics. 2005. Vol. 3. No. 4. P. 5-7. EDN IAC-NJH.

8. Simonov G. A., Kochetkova N. A. Biometal citrates in broiler chicken diets // Poultry Farming. 2010. No. 1. P. 42-43. EDN OOIKPX.

9. Features of luminescence and photostability of mixed europium and gadolinium complexes in polymer films / I. R. Mardaleishvili, N. L. Zaychenko, L. S. Koltsova, et al. // High Energy Chemistry. 2023. Vol. 57, No. 3. P.

171-176. doi: 10.31857/S0023119323030099. EDN KDOSJW.

10. Effect of organomineral chelate complex on the amylolytic activity of intestinal enzymes of some fish species / P. A. Polistovskaya, L. Yu. Karpenko, I. A. Makhnin, et al. // International Veterinary Vestnik. 2024. No. 2. P. 198-205. doi: 10.52419/issn2072-2419.2024.2.198. EDN BFHCTJ.

11. Morphological study of rat liver with the use of a mineral feed additive based on chelate compounds / O. A. Dushenina, L. Yu. Karpenko, I. O. Bogolyubova, et al. // Genetics and animal breeding. 2024. No. 3. P. 107-113. doi: 10.31043/2410-2733-2024-3-107-113. EDN NQBDHL.

12. Morphological study of the rat spleen when using a mineral feed additive based on chelate compounds / O. A. Dushenina, L. Yu. Karpenko, I. O. Bogolyubova, et al. // Genetics and animal breeding. 2024. No. 4. P. 14-21. doi: 10.31043/2410-2733-2024-4-14-21. EDN ZRHTVX.

13. Panova N. A. Cellular immunity of newborn male mice // SPbVetScience: collection of scientific papers. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2024. P. 123-129. EDN LVHWEC.

14. Skopichev V. G., Prozorovsky V. B. Physiological foundations of pharmacology / Beau Bassin: Lap LAMBERT Academic Publishing, 2018. 335 p. EDN: YLBAPJ.

15. Changes in the morphology of the lymph nodes of BALB/c mice under the influence of Bifidobacterium bifidum under stress conditions / V. P. Kosareva, O. V. Rubalsky, L. G. Sentyurova, et al. // Morphology. 2009. Vol. 136. No. 4. P. 82 p. EDN LAGHYB.

16. Morphology of the lymph nodes of rats during the correction of the early post-compression period of prolonged crush syndrome with perfluorane / K. Ya. Shugaeva, A. A. Osmanova, M. A. Magomedov, et al. // Fundamental research. 2014. No. 7-5. P. 1054-1059. EDN TRTZOP.

17. Morphology of the mesenteric lymph node of adolescent rats with chronic lead intoxication / P. A. El-yasin, S. V. Zalavina, A. N. Mashak, et al. // Morphology. 2019. Vol. 156. No. 6. P. 94. EDN EIAUAX.

## Возможности биомоделирования трихинеллеза, вызванного *Trichinella pseudospiralis* и *Trichinella spiralis*, у морских свинок

**О. Б. Жданова**, доктор биологических наук, профессор кафедры «Морфология, микробиология, химия и фармакология»<sup>1</sup>, заведующая лабораторией «Инновационные технологии пищевых производств»<sup>1</sup>, старший научный сотрудник лаборатории «Гельминтозоозы»<sup>3</sup>

**А. К. Мартусевич**<sup>✉</sup>, доктор биологических наук, профессор кафедры «Морфология, микробиология, химия и фармакология»<sup>1</sup>, заведующий межкафедральной учебной лабораторией<sup>2</sup> профессор кафедры «Физиология, биохимия животных и акушерство»<sup>2</sup>

**О. В. Часовских**, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой «Морфология, микробиология, химия и фармакология»<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»

610017, г. Киров, Октябрьский пр., 133

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева»

603117, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97.

✉cryst-mart@yandex.ru

<sup>3</sup>ФБГНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН»

109428, Москва, Рязанский пр., д. 24, к. 1

**Резюме.** Целью исследования было сравнительное изучение распределения личинок трихинелл, гематологических и иммуноморфологических показателей при инвазии *T. pseudospiralis* и *T. spiralis* у морских свинок. Методом аналогов сформировали 3 группы самок морских свинок (по 4 головы). Животных I группы заражали 10 личинками *T. pseudospiralis* на 1 г веса per os, а морских свинок II группы инвазировали в аналогичной дозе личинками *T. spiralis*, III группа была контрольной. Распределение личинок в мышцах осуществляли стандартными методами компрессорной трихинеллоскопии и пептолиза, также оценивали количество форменных элементов крови и морфологию кишечника (макро- и микроскопически) с акцентом на состояние лимфоидной ткани, ассоциированной с пищеварительным трактом. При одинаковых дозах введения гельминтов обнаружили, что инвазия у всех морских свинок была успешной как в случае применения *T. spiralis*, так и *T. pseudospiralis*. Интенсивность инвазии при заражении личинками *T. spiralis* составила  $22 \pm 3$  личинки, а *T. pseudospiralis* –  $43 \pm 5$  личинок в срезе. Причем все личинки *T. pseudospiralis* были живыми, обладали подвижностью. Несмотря на то, что при изучении распределения личинок отметили корреляцию в заселении ими отдельных групп мышц, распределение личинок в мышцах животных, инвазированных *T. pseudospiralis*, было более равномерным. Также при обоих вариантах инвазии наблюдали лейкоцитоз (при введении *T. pseudospiralis* –  $15,5 \pm 1,5 \times 10^9$ /л и *T. spiralis* –  $14,6 \pm 0,5 \times 10^9$ /л), относительное снижение концентрации эритроцитов ( $4,3 \pm 0,5 \times 10^{12}$ /л против  $5,6 \pm 0,5 \times 10^{12}$ /л в контроле) и увеличение количества псевдоэозинофилов (до 6,5% при 3% у здоровых животных). В целом показано, что морские свинки являются оптимальной моделью для воспроизведения и изучения иммунологических аспектов патогенеза трихинеллеза.

**Ключевые слова:** экспериментальная модель, морская свинка, иммуноморфология, трихинеллез, гематологические показатели

**Для цитирования:** Жданова О. Б., Мартусевич А. К., Часовских О. В. Возможности биомоделирования трихинеллеза, вызванного *Trichinella pseudospiralis* и *Trichinella spiralis*, у морских свинок // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 121-126. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-121-126

## Potential for biomodeling of trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis* and *Trichinella spiralis* among guinea pigs

**O. B. Zhdanova<sup>3</sup>, A. K. Martusevich<sup>1,2✉</sup>, O. V. Chasovskikh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>FSBEI HE Vyatka State Agrotechnological University

610017, Kirov, Oktyabrsky Ave., 133

<sup>2</sup>FSBEI HE Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L. Ya. Florentyev

603117, Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 97; ✉cryst-mart@yandex.ru

<sup>3</sup>FBSSI Federal Scientific Center – All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Skryabin and Ya.R. Kovalenko, Russian Academy of Sciences

109428, Moscow, Ryazansky Ave., 24, Bldg. 1

**Abstract.** The aim of the study was to comparatively investigate the distribution of *Trichinella* larvae, hematological, and immunomorphological parameters in case of *T. pseudospiralis* and *T. spiralis* infestations in guinea pigs. Three groups of female guinea pigs (4 animals in each) were formed using the analogue method. Animals in Group I were infected with 10

*T. pseudospiralis* larvae per 1 g of body weight per os, and guinea pigs in Group II were infested with a similar dose of *T. spiralis* larvae; Group III served as a control. Distribution of larvae in the muscles was determined using standard methods of compressor trichinelloscopy and peptolysis; the number of formed elements of the blood and the morphology of the intestine (macro- and microscopically) with an emphasis on the state of the lymphoid tissue associated with the digestive tract were also assessed. With the same doses of helminth administration, it was found that invasion in all guinea pigs was successful in case of both *T. spiralis* and *T. pseudospiralis*. The intensity of invasion during infection with *T. spiralis* larvae was  $22 \pm 3$  larvae per section, and with *T. pseudospiralis* -  $43 \pm 5$  larvae per section. Moreover, all *T. pseudospiralis* larvae were alive and mobile. Despite the fact that when studying the distribution of larvae, a correlation was noted in their colonization of individual muscle groups, the distribution of larvae in the muscles of animals invaded by *T. pseudospiralis* was more uniform. Also, with both types of invasion, leukocytosis was observed (with the introduction of *T. pseudospiralis* -  $15.5 \pm 1.5 \times 10^9/l$  and *T. spiralis* -  $14.6 \pm 0.5 \times 10^9/l$ ), a relative decrease in the concentration of erythrocytes ( $4.3 \pm 0.5 \times 10^{12/l}$  versus  $5.6 \pm 0.5 \times 10^{12/l}$  in the control) and an increase in the number of pseudoeosinophils (up to 6.5% versus 3% in healthy animals). Overall, it has been shown that guinea pigs are an appropriate model for reproducing and studying the immunological aspects of the pathogenesis of trichinellosis.

**Keywords:** experimental model, guinea pig, immunomorphology, trichinosis, hematological parameters

**For citation:** Zhdanova O. B., Martusevich A. K., Chasovskikh O. V. Potential for biomodeling of trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis* and *Trichinella spiralis* among guinea pigs // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 121-126 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-121-126

**Материалы подготовлены в рамках конкурса Российского научного фонда 2024 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (соглашение № 24-26-00043)**

### **Введение**

Морские свинки (*Cavia porcellus*) широко распространены в качестве домашних животных-компаньонов и в различных центрах биомоделирования как лабораторные животные. Эти животные относятся к отряду грызунов (*Rodentia*), к семейству свинок (*Caviidae*). В силу отсутствия агрессивности и относительной простоты содержания широко используются для проведения многих экспериментов. Это относительно крупные животные, их тело часто достигает 25...35 см, самцы часто имеют массу 1...1,5 кг, молодые самки чаще весят 700...900 г. Особи старше 1,5 лет могут достигать 1 кг и более, их окраска и опушение зависят от линии. В лабораторной практике используют альбиносов, но гораздо реже, чем белых крыс и мышей. Морские свинки достаточно рано достигают половой зрелости, но живут достаточно долго (3,5 года и более в лабораторных условиях, а при надлежащем кормлении и содержании - до 8 лет и более).

Наиболее близкими родственниками *Cavia porcellus* являются дикие и одомашненные морские свинки (*C. Tschudii*), которые в настоящее время встречаются в странах Южной Америки (Перу, Венесуэле, Аргентине, Бразилии и др.), где используются в пищу [1-3]. Первые упоминания об использовании морских свинок как лабораторных животных относятся к 80-м годам XVIII века, где они присутствовали в работах А.Л. Лавуазье по измерению теплопродукции [1, 4]. При использовании этих животных изучено огромное количество аспектов биологии и экспериментальной медицины. Также морская свинка является донором ряда компонентов системы крови и органов (слюнные железы морских свинок богаты индукторами регенерации тканей, клетки красного костного мозга и др.). Морских свинок широко применяют для моделирования различных заболеваний, таких как метаболические нарушения (в т.ч. для изучения влияния диет на метаболизм, роли

витамина С в организме), на аутбредных свинках линии Dunkin-Hartley изучен патогенез атеросклероза, астмы и т.д. Экспериментальная модель астмы на морских свинках была впервые представлена в 1937 г. Р. Kallós и W. Pagel [3]. Также на этих животных моделируют инфекционные заболевания (туберкулез, болезнь легионеров, хламидиоз, стафилококкоз и др. [5-7]) и некоторые паразитозы [8-10].

Учитывая вышесказанное, мы предприняли попытку инвазирования морских свинок *T. pseudospiralis* и *T. Spiralis* [8]. Об особенностях инвазии у этих животных впервые сообщил Б.Л. Гаркави (1974), он указывал на хорошую приживаемость личинок *T. Pseudospiralis*. Морские свинки оказались более восприимчивыми к заражению бескапсульным видом трихинелл по сравнению с *T. Spiralis* [11, 12]. Интенсивность заражения *T. pseudospiralis* оказалась в 28 раз большей при одинаковых дозах заражения, а также в мышцах было найдено почти в 2 раза больше личинок *T. pseudospiralis* [11, 13]. Актуальность исследования, помимо изучения множества аспектов патогенеза трихинеллеза, состоит в том, что при детальном изучении данной модели представляется возможным использование данных животных для наработки большого количества личинок для получения антигена, используемого в диагностических целях.

Цель исследования – сравнительное изучение распределения личинок трихинелл при инвазии *T. pseudospiralis* и *T. spiralis* и анализ гематологических и иммуноморфологических показателей.

### **Материалы и методы**

Методом аналогов сформировали 3 группы самок морских свинок (по 4 головы в каждой). Животных первой группы заражали личинками *T. pseudospiralis* (по 10 ед на 1 г веса per os), морских свинок второй группы инвазировали в аналогичной дозе личинками *T. spiralis*, а третья группа была контрольной. Морские свинки



после заражения содержались в стандартных условиях вивария в течение 60 дней. Во время эвтаназии осуществляли забор крови, затем отбирали группы мышц и комплекты кишечника, которые исследовали для изучения особенностей лимфоидной ткани, ассоциированной с пищеварительным трактом, при трихинеллезе, обусловленном *T. pseudospiralis* и *T. spiralis*. Распределение личинок в мышцах осуществляли стандартными методами компрессорной трихинеллоскопии (КТ) и пептолиза (переваривания в искусственном желудочном соке). Определяли количество эритроцитов и лейкоцитов в камере Горяева общепринятыми методами. Дифференциации лейкоцитов осуществлялась на выборке из 100 клеток, на мазках крови, окрашенных азур-эозином по Романовскому-Гимзе (соотношение красителя и дистиллированной воды - 1:10). После окрашивания препараты промывали дистиллированной водой и высушивали, помещали под увеличение  $\times 100$  и различные виды лейкоцитов регистрировали с помощью счетчика. Кишечник расправляли, промывали проточной водой, измеряли длину, определяли границу тонкого и толстого отделов, проводили их измерения, затем разрезали по брыжеечному краю и изготавливали плоскостные препараты по методу Hellman (1921), с просветлением в 1% уксусной кислоте. На тотальных препаратах определяли общее количество лимфоидных узелков и сгруппированных образований, изучали размер, форму, синтопию. Морфологические структуры описывали в соответствии с официальной терминологией.

Все манипуляции с животными проводили в соответствии с рекомендациями Commission of the European Communities, 86/609/EEC [2, 5, 14].

### Результаты

При исследовании методами КТ и пептолиза обнаружили, что все морские свинки были инвазированы как *T. spiralis*, так и *T. pseudospiralis*. Интенсивность инвазии (ИИ) при заражении *T. spiralis* составила  $22 \pm 3$  личинки, а при использовании *T. pseudospiralis* –  $43 \pm 5$  личинок в срезе. Причем все личинки *T. pseudospiralis* были живые, обладали подвижностью при исследовании (как при КТ, так и методом пептолиза). Несмотря на то, что при изучении распределения личинок отметили корреляцию в заселении ими отдельных групп мышц (табл. 1), распределение личинок в мышцах животных, инвазированных *T. pseudospiralis*, было более равномерным.

Количество эритроцитов у инвазированных *T. pseudospiralis* морских свинок было ниже, чем во всех остальных группах ( $4,3 \pm 0,5 \times 10^{12}/л$ ), у животных, инвазированных *T. spiralis*, количество эритроцитов было на нижней границе нормы ( $4,4 \pm 0,5 \times 10^{12}/л$ ), в контрольной группе этот показатель составил  $5,6 \pm 0,5 \times 10^{12}/л$ , при этом референсные значения, по данным М.В. Мирошниковой, М.А. Ковалевой, К.Т. Султановой (2024), для самок составляют  $4,4 - 6,1 \times 10^{12}/л$  [5].

Количество гемоглобина у животных, инвазированных *T. pseudospiralis* и *T. spiralis*, было на нижней границе нормы ( $11,5 \pm 0,5$  г/дл, и  $11,9 \pm 0,5$  г/дл). У

контрольных животных уровень гемоглобина крови был несколько выше  $12,5 \pm 0,5$  г/дл (при референтных интервалах для самок  $11...16$  г/дл, учитывая, что морские свинки имеют достаточно высокий диапазон нормальных значений). Количество лейкоцитов увеличено как у инвазированных *T. pseudospiralis*  $15,5 \pm 1,5 \times 10^9/л$  и *T. spiralis*  $14,6 \pm 0,5 \times 10^9/л$ , в контрольной группе оно составило  $8,7 \pm 0,5 \times 10^9/л$ , однако во всех группах оно не превышало референтные интервалы общего количества лейкоцитов крови, которое, по данным М.В. Мирошниковой с соавт (2024), составляет  $3,1...17 \times 10^9/л$  для самок морских свинок [5]. При дифференциации лейкоцитов учитывали, что нейтрофилы морских свинок также могут содержать эозинофильные яркие оранжево-розовые гранулы, эти клетки по функциональной активности соответствуют нейтрофилам млекопитающих, но из-за наличия эозинофильных гранул эти клетки имеют название гетерофилы (или псевдоэозинофилы), их количество при трихинеллезе *T. pseudospiralis* и *T. spiralis* было незначительно увеличено (6,5% и 4,5%), в контрольной группе показатель составил 3%.

Длина различных отделов кишечника при инвазии не изменялась, это обусловлено тем, что животные при заражении трихинеллами достигли половой зрелости и были рандомизированы по длине тела ( $26,5 \pm 1,5$  см), при вскрытии обнаружено, что общая длина кишечника варьировала как у опытных, так и у контрольных животных и составила  $208,4 \pm 67,2$  см;  $179 \pm 26,2$  см и  $214,75 \pm 17,5$  см соответственно.

Двенадцатиперстная кишка у всех морских свинок инвазированных и контрольной группы имела два характерных изгиба, ее длина составила  $14,2 \pm 3,7$  см и  $12,9 \pm 2,5$  см у инвазированных животных 1-й и 2-й групп соответственно, а у контрольных животных –  $13,5 \pm 3,9$  см. Собственная слизистая оболочка формирует ворсины и крипты, имеется хорошо выраженная диффузная лимфоидная ткань в виде узелков и скоплений.

Учитывая то, что иммунологическая роль тощей и подвздошной кишки при трихинеллезе одинакова, их длина измерялась вместе. Этот показатель у животных 1-й группы составил  $95,1 \pm 7,4$  см, у свинок 2-й группы –  $87,5 \pm 7,5$  см, а в 3-й группе –  $90,6 \pm 9,4$  см.

Известно, что конечный отдел тонкого кишечника при переходе в слепую кишку формирует характерное подвздошно-слепое устье, где имеется сфинктер, не позволяющий химусу поступать обратно при антиперистальтических движениях. В области сфинктера имеется диффузное скопление лимфоидной ткани, более выраженные у инвазированных животных. При снятии слизистой оболочки в подслизистой основе на всем протяжении тонкого кишечника обнаруживаются солитарные лимфоидные фолликулы, в отличие от узелков слизистой оболочки они не имеют тесной связи с эпителием, они также состоят из Т-и В-лимфоцитов и макрофагов, которые участвуют в обработке антигена и дальнейших межклеточных взаимодействиях, и далее сенсибилизированные лимфоциты поступают в лимфатический грудной проток и в сердечно-сосудистую систему.

Таблица 1. Распределение личинок трихинелл *T. spiralis* и *T. pseudospiralis* при экспериментальном трихинеллезе у морских свинок

Группа мышц	Среднее количество личинок в срезе при инвазии <i>T. pseudospiralis</i>	% в исследуемых мышцах от общего количества личинок при инвазии <i>T. pseudospiralis</i>	Среднее количество личинок в срезе при инвазии <i>T. spiralis</i>	% в исследуемых мышцах от общего количества личинок при инвазии <i>T. spiralis</i>
<i>Мышцы головы:</i> Язык	33,6±0,5	9,4%	23,6±1,5	17%
Жевательные	44,2±0,3	12,05%	24,2±1,5	19%
<i>Мышцы шеи</i>	41,1±0,05	11,05%	11,1±2,5	10%
<i>Мышцы грудной конечности:</i> Проксимальная группа мышц	31,5±0,05	8,7%	11,5±2,5	8%
Дистальная группа мышц	42,3±1,1	11,4%	22,3±1,1	9%
Диафрагма	38,5±0,5	10,5%	22,5±4,3	14%
Межреберные	38,6±0,1	10,5%	21,5±0,05	9%
Поясничные	29,5±0,1	8,3%	21,8±0,05	9%
<i>Мышцы хвоста</i>	38,4±0,5	10,4%	21,9±0,3	5%
<i>Мышцы задней конечности:</i> Проксимальная группа мышц	28,1±0,1	7,8%	23,1±0,05	10%
Дистальная группа мышц	38,2±0,05	10,1%	28,2±0,05	17%

Важную роль в иммунном ответе при трихинеллезе также играет система адаптивного иммунитета в деятельности толстой кишки, которая также соприкасается с антигенами трихинелл, поступающими с содержимым из тонкого кишечника. Длина слепой кишки 18,4±4,4 см у животных 1-й группы, у животных 2-й группы 17,5±1,5 см, и 17,9±4,4 см – у контрольных животных соответственно. Слизистая оболочка кишечной стенки у морской свинки в слепой кишке имеет рельеф в области утолщения мышечной оболочки (тении), по данным Слесаренко Н.А. с соавт. (2019), имеет многочисленные овальные лимфатические фолликулы, причем средняя площадь этих лимфоидных узелков 0,0003 см<sup>2</sup> [6], при инвазии капсульным и бескапсульным видами их количество и качество практически не изменялось.

Помимо лимфоидных узелков у морской свинки в области подвздошно-слепого соединения и верхушки слепой кишки имеются лимфатические узлы, расположенные группами. Данные лимфатические узлы хорошо выражены как у инвазированных, так и у контрольных животных. Обе группы лимфоузлов (проксимальные и дистальные) не имели значительных отличий при макроанатомическом исследовании, они были правильной формы, кремово-белого цвета, характерного для морских свинок. Дистальные лимфоузлы (3,5±1,25) хорошо визуализировались в корне брыжейки толстой кишки и имели розовый оттенок у инвазированных животных.

Известно, что на границе слепой и ободочной кишок имеется слепоободочный клапан, способствующий задержке кишечного содержимого, в том числе - антигенов трихинелл. В области клапана также имеется лимфоидная ткань в виде кольца, которое у инвазированных животных выражено сильнее. У морской свинки ободочная кишка на границе со слепой образует ампулообразное расширение с заметными на ее поверхности лимфатическими фолликулами выявлены диффузные скопления лимфоидной ткани. Так как у данных животных антиперистальтические движения ободочной кишки

возвращают бактериальную массу в слепую кишку, то одновременно происходит задержка антигенов. Длина ободочной кишки у морских свинок 1-й группы составила 77,4±16,4 см, у 2-й группы – 64,75±4,75 см, у контрольных животных – 75,3±11,4 см. Прямая кишка у морской свинки характеризуется тем, что ее мышечная оболочка в норме утолщается, что было характерно и для инвазированных, и для клинически здоровых животных, причем длина ее наименее варьировалась во всех группах животных и составила 9,8±1,2 см; 9,4±1,7 см, и 9,6±1,2 см соответственно.

#### Обсуждение

При инвазии *T. pseudospiralis* у морских свинок личинки приживаются лучше, чем у белых крыс, и распределяются в мышцах более равномерно. Влияние на успешность моделирования оказывают возраст животных, вид трихинелл и дозы. Так, например, Б.Л. Гаркави (1974) сообщает о гибели части животных при инвазии *T. pseudospiralis*. F. Fariña, F. M. Pasqualetti, J. Ilgova и др. (2016) сообщают об особенностях инвазии морских свинок *Trichinella patagoniensis* [15]. С иммунологических позиций моделирование данного зооноза у морских свинок обусловлено сходством ряда иммунных белков и сигнальных молекул морских свинок и человека. Кроме того известно, что морская свинка является хорошей моделью по оценке пролиферативной активности лимфоцитов при различных инфекционных и неинфекционных процессах, а также изучения продукции цитокинов (IFN $\gamma$ , IL-8, IL-12 и др.) и реакций гиперчувствительности немедленного и замедленного типа из-за наибольшего сходства с таковыми у человека [5, 12, 16]. Лабораторные мыши при моделировании трихинеллезной инвазии занимают одно из первых мест благодаря относительной простоте и низкой стоимости их содержания, однако эти животные не пригодны для получения большого количества антигена из-за их маленьких размеров. Обычно используются беспородные белые мыши, хотя предпочтительнее линии BALB/c и различные гибриды, у



которых хорошо изучен иммунологический статус, морфо-функциональные особенности Т- и В-лимфоцитов и формирование адаптивного иммунитета [7]. Так, например, при введении рекомбинантного белка (rTs-Adsp) мышам линии BALB наблюдали снижение количества личинок трихинелл в мышцах при проверочном заражении на 46,5%, что указывает на формирование полноценного иммунного ответа у данной линии. Кроме того, имеются линии трансгенных мышей (в частности, с гиперпродукцией IL-4, IL-5, с гиперэозинофилией [13, 14], что особенно важно для изучения иммунологических и аллергических аспектов трихинеллеза). Моделирование трихинеллеза у крыс позволяет провести комплексную иммуноморфологическую оценку большего количества параметров, а также получать большую массу личинок по сравнению с мышами, также по сравнению с мышами у них больше цитокинов IL-4 и IFN $\gamma$ , IgE, а также эозинофилов и тучных клеток [3, 9, 17]. Несмотря на наличие подходящих для моделирования трихинеллезной инвазии лабораторных животных, морские свинки имеют явное преимущество благодаря сходству с человеком системы комплемента, ряда белков, комплекса гистосовместимости и др., хотя ограничением в широком использовании морских свинок в отличие от мышей и крыс в экспериментальной фармакологии является недостаточное количество видоспецифических реагентов для определения цитокинов, хемокинов и антител [3, 8, 10].

Учитывая удобство изучения иммунологических процессов у морских свинок, данное животное является оптимальной моделью для воспроизведения и изучения иммунологических аспектов патогенеза трихинеллеза. Нами предпринята попытка описать наиболее важные гематологические и иммуноморфологические показатели у животных, инвазированных *T. pseudospiralis* и *T. spiralis* и установлено, что при инвазии *T. pseudospiralis* личинки в мышцах распределяются равномерней, чем при трихинеллезе, вызванного *T. spiralis*, кроме того, при одинаковых дозах заражения выявлялось значительно больше личинок *T. pseudospiralis*.

#### Заключение

На основании проведенных исследований выявлено, что при одинаковых дозах введения гельминтов инвазия у всех морских свинок была успешной как в случае применения *T. spiralis*, так и *T. pseudospiralis*. Интенсивность инвазии при заражении личинками *T. spiralis* составила  $22 \pm 3$  личинки, а *T. pseudospiralis* –  $43 \pm 5$  личинок в срезе. Причем все личинки *T. pseudospiralis* были живыми, обладали подвижностью. Несмотря на то, что при изучении распределения личинок отметили корреляцию в заселении ими отдельных групп мышц, распределение личинок в мышцах животных, инвазированных *T. pseudospiralis*, было более равномерным. Также при обоих вариантах инвазии наблюдали лейкоцитоз (при введении *T. pseudospiralis* –  $15,5 \pm 1,5 \times 10^9/\text{л}$  и *T. spiralis* –  $14,6 \pm 0,5 \times 10^9/\text{л}$ ), относительное снижение концентрации эритроцитов ( $4,3 \pm 0,5 \times 10^{12}/\text{л}$  против  $5,6 \pm 0,5 \times 10^{12}/\text{л}$  в контроле) и увеличение количества псевдоэозинофилов (до 6,5% при 3% у здоровых животных). В целом, показано,

что морские свинки являются оптимальной моделью для воспроизведения и изучения иммунологических аспектов патогенеза трихинеллеза.

#### Литература

1. Иммунологический статус лабораторных животных при моделировании состояний гиперчувствительности немедленного типа / А. А. Ацапкина, К. Л. Крышень, А. Е. Кастирова и др. // Международный вестник ветеринарии. 2014. №1. С. 91-99.
2. Изменения в инвазионном процессе и иммунном ответе хозяина во время лечения мебендазолом и вольтареном экспериментального трихинеллеза у морских свинок / Т. К. Раисов, Д. А. Темирбеков, Г. С. Архипов, Н. Н. Озерцовская // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1990. №32. Р. 31-35.
3. Kim C.W. Delayed hypersensitivity to *Trichinella spiralis* antigens in irradiated guinea pigs // J. Parasitol. 1966. Vol. 52, N4. P. 722-726.
4. Макарова М. Н., Макаров В. Г. Использование морских свинок в доклинических исследованиях // Лабораторные животные для научных исследований. 2024. № 2. С. 4-26. DOI: 10.57034/2618723X-2024-02-01 URL: [https://labanimalsjournal.ru/sites/default/files/pdf\\_fulltext/2618723X-2024-02-01.pdf](https://labanimalsjournal.ru/sites/default/files/pdf_fulltext/2618723X-2024-02-01.pdf) (дата обращения: 17.03.2025)
5. Мирошников М. В., Султанова К. Т., Ковалева М. А. Вариативность биохимических показателей крови и установление референтных интервалов в доклинических исследованиях Сообщение 7: морские свинки // Лабораторные животные для научных исследований. 2022. Т. 5, №3. С. 4-15. doi: 10.57034/2618723X-2022-03-01 URL: <https://labanimalsjournal.ru/ru/2618723x-2022-03-01> (дата обращения: 17.03.2025)
6. Слесаренко Н. А., Комякова В. А., Степанишин В. В. Морфофункциональная характеристика кишечника у представителей отряда грызунов // Лабораторные животные для научных исследований. 2019. №3. С. 1. DOI 10.29296/2618723X-2019-03-01. URL: <https://doi.org/10.29296/2618723X-2019-03-01> (дата обращения: 17.03.2025).
7. Трегубова Н. В., Исмаилов И. С., Ткаченко М. А. Морские свинки – биологические объекты научных исследований // Вестник АПК Ставрополя. 2013. № 4(12). С. 211-215.
8. Особенности иммунологической и постмортальной диагностики трихинеллеза свиней, вызванного *T. pseudospiralis* / О. Б. Жданова, О. Н. Андреев, О. В. Часовских и др. // Свиноводство. 2024. № 8. С. 35-37.
9. Card S. E., Tompkins S. F., Brien J. F. Ontogeny of the activity of alcohol dehydrogenase and aldehyde dehydrogenases in the liver and placenta of the guinea pig // Biochemical Pharmacology. 1989. Vol. 38, № 15. P. 2535-2541.
10. Catty D. The immunology of nematode infections // Trichinosis in guinea-pigs as a model. Monogr Allergy. 1969. Vol. 5. P. 1-134.
11. Жданова О. Б., Часовских О. В., Успенский А. В. Влияние экспериментальной инвазии *T. pseudospiralis* на морфологию селезёнки курицы (*Gallus domesticus*) //

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. T. 16, № 3. С. 167-185.

12. Норматов Р. А., Марьяновская Ю. В. Лимфоидная ткань кишечника как основа иммунной системы пищеварительного тракта / Р. А. Норматов. // Молодой ученый. 2017. №20. С. 201-203. URL: <https://moluch.ru/archive/154/43637/> (дата обращения: 17.03.2025).

13. Влияние интенсивности инвазии на морфологические характеристики личинок *Trichinella spiralis* при экспериментальном заражении белых крыс и распределение их в мышцах / О. Б. Жданова, А. В. Успенский, Л. А. Написанова и др. // Российский паразитологический журнал. 2023. Т. 17, № 1. С. 74-83. doi:10.31016/1998-8435-2023-17-1-74-83

14. Линии лабораторных животных для медико-биологических исследований / З. К. Бландова, В. А. Душкин, А. М. Малашенко, Е. Ф. Шмидт. М.: Наука, 1983. 189 с.

15. Evaluation of the infectivity and the persistence of *Trichinella patagoniensis* in muscle tissue of decomposing guinea pig (*Cavia porcellus*) / F. Fariña, M. Pasqualetti, J. Ilgová et al. // Parasitol Res. 2017. Vol. 116. N1. P. 371-375. doi: 10.1007/s00436-016-5299-4.

16. Himeno S., Takekawa A., Toyoda H., Imura N. Tissue-specific expression of glutathione peroxidase gene in guinea pigs // Biochem. Biophys. Acta. 1993. Vol. 1173. № 3. P. 283-288.

17. Kallós P., Pagel W. Experimentelle Untersuchungen über Asthma bronchiale // Acta Med. Scand. 1937. Vol. 91. P. 292-305. doi: 10.1111/j.0954-6820.1937.tb16045.x

#### References

1. Immunological status of laboratory animals in modeling immediate-type hypersensitivity states / A. A. Atsapkina, K. L. Kryshen, A. E. Kastornova, et al. // International Veterinary Vestnik. 2014. No. 1. P. 91-99.

2. Changes in the invasive process and host immune response during mebendazole and voltaren treatment of experimental trichinosis in guinea pigs / T. K. Raisov, D. A. Temirbekov, G. S. Arkhipov, et al. // Medical parasitology and parasitic diseases. 1990. No. 32. P. 31-35.

3. Kim C.W. Delayed hypersensitivity to *Trichinella spiralis* antigens in irradiated guinea pigs // J. Parasitol. 1966. Vol. 52. No. 4. P. 722-726.

4. Makarova M. N., Makarov V. G. Use of guinea pigs in preclinical studies // Laboratory animals for scientific research. 2024. No. 2. P. 4-26. doi: 10.57034/2618723X-2024-02-01 URL: [https://labanimalsjournal.ru/sites/default/files/pdf\\_fulltext/2618723X-2024-02-01.pdf](https://labanimalsjournal.ru/sites/default/files/pdf_fulltext/2618723X-2024-02-01.pdf) (Access date: 17.03.2025)

5. Miroshnikov M. V., Sultanova K. T., Kovaleva M. A. Variability of blood biochemical parameters and establishment of reference intervals in preclinical studies. Report 7: Guinea pigs // Laboratory animals for scientific research. 2022. Vol. 5, No. 3. P. 4-15. doi: 10.57034/2618723X-2022-03-01 URL: <https://labanimalsjournal.ru/ru/2618723x-2022-03-01> (access date: 17.03.2025)

6. Slesarenko N. A., Komyakova V. A., Stepanishin V. V. Morphofunctional characteristics of the intestine in representatives of the rodents // Laboratory animals for scientific

research. 2019. No. 3. P. 1. doi: 10.29296/2618723X-2019-03-01. URL: <https://doi.org/10.29296/2618723X-2019-03-01> (access date: 17.03.2025).

7. Tregubova N. V., Ismailov I. S., Tkachenko M. A. Guinea pigs – biological objects of scientific research // Vestnik of the AIC of Stavropol Territory. 2013. No. 4 (12). P. 211-215.

8. Features of immunological and postmortem diagnostics of porcine trichinellosis caused by *T. pseudospiralis* / O. B. Zhdanova, O. N. Andrejanov, O. V. Chasovskikh, et al. // Pig breeding. 2024. No. 8. P. 35-37.

9. Card S. E., Tompkins S. F., Brien J. F. Ontogeny of the activity of alcohol dehydrogenase and aldehyde dehydrogenases in the liver and placenta of the guinea pig // Biochemical Pharmacology. 1989. Vol. 38. No. 15. P. 2535-2541.

10. Catty D. The immunology of nematode infections // Trichinosis in guinea-pigs as a model. Monogr Allergy. 1969. Vol. 5. P. 1-134.

11. Zhdanova O. B., Chasovskikh O. V., Uspensky A. V. The effect of experimental invasion of *T. pseudospiralis* on the morphology of the chicken (*Gallus domesticus*) spleen // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Vol. 16. No. 3. P. 167-185.

12. Normatov R. A., Maryanovskaya Yu. V. Intestinal lymphoid tissue as the basis of the immune system of the digestive tract // Young scientist. 2017. No. 20. P. 201-203. URL: <https://moluch.ru/archive/154/43637/> (access date: 17.03.2025).

13. The effect of invasion intensity on the morphological characteristics of *Trichinella spiralis* larvae during experimental infection of white rats and their distribution in muscles / O. B. Zhdanova, A. V. Uspensky, L. A. Napisanova, et al. // Russian Parasitological Journal. 2023. Vol. 17. No. 1. P. 74-83. doi:10.31016/1998-8435-2023-17-1-74-83

14. Laboratory animal strains for biomedical research / Z. K. Blandova, V. A. Dushkin, A. M. Malashenko, et al. Moscow: Nauka, 1983. 189 p.

15. Evaluation of the infectivity and persistence of *Trichinella patagoniensis* in muscle tissue of decomposing guinea pig (*Cavia porcellus*) / F. Fariña, M. Pasqualetti, J. Ilgová, et al. // Parasitol Res. 2017. Vol. 116. No. 1. P. 371-375. doi: 10.1007/s00436-016-5299-4

16. Himeno S., Takekawa A., Toyoda H., Imura N. Tissue-specific expression of glutathione peroxidase gene in guinea pigs // Biochem. Biophys. Acta. 1993. Vol. 1173. No. 3. P. 283-288.

17. Kallós P., Pagel W. Experimentelle Untersuchungen über Asthma bronchiale // Acta Med. Scand. 1937. Vol. 91. P. 292-305. doi: 10.1111/j.0954-6820.1937.tb16045.x


#### 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-127-132

УДК 614.48

##### Использование нового дезинфицирующего препарата на основе органических кислот для обеззараживания поверхности скорлупы инкубационных яиц

**В. Ю. Морозов**, доктор ветеринарных наук, профессор

**С. Ф. Суханова** , доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой «Птицеводство и мелкое животноводство»

**И. П. Салеева**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корр. РАН, профессор кафедры «Птицеводство и мелкое животноводство»

**Р. О. Колесников**, кандидат ветеринарных наук

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский ГАУ»

196601, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д.2.  agro@spbgau.ru

**Резюме.** Целью исследования была оценка влияния нового комбинированного дезинфицирующего препарата (НКДП) на основе органических кислот на инкубационные показатели куриных яиц в зависимости от метода обработки. Опыт проводили на инкубационных яйцах кур кросса Dekalb White в возрасте 235 дней. Сформировали 5 групп по 96 яиц в каждой. Контрольную группу обрабатывали 6%-ным раствором перекиси водорода. Яйца опытных групп обрабатывали НКДП: группы 1, 2 и 4 – однократно перед закладкой методом орошения; группы 3 и 5 – двукратно (перед закладкой и на 18,5 сутки) методом холодного тумана. Применение НКДП повысило вывод и выводимость яиц по сравнению с контролем (76,04% и 81,11% соответственно). Наивысшие результаты получены в группе 4 (однократная обработка холодным туманом): вывод цыплят составил 84,38%, выводимость – 86,17%, что на 10,97% и 6,24% превосходит контроль. Суммарные отходы инкубации в этой группе были минимальными – 15,63% против 23,96% в контроле (снижение на 34,8%). Группа 2 (однократное орошение) также показала улучшение: вывод цыплят – 79,17%, выводимость – 86,36%. Двукратная обработка НКДП (группы 3 и 5) была менее эффективной, чем однократная. Однократная дезинфекция скорлупы яиц препаратом НКДП методом холодного тумана перед закладкой является оптимальной, обеспечивая максимальное повышение вывода цыплят и снижение эмбриональной смертности.

**Ключевые слова:** дезинфекция, инкубация, вывод цыплят, выводимость яиц, отходы инкубации, органические кислоты.


**Для цитирования:** Морозов В. Ю., Суханова С. Ф., Салеева И. П., Колесников Р. О. Использование нового дезинфицирующего препарата на основе органических кислот для обеззараживания поверхности скорлупы инкубационных яиц // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 127-132. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-127-132

##### Using a New Organic Acid-Based Disinfectant to Disinfect the Shell Surface of Hatching Eggs

**V. Yu. Morozov, S. F. Sukhanova, I. P. Saleeva, R. O. Kolesnikov**

Saint Petersburg State Agrarian University

196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Shosse 2

 agro@spbgau.ru

**Abstract.** The aim of the study was to evaluate the effect of a new combined disinfectant (NCD) based on organic acids on the incubation performance of chicken eggs, depending on the treatment method. The experiment was conducted on 235-day-old hatching eggs of Dekalb White hens. Five groups of 96 eggs each were formed. The control group was treated with a 6% hydrogen peroxide solution. The eggs of the experimental groups were treated with NKDP: groups 1, 2 and 4 - once before setting by irrigation; groups 3 and 5 - twice (before setting and on the 18.5th day) by the cold fog method. The use of NKDP increased the hatching and hatchability of eggs compared to the control (76.04% and 81.11%, respectively). The highest results were obtained in group 4 (single treatment with cold fog): the hatchability of chicks was 84.38%, the hatchability was 86.17%, which is 10.97% and 6.24% higher than the control. Total incubation waste in this group was minimal - 15.63% versus 23.96% in the control (a decrease of 34.8%). Group 2 (single irrigation) also showed improvement: 79.17% chick hatch rate, 86.36% hatchability. Double treatment with NKDP (Groups 3 and 5) was less effective than single treatment. Single disinfection of eggshells with NKDP using cold fog before setting is optimal, maximizing chick hatch rate and reducing embryonic mortality.

**Keywords:** disinfection, incubation, chick hatchability, hatchery waste, organic acids.

**For citation:** Using a New Organic Acid-Based Disinfectant to Disinfect the Shell Surface of Hatching Eggs / V. Yu. Morozov, S. F. Sukhanova, I. P. Saleeva, et al. // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 127-132 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-127-132

**Исследования проведены за счет средств федерального бюджета на выполнение научно-исследовательских работ по государственному заказу Минсельхоза России № 082-03-2025-217 от 23.01.2025 г.**

### **Введение**

Современное птицеводство сталкивается с необходимостью снижения зависимости от антибиотиков и традиционных химических дезинфицирующих средств, многие из которых представляют опасность для человека, животных и окружающей среды. Формальдегид, длительное время считавшийся «золотым стандартом» дезинфекции в инкубаториях, обладает выраженными токсическими свойствами: он канцерогенен, вызывает аллергические реакции и респираторные заболевания у персонала, а его применение приводит к патологическим изменениям эмбрионов и повышению смертности во второй половине инкубации [1]. Это создает потребность в разработке и внедрении альтернативных средств дезинфекции, которые были бы не только эффективны, но и экологически безопасны [2].

В этом контексте органические кислоты представляются чрезвычайно перспективным направлением. Они широко распространены в природе (встречаются в животных, растительных и микробных источниках), обладают хорошей биоразлагаемостью и, как правило, имеют низкую токсичность для теплокровных животных и человека [3]. Разработка отечественных препаратов на их основе способствует не только импортозамещению, но и снижению экологического следа птицеводческой отрасли [4].

Поверхность скорлупы инкубационного яйца считается основным плацдармом для проникновения патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, которые могут вызывать гибель эмбрионов, снижение выводимости и ухудшение качества суточного молодняка. Загрязнение скорлупы носит экзогенный характер (помет, подстилка, перо) и эндогенный (попадание микроорганизмов из репродуктивного тракта больной птицы) [1]. Свежеснесенное яйцо изначально стерильно, но в процессе остывания содержимое яйца сокращается, и через поры скорлупы засасывается контаминированный воздух помещения. При этом микроорганизмы вместе со слизью проникают внутрь, становясь труднодоступными для дезинфицирующих средств [2]. Наиболее опасными возбудителями, передающимися через яйцо, являются *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Mycoplasma gallisepticum*, а также плесневые грибы рода *Aspergillus* [4].

Особую проблему представляют загрязненные яйца, доля которых в общем объеме продукции может достигать 8...12% [5]. Их традиционно браковали, однако эти яйца биологически полноценны и при надлежащей обработке могут быть использованы для инкубации, что диктует экономическую целесообразность их дезинфекции.

Органические кислоты (муравьиная, пропионовая, молочная) и их комбинации демонстрируют высокую антимикробную активность в отношении широкого спектра патогенов. Их механизм действия связан со снижением pH на поверхности скорлупы, разрушением клеточных мембран микробных клеток и угнетением их метаболической активности [6, 7].

Экспериментальные исследования подтверждают их высокую эффективность [8].

Помимо бактерицидного действия, обработка органическими кислотами положительно влияет на инкубационные качества. Установлено, что она способствует снижению эмбриональной смертности, повышению выводимости и улучшению качества цыплят (о чем свидетельствует более высокий титр антител против болезни Ньюкасла и инфекционного бронхита) [8]. Это указывает на то, что препараты на основе органических кислот не только дезинфицируют скорлупу, но и могут обладать иммуномодулирующим эффектом [7].

Экономическая эффективность инкубационного производства напрямую зависит от таких показателей, как процент выводимости яиц и сохранность молодняка. Даже незначительное увеличение выводимости на 1-2% в масштабах крупного предприятия приносит существенный экономический эффект, поэтому внедрение новых безопасных препаратов, способствующих росту этих показателей, является актуальной научно-практической задачей.

Ключевым аспектом является не только выбор действующего вещества, но и оптимизация методов и режимов обработки. Как показывают исследования, эффективность значительно варьируется в зависимости от способа аппликации (погружение, орошение, аэрозоль), температуры рабочего раствора (которая должна быть на 5...8 °C выше температуры яиц для предотвращения всасывания инфицированного раствора через поры скорлупы [4], концентрации действующего вещества и кратности обработок [1, 2].

Например, в работе [8] наилучшие результаты показало орошение (спрей), в то время как метод погружения был менее эффективен. В другом патенте [5] предлагается трехэтапная аэрозольная обработка препаратом «Нетоспорин» с разной концентрацией на каждом этапе (после снесения, перед закладкой и при переводе на вывод). Это подчеркивает необходимость комплексного подхода и разработки индивидуальных программ дезинфекции для каждого конкретного производства.

Таким образом, разработка нового отечественного дезинфицирующего препарата на основе органических кислот, подбор оптимальных режимов и методов его применения для обработки

инкубационных яиц являются высоко актуальными задачами современного птицеводства. Их решение позволит не только повысить экономические показатели инкубационных заводов, но и обеспечить биологическую безопасность продукции, снизив нагрузку на окружающую среду и персонал.

Цель работы: изучить влияние нового комплексного препарата на основе органических кислот при обработке поверхности скорлупы на инкубационные показатели куриных яиц.

#### Материалы и методы

Работа была проведена в учебно-производственной лаборатории кафедры птицеводства и мелкого животноводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

В ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» был разработан новый комбинированный дезинфицирующий препарат (НКДП) на основе органических кислот, полученных биосинтезом специальных штаммов микроорганизмов. Опыт был проведен с целью определения оптимальных режимов и методов (способов) обеззараживания поверхности скорлупы инкубационных яиц разработанной ранее оптимальной концентрацией раствора.

Инкубационные яйца были завезены из ООО «Птицефабрика Синявинская», они были получены от

кур яичного направления продуктивности кросса Dekalb White в возрасте 235 дней.

Из инкубационных яиц было сформировано 5 групп по 96 шт. в каждой. Яйца контрольной группы обрабатывали методом орошения 6%-ным раствором перекиси водорода, однократно перед закладкой.

Опытные группы яиц были обработаны НКДП с оптимальной (полученной ранее) концентрацией раствора различными методами обработки (орошением и с помощью генератора холодного тумана (аэрозолем)). Первая, вторая и четвертая группы – однократно перед закладкой методом орошения, третья и пятая группы – двукратно (перед закладкой и при переводе на вывод на 18, 5 сутки) методом холодного тумана. Схема опыта представлена в таблице 1.

В ходе проведения исследования учитывали следующие показатели: масса яиц; инкубационные качества яиц: оплодотворенность и выводимость яиц, вывод здорового молодняка; отходы инкубации: неоплодотворенные яйца, кровяные кольца, замершие, задохлики, слабые цыплята; потеря массы яиц во время инкубации на 7,5, 11,5 и 18,5 сутки, масса выведенных цыплят.

Таблица 1. Схема опыта

Группа	Количество яиц, шт.	Кол-во обработок	Способ обработки	Название препарата
1(к)	96	1	Орошение	Перекись водорода
2	96	1	Орошение	НКДП
3	96	2	Орошение	НКДП
4	96	1	Холодный туман (аэрозоль)	НКДП
5	96	2	Холодный туман (аэрозоль)	НКДП

Таблица 2. Результаты инкубации яиц

Показатель	Группа				
	1(К)	2	3	4	5
Заложено яиц, шт.	96	96	96	96	96
Кондиционные цыплята, гол.	73	76	75	81	75
Выводимость, %	81,11	86,36	84,27	86,17	85,23
Вывод, %	76,04	79,17	78,13	84,38	78,13
Отходы инкубации, %					
Неоплодотворенные	6,25	8,33	7,29	2,08	8,33
Ложный неоплод	5,21	4,19	3,13	3,13	3,13
Кровяное кольцо	4,17	3,12	4,17	4,17	3,13
Замершие	2,08	2,07	3,13	3,13	4,17
Задохлики	4,17	3,12	3,13	2,08	3,13
Слабые и калеки	2,08	-	1,04	1,04	-

#### Результаты

Перекись водорода традиционно используется для дезинфекции яичной скорлупы благодаря своим окислительным свойствам. Однако, как показали исследования, её эффективность ограничена из-за неспособности полностью удалить органические загрязнения, которые защищают микроорганизмы от воздействия дезинфицирующих средств [9]. Кроме того, перекись водорода может оказывать негативное влияние на кутикулу скорлупы, делая её более

проницаемой для патогенов [10]. Это может объяснить относительно низкие показатели вывода и выводимости в контрольной группе. В таблице 2 и на рисунках 1 и 2 представлены результаты проведенного опыта по инкубации яиц. Контрольная группа (перекись водорода) показала относительно низкие показатели вывода цыплят (76,04%) и выводимости яиц (81,11%).

Опытные группы (2-5), где применяли препарат НКДП на основе органических кислот,

#### 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

продemonстрировали улучшение показателей: наивысшие результаты наблюдали в опытной группе 4: вывод цыплят — 84,38%, выводимость — 86,17%. В остальных опытных группах показатели были также

выше, чем в контрольной группе, но варьировались в зависимости от режима и методов обработки поверхности скорлупы яиц.

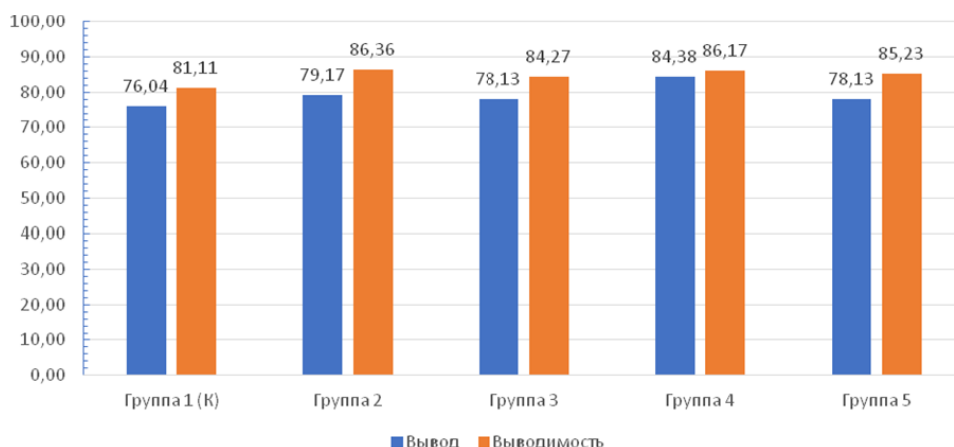


Рис. 1. Результаты инкубации, %

Так, опытные группы 2, 3, 4 и 5 превосходили контрольную группу по показателю вывода цыплят на 4,11, 2,75, 10,97 и 2,75 соответственно. Что касается показателя выводимости яиц, то опытные группы 2, 3, 4 и 5 превосходили контроль на 6,47, 3,90, 6,24 и 5,08 соответственно.

Наибольшее превосходство наблюдается в опытной группе 4 по выводу цыплят на 10,97% и выводимости яиц на 6,24%. В данной группе поверхность скорлупы инкубационных яиц обеззараживали НКДП однократно перед закладкой методом холодного тумана. На втором месте оказалась опытная группа 2, в которой вывод цыплят составил 79,17%, а

выводимость яиц — 86,36%. В этой группе НКДП применяли однократно перед закладкой яиц на инкубацию методом орошения. Исходя из этого, можно предположить, что НКДП эффективнее использовать однократно перед закладкой яиц на инкубацию либо аэрозольным методом с помощью генератора холодного тумана или орошением. Использование режима двукратного орошения НКДП снижает показатели инкубации яиц по сравнению с режимом однократного использования и повышает затраты труда на обработку яиц. Так, в таблице 1 и на рис. 2 представлены результаты отходов инкубации.

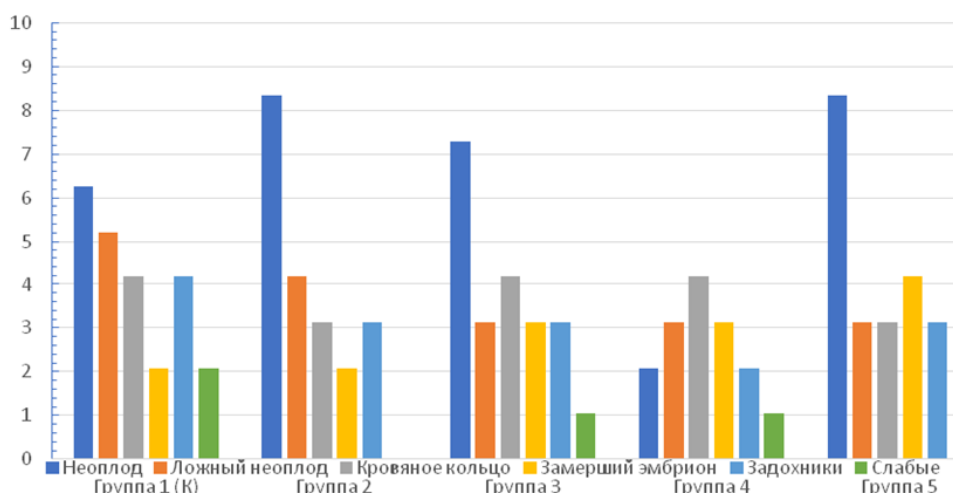


Рис. 2. Отходы инкубации, %

Суммарные отходы инкубации составили в контрольной группе — 23,96%, в опытной группе 2 — 20,83% (снижение на 13,1%), в группе 3 — 21,89% (снижение на 8,6%), группе 4 — 15,63% (снижение на 34,8%) и в группе 5 — 21,87% (снижение на 8,7%)

В 4 опытной группе получили наилучшие результаты по всем параметрам: наименьшее количество задохников (2,08%), наименьшие общие отходы

инкубации (15,63%). Группа 2 демонстрирует хорошие результаты по эмбриональной смертности: низкие показатели кровяного кольца и задохликов, полное отсутствие слабых и калек. Все опытные группы показали снижение общих отходов инкубации по сравнению с контрольной группой.

#### Обсуждение

Анализируя литературные источники, можно сказать, что органические кислоты, такие как надуксусная кислота (НУК) демонстрируют высокую эффективность в дезинфекции благодаря своим сильным окислительным свойствам и способности разрушать клеточные мембраны микроорганизмов [11, 12]. Они активны против широкого спектра патогенов, включая *Salmonella enteritidis*, *E. coli* и плесневые грибы [11]. Важным преимуществом органических кислот является их относительная безопасность для эмбрионов и персонала, а также отсутствие негативного воздействия на кутикулу скорлупы [13]. Исследования, проведенные в Техасском университете, показали, что комбинация перекиси водорода и ультрафиолетового облучения позволяет достичь высокого уровня дезинфекции без необходимости мытья яиц [9, 14]. Однако в нашем случае использование препарата на основе органических кислот без дополнительных методов обработки позволило достичь сравнимых или даже лучших результатов. Это согласуется с данными, полученными в других исследованиях, где использование надуксусной кислоты и других органических соединений приводило к увеличению выводимости яиц и снижению эмбриональной смертности [12, 13].

#### Заключение

Использование НКДП на основе органических кислот для дезинфекции поверхности скорлупы инкубационных яиц позволяет существенно улучшить показатели вывода и выводимости по сравнению с традиционным 6%-ным раствором перекиси водорода. Это связано с более широким спектром антимикробного действия, отсутствием негативного воздействия на кутикулу скорлупы и безопасностью для эмбрионов. Установлено, что данным препаратом следует обеззараживать поверхность скорлупы инкубационных яиц однократно перед закладкой яиц на инкубацию методом орошения или аэрозоля с помощью генератора холодного тумана. При этом вывод цыплят в группах 4 и 2 составляет 84,38 и 79,17, что больше на 10,97 и 4,11%, по сравнению с контролем, а выводимость яиц 86,17 и 86,36, что выше на 6,24 и -6,47% соответственно.

#### Литература

1. Предынкубационная обработка яиц (обзор) / И. П. Салеева, А. В. Иванов, А. А. Зотов и др. // Зоотехния. 2016. № 5. С. 27-31.
2. Средства дезинфекции инкубационных яиц / И. П. Салеева, В. Г. Шоль, А. В. Иванов и др. // Ветеринария. 2016. № 5. С. 42-46.
3. Анализ влияния структурных факторов на острую токсичность органических кислот и их производных / О. В. Тиньков, П. Г. Полищук, А. Г. Артеменко и др. // Вестник Кемеровского государственного университета. 2012. № 4-1 (52). С. 275-279.
4. Биологические методы дезинфекции инкубационных яиц (обзор) / В. А. Филиппова, Г. Ю. Лаптев, В.

Ю. Морозов и др. // Птица и птицепродукты. 2025. № 5. С. 38-41.

5. Пат. 2601593 Рос. Федерация. Способ обработки инкубационных яиц / В. А. Офицеров, Н. А. Королева, И. П. Салеева и др. Заявка 2015124294/13, 22.06.2015. Опубл. 10.11.2016, Бюл. №31.

6. The potential of using organic acids in poultry farming to reduce microbial burden and increase productivity (Review) / I. P. Saleeva, V. Yu. Morozov, R. O. Kolesnikov, et al. // International Scientific and Practical Conference "From Modernization to Rapid Development: Ensuring Competitiveness and Scientific Leadership of the Agro-Industrial Complex" (IDSISA 2025), Ekaterinburg, 13–14 февраля 2025 года. Les Ulis, 2025. P. 01007. doi:10.1051/bioconf/202517901007. EDN NGTJTF.

7. Антибактериальные свойства органических кислот при использовании в птицеводстве / В. Ю. Морозов, И. П. Салеева, Р. О. Колесников и др. // Птица и птицепродукты. 2025. № 3 С.45-48.

8. Нестеров В. В. Дезинфекция инкубационных яиц и стимуляция эмбрионального развития кур путем использования экологически чистых препаратов: дис. канд. с.-х. наук, 2000 г. 193 с.

9. Ученые предложили дезинфицировать яйца перекисью водорода и ультрафиолетом. URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/uchenye-predlozhili-dezinficirovat-yajca-perekisju-vodoroda-i-ultrafioletom/> (дата обращения: 15.08.2025)

10. Безопасная дезинфекция инкубационных яиц. URL: <https://vicgroup.ru/publications/bezopasnaya-dezinfektsiya-inkubatsionnykh-yaitso/> (дата обращения: 15.08.2025)

11. Применение дезинфицирующих средств: ЧАС, НУК. URL: <https://www.chemitech.ru/blog/article/primeneniye-dezinfitsiruyushchikh-sredstv-sokrashchennaya-versiya/> (дата обращения: 15.08.2025)

12. Применение дезинфицирующих средств: обзор. URL: <https://www.chemitech.ru/blog/news/primeneniye-dezinfitsiruyushchikh-sredstv-obzor/> (дата обращения: 15.08.2025)

13. Дезинфекция яйца без формалина – достижимая цель! URL: <https://pticainfo.ru/article/dezinfektsiya-yaytsa-bez-formalina-dostizhimaya-tsel/> (дата обращения: 15.08.2025)

14. Улучшение санитарного состояния яиц с помощью перекиси водорода и ультрафиолета. URL: <https://vniipp.ru/izdaniya/obzor/rubriki-obzora-mirovoj-pressy/produkty-ptitsevodstva-yajtso/uluchsheniye-sanitarnogo-sostoyaniya-yaitso-s-pomoshhyu-perekisi-vodoroda-i-ultrafioleta/> (дата обращения: 15.08.2025)

#### References

1. Pre-incubation treatment of eggs (review) / I. P. Saleeva, A. V. Ivanov, A. A. Zotov, et al. // Zootechnics. 2016. No. 5. P. 27-31.
2. Disinfection agents for hatching eggs / I. P. Saleeva, V. G. Shol, A. V. Ivanov, et al. // Veterinary science. 2016. No. 5. P. 42-46.

3. Analysis of the influence of structural factors on the acute toxicity of organic acids and their derivatives / O. V. Tinkov, P. G. Polishchuk, A. G. Artemenko, et al. // Bulletin of Kemerovo State University. 2012. No. 4-1 (52). P. 275-279.

4. Biological Methods for Disinfection of Hatching Eggs (Review) / V. A. Filippova, G. Yu. Laptev, V. Yu. Morozov, et al. // Bird and Poultry Products. 2025. No. 5. P. 38-41.

5. Patent. 2601593 Russian Federation. Method for Treating Hatching Eggs / V. A. Ofitserov, N. A. Koroleva, I. P. Saleeva, et al. Application 2015124294/13, June 22, 2015. Published November 10, 2016, Bulletin No. 31.

6. The Potential of Using Organic Acids in Poultry Farming to Reduce Microbial Burden and Increase Productivity (Review) / I. P. Saleeva, V. Yu. Morozov, R. O. Kolesnikov, et al. // International Scientific and Practical Conference "From Modernization to Rapid Development: Ensuring Competitiveness and Scientific Leadership of the Agro-Industrial Complex" (IDSISA 2025), Ekaterinburg, February 13–14, 2025. Les Ulis, 2025. P. 01007. doi:10.1051/bioconf/202517901007. EDN NGJTJF.

7. Antibacterial properties of organic acids when used in poultry farming / V. Yu. Morozov, I. P. Saleeva, R. O. Kolesnikov, et al. // Bird and poultry products. 2025. No. 3, P. 45–48.

8. Nesterov V. V. Disinfection of hatching eggs and stimulation of embryonic development of chickens by using environmentally friendly preparations: diss. Cand. Sci. (Agriculture), 2000. 193 p.

9. Scientists proposed disinfecting eggs with hydrogen peroxide and ultraviolet light. URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/uchenye-predlozhili-dezinficirovat-yajca-perekisju-vodoroda-i-ultrafioletom/> (Accessed: 15.08.2025)

10. Safe disinfection of hatching eggs. URL: <https://vicgroup.ru/publications/bezopasnaya-dezinfektsiya-inkubatsionnykh-yaits/> (Accessed: 15.08.2025)

11. Use of disinfectants: CHAM, NUK. URL: <https://www.chemitech.ru/blog/article/primeneniye-dezinfitsiruyushchikh-sredstv-sokrashchennaya-versiya/> (accessed: 15.08.2025)

12. Use of Disinfectants: An Overview. URL: <https://www.chemitech.ru/blog/news/primeneniye-dezinfitsiruyushchikh-sredstv-obzor/> (accessed: 15.08.2025)

13. Egg Disinfection Without Formaldehyde – An Achievable Goal! URL: <https://pticainfo.ru/article/dezinfektsiya-yaytsa-bez-formalina-dostizhimaya-tsel/> (accessed: 15.08.2025)

14. Improving the Sanitary Condition of Eggs with Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Light. URL: <https://vniipp.ru/izdaniya/obzor/rubriki-obzora-mirovoj-pressy/produkty-ptitsevodstva-yajtso/uluchsheniye-sanitarnogo-sostoyaniya-yaits-s-pomoshhyu-perekisi-vodoroda-i-ultrafioleta/> (date of access: 15.08.2025)



## 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (биологические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-133-139

УДК 579.62

Изучение основных биологических свойств полевых изолятов *Aeromonas salmonicida*

**С. С. Картакаева**✉, соискатель кафедры «Микробиология, вирусология, эпизоотология и ветеринарно-санитарная экспертиза»

**А. А. Ломакин**, ассистент кафедры «Микробиология, вирусология, эпизоотология и ветеринарно-санитарная экспертиза»

**Н. А. Феоктистова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Микробиология, вирусология, эпизоотология и ветеринарно-санитарная экспертиза»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1

✉seravka@mail.ru

**Резюме.** Актуальность комплексного изучения штаммов бактерий *Aeromonas salmonicida* на основе их фенотипической и генотипической характеристики определяется совокупностью факторов, связанных с устойчивым развитием современной аквакультуры, таких как постоянные угрозы со стороны инфекционных заболеваний, и необходимостью применения современных методов диагностики и контроля для обеспечения устойчивого развития отрасли. Применение авторской селективной среды накопления AsSB УлГАУ и селективной среды AsSA УлГАУ на основе RYAN-агара показало свою эффективность для первичного выделения полевых изолятов *Aeromonas salmonicida*. Все изученные полевые изоляты представляют собой грамотрицательные неподвижные палочки, обладающие комплексом фенотипических признаков, характерных для вида *A. salmonicida*: психрофильный характер роста (активный рост при 20...30 °C и отсутствие роста при 35 °C), способность к образованию коричневого пигмента на LB-агаре, толерантность к 3% NaCl и отсутствие роста в присутствии 5% NaCl, характерный рост на CIN-агаре и среде RYAN с образованием колоний специфической окраски (малиновой и сине-зеленой соответственно), наличие β-гемолитической активности. Установлен типичный биохимический профиль: положительные реакции на оксидазу, каталазу, ДНКазу, желатиназу, декарбоксилазу лизина и аргинина; ферментация глюкозы, мальтозы, маннитола, фруктозы и галактозы; отрицательные реакции на продукцию индола, утилизацию цитрата, орнитиндекарбоксилазную активность и ферментацию лактозы, сорбита и ряда других углеводов. В рамках характерного для вида фенотипа выявлена внутривидовая вариабельность изолятов по таким признакам, как: интенсивность и скорость образования коричневого пигмента (полевые изоляты продуцировали пигмент активнее, чем референс-штамм ATCC 33658 и изолят *A. salmonicida* 65), интенсивность окраски колоний на среде RYAN (штаммы *A. salmonicida* 61 и 76 образовывали колонии более зеленого оттенка), чувствительность к росту на CIN-агаре (у штаммов *A. salmonicida* 61, 87, 88 наблюдали частичное ингибирование роста). Видовая принадлежность полевых изолятов и референс-штамма была достоверно подтверждена методом ПЦР с детекцией гена *varA*, что свидетельствует о специфичности использованной праймерной системы. Комплексное фенотипическое и генотипическое исследование позволило идентифицировать выделенные полевые изоляты, как *Aeromonas salmonicida* и выявить особенности их культуральных и биохимических свойств, что имеет значение для разработки и совершенствования средств диагностики и контроля данного патогена в аквакультуре.

**Ключевые слова:** *Aeromonas salmonicida*, полевые изоляты, штаммы, биохимические свойства, идентификация, ПЦР.

**Для цитирования:** Картакаева С. С., Ломакин А. А., Феоктистова Н. А. Изучение основных биологических свойств полевых изолятов *Aeromonas salmonicida* // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №4 (72). С. 133-139. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-133-139

Study of the main biological properties of field isolates of pathogen *Aeromonas salmonicida*

**S. S. Kartakaeva**✉, **A. A. Lomakin**, **N. A. Feoktistova**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, Building 1

✉seravka@mail.ru

**Abstract.** The relevance of a comprehensive study of *Aeromonas salmonicida* bacterial strains based on their phenotypic and genotypic characteristics is determined by a combination of factors associated with the sustainable development of modern aquaculture, such as the constant threat of infectious diseases and the need for modern diagnostic and monitoring methods to ensure sustainable development of the industry. The use of the proprietary selective accumulation medium AsSB ULSAU and the selective medium AsSA ULSAU based on RYAN agar has proven effective for primary isolation of

*Aeromonas salmonicida* field isolates. All the studied field isolates are gram-negative, non-motile rods with a complex of phenotypic features characteristic of the species *A. salmonicida*: psychrophilic growth pattern (active growth at 20...30 °C and no growth at 35 °C), ability to form brown pigment on LB agar, tolerance to 3% NaCl and no growth in the presence of 5% NaCl, characteristic growth on CIN agar and RYAN medium with formation of colonies of a specific color (crimson and blue-green, respectively), the presence of  $\beta$ -hemolytic activity. A typical biochemical profile was established: positive reactions to oxidase, catalase, DNase, gelatinase, lysine and arginine decarboxylase; fermentation of glucose, maltose, mannitol, fructose and galactose; Negative reactions to indole production, citrate utilization, ornithine decarboxylase activity, and fermentation of lactose, sorbitol, and a number of other carbohydrates. Within the species-specific phenotype, intra-specific variability was revealed among isolates for the following traits: intensity and rate of brown pigment formation (field isolates produced pigment more actively than the reference strain ATCC 33658 and *A. salmonicida* isolate 65), colony color intensity on RYAN medium (*A. salmonicida* strains 61 and 76 formed colonies of a greener shade), and sensitivity to growth on CIN agar (partial growth inhibition was observed in *A. salmonicida* strains 61, 87, and 88). The species identity of the field isolates and the reference strain was reliably confirmed by PCR with detection of the *vapA* gene, demonstrating the specificity of the primer system used. A comprehensive phenotypic and genotypic study identified the isolated field isolates as *Aeromonas salmonicida* and revealed their cultural and biochemical properties, which is important for development and improvement of diagnostic and control tools for this pathogen in aquaculture.

**Keywords:** *Aeromonas salmonicida*, field isolates, strains, biochemical properties, identification, PCR

**For citation:** Kartakaeva S. S., Lomakin A. A., Feoktistova N. A. Study of the main biological properties of field isolates of pathogen *Aeromonas salmonicida* // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 133-139 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-133-139

### **Введение**

Рыба, выращенная в аквакультуре, подвергается большему стрессу, чем рыба в дикой природе. Высокое содержание органики в окружающей среде, низкий уровень растворенного кислорода и близкое расположение особей способствуют повышению восприимчивости рыб к инфекциям [1].

*Aeromonas* spp. – естественные обитатели водных экосистем и широко распространены в пресной и соленой водах [2]. Бактерии *Aeromonas hydrophila*, *A. veronii*, *A. sorbia*, *A. caviae* и *A. jandei* считаются этиологическими агентами нескольких заболеваний человека, рыб и животных, многие из них являются условно-патогенными [3-4].

*A. salmonicida* – широко известный патоген рыб, на сегодняшний день он считается эндемичным почти во всем мире как в пресных, так и в морских водах [5]. По мнению ихтиопатологов, к *A. salmonicida* наиболее восприимчива рыба из семейства лососевых, однако, есть данные, что им могут быть заражены многие другие виды [6]. Фурункулез лососевых, вызываемый типичными штаммами *A. salmonicida* *subsp. salmonicida*, на протяжении десятилетий остается одним из наиболее разрушительных заболеваний в лососевой аквакультуре, приводя к массовой гибели молоди и взрослой рыбы и колоссальным экономическим потерям [7]. Атипичные штаммы *A. salmonicida*, демонстрирующие значительное фенотипическое разнообразие, поражают широкий спектр видов рыб (карповые, окуневые, камбаловые и др.) как в условиях аквакультуры, так и в дикой природе. Их способность вызывать оппортунистические инфекции делает их постоянной угрозой при любых стрессовых ситуациях (ухудшение условий среды, транспортировка) [2, 6]. Комплексный подход, включающий изучение физиолого-биологических свойств бактериальных изолятов, фенотипическое определение антибиотикочувствительности (микробиологические методы) и генотипический анализ (поиск генов

антибиотикорезистентности, мобильных генетических элементов – плазмид, транспозонов) считаются необходимыми для мониторинга резистентности и разработки эффективных схем профилактики и терапии инфекций, вызываемых *A. salmonicida*.

Цель исследования – выделение и идентификация полевых штаммов *A. salmonicida*, изолированных из объектов ветеринарно-санитарного надзора.

### **Материалы и методы**

**Штаммы.** В экспериментах были использованы штамм *Aeromonas salmonicida* ATCC 33568 и полевые изоляты *A. salmonicida* 2001, *A. salmonicida* 4914, *A. salmonicida* 61, *A. salmonicida* 43, *A. salmonicida* 54, *A. salmonicida* 65, *A. salmonicida* 76, *A. salmonicida* 87, *A. salmonicida* 88, выделенные коллективом авторов из объектов ветеринарно-санитарного надзора.

**Оборудование.** Для постановки полимеразной цепной реакции использовался амплификатор детектирующий ДТпрайм (ДНК-технология, Россия). Для визуализации результатов амплификации применялась гель-документирующая система Bio-print CX4 Edge (Vilber, Франция). Для электрофореза использовали источник питания PowerPac Basic (BioRad, США) и камеру для горизонтального электрофореза SE-2 (Helicon, РФ). Параметры электрофореза: продолжительность - 30 минут при силе тока 150 В.

Для выделения ДНК и подготовки реакционной смеси использовались: твердотельный термостат TDB-120 (BioSan, Польша), центрифуга-встряхиватель медицинская серии CM-50M (ELMI, Польша), микроцентрифуга Tico 17 (Thermo Science) и ламинарный бокс БМБ-ii-«Ламинар-с»-1 2 (ЛамСистем, РФ).

**Питательные среды и реактивы.** Для анализа роста оптимального температурного диапазона микроорганизмов проводили их культивирование при следующих режимах: 20±2°C, 30±2°C и 36±2°C. В качестве питательной среды использовался бульон LB по Lennox (Диазм, РФ).

Для изучения тинкториальных свойств изолятов были использованы реактивы для окраски по Граму (НИЦФ, РФ).

Для изучения культуральных свойств штаммов применяли питательный бульон LB по Lennox (Диаэм, РФ), агар CIN (Cefsulodin-Irgasan-Novobiocin) (Becton Dickinson GmbH, Германия), основу селективного агара для выделения *Aeromonas* (RYAN) (Conda, Испания), селективную добавку для RYAN - агара (Conda, Испания), МакКонки агар с лактозой и желочными кислотами (Conda, Испания), основу селективного агара для *Pseudomonas* и *Aeromonas* (GSP-агар) (Sigma-Aldrich, США), хлорид натрия (ЛенРеактив, РФ), агар бактериологический (Диаэм, Россия).

Для определения гемолитической активности полевых изолятов была использована основа Колумбийского агара (TmMedia, Индия), гемоглобин (Himedia, Индия) и дефибрированная кровь барана (5% от объема среды).

Изучение биохимических свойств полевых изолятов осуществляли на среде Симмонса (ФБУН ГНЦ ПМБ, РФ), цитратной среде Кристенсена (Биотехновация, РФ), уреазной среде Кристенсена (Himedia, Индия), бульоне с лизином / орнитином / аргинином (Himedia, Индия), агаре для определения ДНКазы (Conda, Испания), среде Кларка (глюкозофосфатный бульон) (НПЦ «Биокомпас-С», РФ), средах Гисса (Биотехновация, РФ), питательной среде № 15 ГРМ для контроля микробной загрязненности (для определения индола) (ФБУН ГНЦ ПМБ, РФ), нитратном бульоне (Himedia, Индия). Так же были использованы N, N-диметил-п-фенилендиамин (Sigma-Aldrich, США) для определения оксидазы активности, раствор 6% перекиси водорода (РусбиоАгроФарм, РФ), набор для определения ацетона в реакции Фогес-Проскауэра (НИЦФ, РФ), реактив Эрлиха (НИЦФ, РФ) для изучения продукции штаммами индола, раствор сульфаниловой кислоты (Himedia, Индия) и альфа-нафтиламин-овый реактив (Himedia, Индия) для определения продукции нитратов.

Для изучения желатиназной активности были использованы на 1 литр 120 грамм желатина (ЛенРеактив, РФ) и 20 грамм ГРМ-бульона. После культивирования исследуемых штаммов на данной среде пробирки были помещены в холодильник на 4 °C на 30 минут.

Для дополнительной биохимической характеристики изолятов был использован набор НЕФЕРМ тест 24 (Erba Lachema, Чехия).

Для экстракции дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) из бактериальных штаммов применялся набор реагентов «М-сорб-ООМ», предназначенный для выделения ДНК и рибонуклеиновой кислоты (РНК) из клинических образцов и биоматериалов окружающей среды на основе магнитных частиц (Синтол, Россия).

Для постановки полимеразной цепной (ПЦР) с электрофоретическим методом детекции результата амплификации реакции применяли набор

«БиоМастер HS-qPCR (2x)» (БиоЛабмикс). Для постановки электрофореза был использован 10x трис-боратный буфер (Bio-Rad, Германия), агароза (Servicebio, Китай). Для визуализации продукта к 2% агарозному гелю добавляли 20 мкл 1% раствор бромистого этидия (AppliChem, США) на 100 мл геля.

### Результаты

Выделение полевых изолятов проводили на авторской среде накопления AsSB УлГАУ, основу которой составил пептон ферментативный, мальтозы моногидрат, додецилсульфат натрия (SDS) и селективной среде AsSA УлГАУ на основе RYAN – агара. Установлено, что все выделенные изоляты – граммотрицательные неподвижные палочки, располагающиеся в бактериологических мазках единично или парами.

Изоляты бактерий активно росли при  $20 \pm 2$  °C и  $30 \pm 2$  °C на LB-бульоне (время культивирования – 24 ч), при  $35 \pm 2$  °C рост у выделенных штаммов не был зафиксирован, что позволяет нам сделать вывод о психрофильности полевых изолятов. Согласно одной из классификаций бактерий этого вида данная характеристика свойственна типовым изолятам *A. salmonicida* [8].

Выделенные изоляты характеризовались способностью к образованию коричневого пигмента при  $20 \pm 2$  °C на LB-агаре. Необходимо отметить, что полевые изоляты продуцировали пигмент через 48...72 часа культивирования, в свою очередь референс-штамм *A. salmonicida* ATCC 33658 и изолят *A. salmonicida* 65 характеризовались более слабой продукцией пигмента.

Все изучаемые штаммы бактерий активно росли на среде с 3% NaCl, но не были способны к росту в присутствии 5% NaCl.

Все полевые изоляты росли на CIN-агаре при температуре  $20 \pm 2$  °C. Через три дня культивирования колонии приобретали характерный малиновый цвет (рис. 1), их диаметр составлял  $\pm 2$  мм. Колонии имели выпуклую форму, глянцевую поверхность и ровные края. Однако у штаммов *A. salmonicida* 61, *A. salmonicida* 87 и *A. salmonicida* 88 было зафиксировано частичное ингибирование роста в течение пяти дней культивирования.

Через 48...72 ч культивирования в среде RYAN наблюдали рост штаммов *A. salmonicida*. Колонии имели сине-зеленый оттенок (диаметр  $\pm 2$  мм) были выпуклыми и глянцевыми, с ровными краями. Штаммы: *A. salmonicida* 61, *A. salmonicida* 76 характеризовались ростом колоний интенсивно зеленого цвета, по сравнению с другими изолятами. Это может быть обусловлено более высокой окислительно-ферментативной активностью в отношении сорбита или ксилиты, входящих в состав среды RYAN. По данным S.L. Abbott (2003) 85% протестированных штаммов *A. salmonicida* ферментировали сорбит [9]. При добавлении в состав среды селективного компонента, натриевой соли ампициллина, происходило полное ингибирование роста.

Также было установлено, что ни один из исследуемых изолятов не был способен к росту на агаре МакКонки и основе селективного агара для *Pseudomonas* и *Aeromonas* (GSP-агар).

Все полевые изоляты проявляют  $\beta$ -гемолитическую активность при инкубировании на основе Колумбийского агара с 5% дефибринированной крови барана в течение 72 ч.

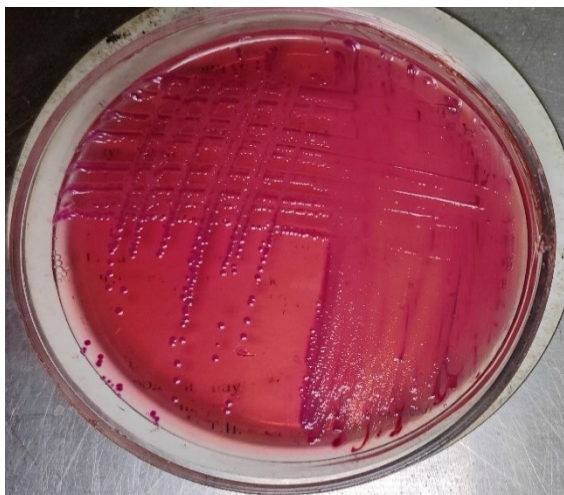


Рис.1. Рост штамма *Aeromonas salmonicida* ATCC 33658 на CIN агаре при 20 °C через 72 ч культивирования

При изучении биохимических свойств выделенных полевых изолятов было установлено, что они характеризовались оксидазой и каталазной активностью, способностью к восстановлению нитратов, дезоксирибонуклеазной активностью, продуцировали желатиназу, декарбоксилировали аргинин и лизин. Была выявлена сахаролитическая активность в отношении таких углеводов, как глюкоза, мальтоза, маннитол, фруктоза и галактоза.

При использовании набор НЕФЕРМ тест 24 было также установлено, что все изучаемые штаммы продуцировали  $\beta$ -галактозидазу, N - ацетил -  $\beta$ -D- глюкозаминидазу,  $\gamma$ -глутамилтрансферазу, фосфатазу.

Все исследованные штаммы бактерий не проявили метаболических свойств, характерных для мезофильных штаммов *Aeromonas*. В частности, не было установлено накопления ацетоина (реакция Фогеса-Проскауэра), образования индола, утилизации цитрата и ацетата натрия.

Остальные биохимические свойства выделенных полевых изолятов были характерны для бактерий данного рода: отсутствие орнитиндекарбоксилазной активности, ферментации ксилоры, рамнозы и сорбита, продукции уреазы.

Изучаемые штаммы бактерий были не способны к утилизации DL-лактата, у них не обнаружена  $\alpha$ -галактозидазная активность, отмечено отсутствие ферментативной активности в отношении ряда углеводов (лактозы, рамнозы, салицина, арабинозы, трегалозы, целлобиозы).

В таблице 1 приведены результаты исследований по изучению биологических свойств выделенных полевых изолятов.

Таблица 1. Результат исследования биологических свойств полевых изолятов

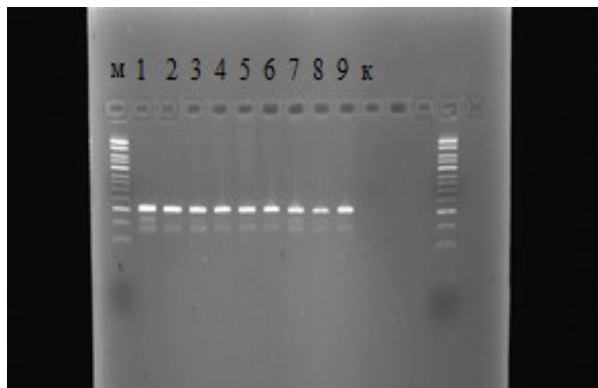
Биологические характеристики	A. salmonicida ATCC 33658	Название полевых ИЗОЛЯТОВ								
		A.s 61	A. s. 2001	A. s 43	A. s 54	A. s 65	A. s 76	A. s 87	A. s 88	A.s. 4914
Окраска по Грамму	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подвижность	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каталаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оксидаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Накопление ацетоина	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рост при 3% NaCl	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Рост при 5% NaCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лизиндекарбоксилаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Аргининдекарбоксилаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Орнитиндекарбоксилаза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Продукция нитратов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Образование пигмента	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ацетат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Индол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Утилизация цитрата	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Уреаза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ДНКаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Желатиназа	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Глюкоза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Лактоза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мальтоза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Маннитол	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Фруктоза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Рамноза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сорбит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Салицин	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ксилоза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сахароза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Арабиноза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Трегалоза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
β-гемолиз	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
DL-лактат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-кетоглюконат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ацетамид	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
β-галактозидаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
N - ацетил - β- D- глюко- заминидаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
α- галактозидаза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Малонат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Галактоза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Целлобиоза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
γ-глутамилтрансфераза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Фосфатаза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Эскулин	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Результаты исследований, указанные в таблице 1, свидетельствуют, что выделенные из объектов ветеринарно-санитарного надзора полевые изоляты бактерий принадлежат к виду *A. salmonicida*.

Для подтверждения видовой принадлежности выделенных штаммов *A. salmonicida* нами было принято решение для постановки ПЦР с визуализацией результатов амплификации методом электрофорезирования в агарозном геле. Были использованы ранее подобранные коллективом авторов праймерная

система и протокол амплификации для детекции участка гена *varA*, характерного для представителей данного вида [10].

Видовая принадлежность восьми полевых изолятов и референс-штамма была достоверно подтверждена методом ПЦР с детекцией гена *varA*, что свидетельствует о специфичности использованной праймерной системы (рис. 2).



**Рис. 2. Результат амплификации участка гена *varA* с подобранными праймерами:** 1 – *A. salmonicida* ATCC 33658, 2 – *A. salmonicida* 2001, 3 – *A. salmonicida* 61, 4 – *A. salmonicida* 43, 5 – *A. salmonicida* 65, 6 – *A. salmonicida* 76, 7 – *A. salmonicida* 87, 8 – *A. salmonicida* 88, 9 – *A. salmonicida* 4914, к- контроль, м-маркер.

#### Обсуждение

Инфекции, вызываемые *A. Salmonicida*, продолжают оставаться серьезной проблемой для аквакультуры во всем мире и приводят к значительным экономическим потерям [11]. Есть данные, что представители этого вида регистрируются как возбудители инфекций у человека [12]. Комплексное изучение штаммов *Aeromonas salmonicida*, интегрирующее данные фенотипической и генотипической характеристики, является высокоактуальным и насущно необходимым. Такой интегративный подход позволит не только решить фундаментальные вопросы таксономии и эволюции патогена [13], но и имеет прямое прикладное значение для разработки современных средств точной диагностики, эффективных мер контроля и профилактики фурункулеза, что в конечном итоге будет способствовать биобезопасности и устойчивому развитию мировой аквакультуры [10, 14].

По литературным данным *A. salmonicida* – грамотрицательные неподвижные неинкапсулированные палочки, положительные по каталазе и оксидазе [15]. Нами были получены в ходе исследования аналогичные данные. Этот вид традиционно считался психрофильным, с оптимальным ростом при 22 °С, 25 °С. Для подтверждения соответствия данным показателям необходимо было изучить ряд фенотипических признаков, включая положительный фенотип на ферментацию глюкозы, активность оксидазы и каталазы и устойчивость к вибростатическому агенту O/129. Изоляты, отвечающие всем этим критериям,

считаются представителями вида *A. salmonicida*. Для определения подвида требуются дополнительные тесты. Эти тесты включают гемолитическую активность, развитие коричневой пигментации, продукцию индола, синтез желатиназы и эскулингидролазы, усвоение арабинозы и маннита [14, 16]. Проведенные нами исследования согласуются с литературными данными и подтверждают принадлежность полевых изолятов к виду *A. salmonicida*.

Другие биохимические тесты, такие как окисление глюконата, образование кислоты из лактозы и сахарозы, гидролиз эскулина, утилизация N-ацетилглюкозамина и продукция эластазы, предложенные различными исследователями для идентификации подвидов *A. salmonicida*, не обеспечивают максимальную достоверность [13-15].

Известно, что вид *A. salmonicida* считается высоко гетерогенным. Внутривидовое генетическое разнообразие постоянно пополняется новыми изолятами, которые не вписываются в существующую таксономическую схему. Это требует применения современных для точной видовой и внутривидовой идентификации, установления филогенетических связей и выявления источников инфекции. Проведенные нами исследования по подтверждению видовой идентификации полевых изолятов *A. salmonicida* методом ПЦР позволяют утверждать, что разработанная авторами ранее система праймеров по детекции участка гена *varA* специфична.

#### Заключение

Высокая фенотипическая гетерогенность вида *A. salmonicida* делает традиционные методы идентификации, основанные только на биохимических тестах, недостаточно надежными. Как показало наше исследование, даже референтный штамм и некоторые полевые изоляты демонстрировали различия в интенсивности продукции пигмента, а часть штаммов была чувствительна к селективным компонентам сред. Это подтверждает необходимость использования молекулярно-генетических методов для безошибочной верификации.

Комплексный подход, интегрирующий данные фенотипирования (изучение культуральных и биохимических свойств) и генотипирования (ПЦР-детекция консервативных генов, таких как *varA*), является «золотым стандартом» в современной ихтиопатологии. Такой подход, примененный в нашей работе, не только позволяет точно идентифицировать возбудителя и отслеживать циркуляцию отдельных штаммов, но и является фундаментом для изучения их патогенного потенциала и механизмов устойчивости.

Проводимое исследование является актуальным и имеет прямую практическую направленность, поскольку его результаты способствуют разработке эффективных мер диагностики и контроля инфекций, вызываемых *A. salmonicida*, что напрямую влияет на биобезопасность и экономическую стабильность аквакультурных предприятий.

### Литература

1. Virulence, genomic features, and plasticity of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*, the causative agent of fish furunculosis / S. Dallaire-Dufresne, K. H. Tanaka, M. V. Trudel, et al. // Veterinary microbiology. 2014. Vol. 169. No. 1-2. P. 1-7.
2. Salvat M. J. F., Ashbolt N. *Aeromonas* // Global Water Pathogen Project; University of Alberta: Edmonton, AB, Canada. 2019. 29 p.
3. Enumeration and characterization of *Aeromonas* spp. isolated from milk and some dairy products in Sharkia Governorate Egypt / N. I. Ahmed, S. F. A. A El-Aal, M. A. Ayoub, et al. // Alexandria Journal of Veterinary Sciences. 2014. No. 40. P.52-64.
4. Isolation of *Aeromonas salmonicida* subspecies *salmonicida* from aquaculture environment in India: Polyphasic identification, virulence characterization, and antibiotic susceptibility / S. K. Pradhan, R. Devi, M. I. Khan, et al. // Microbial Pathogenesis. 2023. Vol. 179. P. 106100.
5. Austin B., Austin D. A. *Aeromonadaceae* representative (*Aeromonas salmonicida*) // Bacterial fish pathogens: disease of farmed and wild fish. 2016. P. 215-321.
6. *Aeromonas salmonicida*: updates on an old acquaintance / S. Menanteau-Ledouble, G. Kumar, M. Saleh, et al. // Diseases of aquatic organisms. 2016. Vol. 120. No. 1. P. 49-68.
7. Janda J. M., Abbott S. L. The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection // Clinical microbiology reviews. 2010. Vol. 23. No. 1. P. 35-73.
8. Investigation of the virulence and genomics of *Aeromonas salmonicida* strains isolated from human patients / A. T. Vincent, A. Fernández-Bravo, M. Sanchis, et al. // Infection, Genetics and Evolution. 2019. Vol. 68. P. 1-9.
9. Abbott S. L., Cheung W. K. W., Janda J. M. The genus *Aeromonas*: biochemical characteristics, atypical reactions, and phenotypic identification schemes // Journal of clinical microbiology. 2003. Vol. 41. No. 6. P. 2348-2357.
10. Real-time multiplex PCR method for detection of *A. veronii* *A. caviae* *A. salmonicida* / N. A. Feoktissova, A. A. Nafeev, A. V. Mastilenko, et al. // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. Vol. 71. P. 01076.
11. Investigation of the virulence and genomics of *Aeromonas salmonicida* strains isolated from human patients / A. T. Vincent, A. Fernández-Bravo, et al. // Infection, Genetics and Evolution. 2019. Vol. 68. P. 1-9.
12. Biogeography of the fish pathogen *Aeromonas salmonicida* inferred by vapA genotyping / S. Gulla, S. Bayliss, B. Björnsdóttir, et al. // FEMS microbiology letters. 2019. Vol. 366. No. 7. P. fnz074.
13. Comparative Genomics of Typical and Atypical *Aeromonas salmonicida* Complete Genomes Revealed New Insights into Pathogenesis Evolution / I. Vasquez, A. Hossain, H. Gnanagobal, et al. // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 1. P. 189.
14. Detection and characterization of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* infection in crucian carp *Carassius auratus* / Z. Lian, J. Bai, X. Hu, et al. // Veterinary research communications. 2020. Vol. 44. No. 2. P. 61-72.
15. Characterization of atypical *Aeromonas salmonicida* different methods / B. Austin, D. A. Austin, I. Dalsgaard, et al. // Systematic and applied microbiology. 1998. Vol. 21. No. P. 50-64.
16. Phenotypic, genotypic, and phylogenetic discrepancies to differentiate *Aeromonas salmonicida* from *Aeromonas bestiarum* / A. J. Martínez-Murcia, L. Soler, M. J. Saavedra, et al. // International Microbiology. 2005. Vol. 8. No. 4. P. 259-269.

### References

1. Virulence, genomic features, and plasticity of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*, the causative agent of fish furunculosis / S. Dallaire-Dufresne, K. H. Tanaka, M. V. Trudel, et al. // Veterinary microbiology. 2014. Vol. 169. No. 1-2. P. 1-7.
2. Salvat M. J. F., Ashbolt N. *Aeromonas* // Global Water Pathogen Project; University of Alberta: Edmonton, AB, Canada. 2019. 29 p.
3. Enumeration and characterization of *Aeromonas* spp. isolated from milk and some dairy products in Sharkia Governorate Egypt / N. I. Ahmed, S. F. A. A El-Aal, M. A. Ayoub, et al. // Alexandria Journal of Veterinary Sciences. 2014. No. 40. P.52-64.
4. Isolation of *Aeromonas salmonicida* subspecies *salmonicida* from aquaculture environment in India: Polyphasic identification, virulence characterization, and antibiotic susceptibility / S. K. Pradhan, R. Devi, M. I. Khan, et al. // Microbial Pathogenesis. 2023. Vol. 179. P. 106100.
5. Austin B., Austin D. A. *Aeromonadaceae* representative (*Aeromonas salmonicida*) // Bacterial fish pathogens: disease of farmed and wild fish. 2016. P. 215-321.
6. *Aeromonas salmonicida*: updates on an old acquaintance / S. Menanteau-Ledouble, G. Kumar, M. Saleh, et al. // Diseases of aquatic organisms. 2016. Vol. 120. No. 1. P. 49-68.
7. Janda J. M., Abbott S. L. The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection // Clinical microbiology reviews. 2010. Vol. 23. No. 1. P. 35-73.
8. Investigation of the virulence and genomics of *Aeromonas salmonicida* strains isolated from human patients / A. T. Vincent, A. Fernández-Bravo, M. Sanchis, et al. // Infection, Genetics and Evolution. 2019. Vol. 68. P. 1-9.
9. Abbott S. L., Cheung W. K. W., Janda J. M. The genus *Aeromonas*: biochemical characteristics, atypical reactions, and phenotypic identification schemes // Journal of clinical microbiology. 2003. Vol. 41. No. 6. P. 2348-2357.
10. Real-time multiplex PCR method for detection of *A. veronii* *A. caviae* *A. salmonicida* / N. A. Feoktissova, A. A. Nafeev, A. V. Mastilenko, et al. // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. Vol. 71. P. 01076.
11. Investigation of the virulence and genomics of *Aeromonas salmonicida* strains isolated from human patients / A. T. Vincent, A. Fernández-Bravo, et al. // Infection, Genetics and Evolution. 2019. Vol. 68. P. 1-9.

12. Biogeography of the fish pathogen *Aeromonas salmonicida* inferred by *vapA* genotyping / S. Gulla, S. Bayliss, B. Björnsdóttir, et al. // FEMS microbiology letters. 2019. Vol. 366. No. 7. P. fnz074.

13. Comparative Genomics of Typical and Atypical *Aeromonas salmonicida* Complete Genomes Revealed New Insights into Pathogenesis Evolution / I. Vasquez, A. Hossain, H. Gnanagobal, et al. // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 1. P. 189.

14. Detection and characterization of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* infection in crucian carp

*Carassius auratus* / Z. Lian, J. Bai, X. Hu, et al. // Veterinary research communications. 2020. Vol. 44. No. 2. P. 61-72.

15. Characterization of atypical *Aeromonas salmonicida* different methods / B. Austin, D. A. Austin, I. Dalsgaard, et al. // Systematic and applied microbiology. 1998. Vol. 21. No. P. 50-64.

16. Phenotypic, genotypic, and phylogenetic discrepancies to differentiate *Aeromonas salmonicida* from *Aeromonas bestiarum* / A. J. Martínez-Murcia, L. Soler, M. J. Saavedra, et al. // International Microbiology. 2005. Vol. 8. No. 4. P. 259-269.



### Разработка и оптимизация видоспецифичной праймерной системы для детекции *Listeria seeligeri*

**Е. В. Сульдина**✉, старший преподаватель кафедры «Микробиология, вирусология, эпизоотология и ветеринарно-санитарная экспертиза»

**И. С. Раксина**, кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель кафедры «Микробиология, вирусология, эпизоотология и ветеринарно-санитарная экспертиза»

**А. А. Нафеев**, доктор медицинских наук, профессор кафедры «Микробиология, вирусология, эпизоотология и ветеринарно-санитарная экспертиза»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000 г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉e.suldina2006@yandex.ru

**Резюме.** В работе представлены результаты исследований по разработке и оптимизации видоспецифичной праймерной системы для молекулярно-генетической идентификации *Listeria seeligeri* - непатогенного представителя рода *Listeria*, часто выявляемого в пищевых продуктах. Актуальность разработки обусловлена тем, что большинство коммерческих диагностических систем ориентированы исключительно на детекцию патогенного *L. monocytogenes*, что может приводить к ложноположительным результатам при наличии филогенетически близких, но безвредных видов. Для повышения точности микробиологического контроля была создана оригинальная тест-система на основе метода ПЦР в режиме реального времени. В качестве уникальной мишени выбран ген LSE\_RS03515, кодирующий белок с LapB-повторами, присутствующий только у *L. seeligeri*. Дизайн 2 пар праймеров (LsF1 LsR1 и LsF2 LsR2) выполнен с использованием программного инструмента Primer-BLAST (NCBI). Экспериментально подтверждена 100 % специфичность разработанных систем при тестировании на ДНК семи видов листерий. Оптимизированы ключевые параметры реакции: установлена оптимальная температура отжига праймеров (57 °C) и концентрация MgCl<sub>2</sub> (1,5 мкл) на пробу. Чувствительность метода – 10<sup>2</sup> КОЕ/мл, что обеспечивает надёжное обнаружение даже при низкой контаминации образца. Разработанная тест-система позволяет быстро и точно дифференцировать *Listeria seeligeri* от других представителей рода, включая патогенные виды. Это особенно важно для пищевой микробиологии, эпидемиологического надзора и лабораторной диагностики, где требуется исключение ложных срабатываний и повышение достоверности результатов. Полученные данные открывают возможности для расширения спектра диагностических инструментов, направленных на комплексный контроль микробной безопасности пищевой продукции.

**Ключевые слова:** *Listeria seeligeri*, *Listeria*, листерии, ПЦР, ПЦР-РВ, ДНК.

**Для цитирования:** Сульдина Е. В., Раксина И. С., Нафеев А. А. Разработка и оптимизация видоспецифичной праймерной системы для детекции *Listeria seeligeri* // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 140-145. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-140-145

### Development and optimization of a species-specific primer system for detecting *Listeria seeligeri*

**E. V. Suldina**✉, **I.S. Raksina**, **A.A. Nafeev**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University,

432000 Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, 1

✉e.suldina2006@yandex.ru

**Abstract.** The work presents the results of research on the development and optimization of a species-specific primer system for molecular genetic identification of *Listeria seeligeri* — a non-pathogenic representative of the genus *Listeria*, frequently detected in food products. The relevance of the development is due to the fact that most commercial diagnostic systems are focused exclusively on the detection of pathogenic *L. monocytogenes*, which may lead to false-positive results in the presence of phylogenetically close but harmless species. To improve the accuracy of microbiological control, an original test system was created based on the real-time PCR method. The gene LSE\_RS03515, encoding a protein with LapB repeats and present only in *L. seeligeri*, was selected as a unique target. The design of 2 primer pairs (LsF1 LsR1 and LsF2 LsR2) was performed using the Primer-BLAST software tool (NCBI). The 100 % specificity of the developed systems was experimentally confirmed when testing on DNA from seven *Listeria* species. Key reaction parameters were optimized: the optimal primer annealing temperature was established at 57 °C; the concentration of MgCl<sub>2</sub> was optimized at 1,5 µL per sample. The sensitivity of the method is 10<sup>2</sup> CFU/mL, which ensures reliable detection even with low sample contamination. The developed test system allows for rapid and accurate differentiation of *Listeria seeligeri* from other representatives of the genus, including pathogenic species. This is especially important for food microbiology, epidemiological surveillance, and laboratory diagnostics, where the exclusion of false positives and an increase in result reliability are required. The obtained data open up opportunities for expanding the range of diagnostic tools aimed at comprehensive control of microbial safety of food products.



**Keywords:** *Listeria seeligeri*, *Listeria*, *listeria*, PCR, PCR RT, DNA.

**For citation:** Suldina E. V., Raksina I. S., Nafeev A. A. Development and optimization of a species-specific primer system for detecting *Listeria seeligeri* / E.V. Suldina, I.S. Raksina, A.A. Nafeev// Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 140-145 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-140-145

## Введение

Во всем мире из-за изменения образа жизни, современных экономических систем, интереса к разнообразным кулинарным блюдам, далеким от наших традиций, а также из-за пандемии COVID-19 наблюдается заметный рост потребления полуфабрикатов и готовых к употреблению продуктов [1].

Современные методы производства, хранения и доставки пищевой продукции, несмотря на высокий уровень технологичности, могут способствовать активному размножению отдельных видов патогенных микроорганизмов, достигающих концентраций, представляющих серьёзную угрозу для здоровья человека. Недостаточное внимание к этим рискам нередко становится причиной не только единичных случаев пищевых инфекций, но и масштабных вспышек заболеваний, сопровождающихся значительной летальностью. Ярким примером подобной угрозы служит листериоз – тяжёлое инфекционное заболевание, вызываемое *Listeria monocytogenes*.

Листероз – заболевание пищевого происхождения, возбудителем, которого является бактерия *Listeria*, наиболее часто встречается у людей больных онкологическими заболеваниями, сахарным диабетом, ВИЧ-инфицированных, лиц пожилого возраста, беременных и новорожденных [2]. Основным возбудителем листериоза у человека традиционно считается *Listeria monocytogenes*, однако потенциальный риск заражения сохраняется и со стороны других представителей рода *Listeria* (на сегодняшний день описано 19 видов). Согласно исследованиям зарубежных учёных, в пищевых продуктах наряду с *L. monocytogenes* наиболее часто выявляются такие виды, как *L. innocua*, *L. seeligeri*, *L. ivanovii*, *L. grayii* и *L. welshimeri*, что подчеркивает необходимость комплексного микробиологического контроля при оценке безопасности пищевого сырья и готовой продукции [3-7].

Заболеваемость листериозом растёт с каждым годом и требует более точных методов диагностики и профилактики, направленной на предупреждение возникновения и распространения данного инфекционного заболевания.

Идентификация видов *Listeria* в продуктах питания важна для мониторинга патогенных штаммов и облегчает реализацию мер контроля [8]. Поэтому важно уметь не только своевременно выделить культуру листерий, но и идентифицировать ее до вида.

Следует подчеркнуть, что большинство коммерчески доступных диагностических тест-систем на сегодняшний день нацелены исключительно на выявление одного вида – *Listeria monocytogenes*. В то же время растёт понимание необходимости разработки и внедрения методик, способных на ранних этапах дифференцировать и других представителей рода

*Listeria*, включая непатогенные виды, такие как *L. seeligeri* [9]. Это особенно актуально в условиях, когда точная идентификация всех видов *Listeria* имеет значение для эпидемиологического мониторинга, оценки микробиологической безопасности пищевой продукции и исключения ложноположительных результатов. Таким образом, для специалистов в области лабораторной диагностики листериоза крайне важно располагать надёжным, быстрым и дифференцирующим методом, позволяющим не только обнаруживать *L. monocytogenes*, но и надёжно отличать его от филогенетически близких видов, в том числе *L. seeligeri* [10].

Цель исследований – разработка системы праймеров для идентификации бактерий вида *Listeria seeligeri* методом полимеразной цепной реакции в режиме «реального времени и оптимизация их работы.

## Материалы и методы

В работе использовали геномную ДНК семи видов бактерий рода *Listeria* (*L. monocytogenes*, *L. grayi*, *L. welshimeri*, *L. murrayi*, *L. innocua*, *L. ivanovii*, *L. seeligeri*). Выделение ДНК проводили с применением набора D-Cells (ООО «Биолабмикс», Новосибирск).

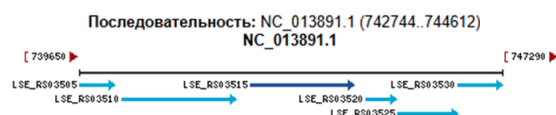
Подбор и дизайн праймеров для *Listeria seeligeri* осуществляли в Primer-BLAST (NCBI).

Для постановки ПЦР применяли реакционную смесь БиоМастер HS-qPCR SYBR Blue(2x) (Биолабмикс, г. Новосибирск) и стандартный набор лабораторного оборудования и расходных материалов. Амплификацию осуществляли на приборе DTPRime (ДНК-Технология, Москва).

Анализ данных выполнен в Microsoft Excel (Microsoft Office 2017).

## Результаты

Для разработки праймерной системы для молекулярно-генетической идентификации *Listeria seeligeri* были проанализированы геномы аннотированные в NCBI. В качестве гена интереса был выбран не тривиальный участок LSE\_RS03515 кодирующий белок, содержащий повторы LapB [*Listeria seeligeri* серотип 1/2b str. SLCC3954] (рис. 1)



**Рис. 1. Геномный контекст последовательности**

По данным *in-silico* выбранный геномный локус является уникальным для данного вида и отсутствует у других представителей рода *Listeria*.

Дизайн олигонуклеотидов осуществляли с помощью инструмента Primer-BLAST (NCBI;

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/> ). В качестве праймеров были выбраны 2 пары:

LsF1 CAAGCAACTGCAAGCGGAAA

LsR1 GAAGACGCCGGTTGCTGAGT

Аmplицируемый фрагмент 237 пар оснований.

LsF2 TTGAAGACGCCGGTTGCTGA

LsR2 GTCAAGCAACTGCAAGCGGAAA

Аmplицируемый фрагмент 241 пара оснований.

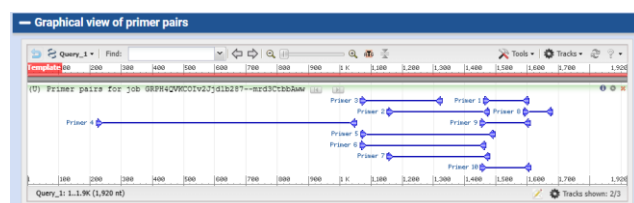


Рис.2. Подбор праймеров

Синтез праймеров осуществлен компанией «ДНК-Синтез» (Москва).

Оптимальную температуру отжига праймеров подбирали экспериментальным путем. В качестве матрицы использовали ДНК выделенную из коллекционного штамма *Listeria seeligeri*.

При написании программы амплификации пользовались рекомендациями производителя реакционной смеси: 1. Предварительная денатурация 95 °C – 300 сек. 2. 35 циклов: денатурация 95°C – 10 сек, отжиг (55...61 °C, с шагом в 2°C) – 15 сек, элонгация 68°C – 15 сек. Температура отжига 57 °C обеспечивает наиболее стабильную амплификацию (рис. 3-6). Эту температуру отжига применяли в дальнейшем для следующих этапов оптимизации работы праймерной системы.

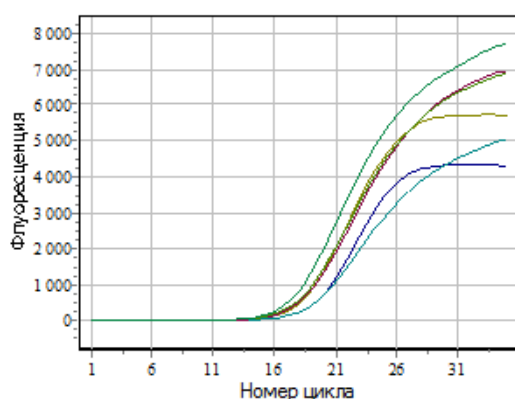


Рис. 3. Результаты амплификации *L. seeligeri* при температуре отжига праймеров 55°C

Подбор оптимальной концентрации  $MgCl_2$  проводили путем изменения расчетов непосредственно при приготовлении ПЦР-продукта. Нами были протестированы концентрации в границах от 0 до 2,5 мкл  $MgCl_2$  на 1 пробу. Оптимальной посчитали концентрацию в 1,5 мкл  $MgCl_2$ , при которой наблюдали максимальный флуоресцентный сигнал (табл. 1, рис. 7).

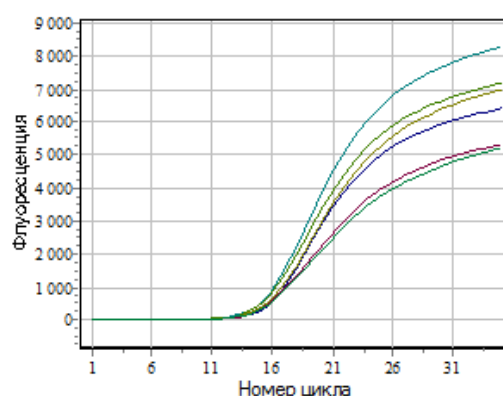


Рис. 4. Результаты амплификации *L. seeligeri* при температуре отжига праймеров 57°C

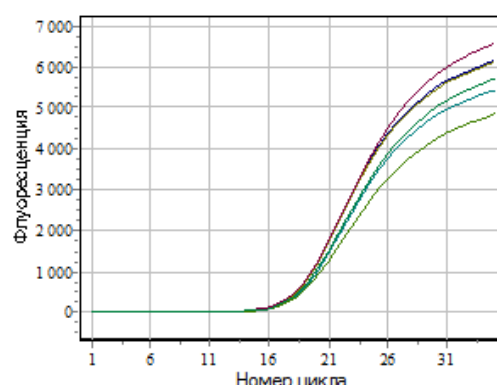


Рис. 5. Результаты амплификации *L. seeligeri* при температуре отжига праймеров 59°C

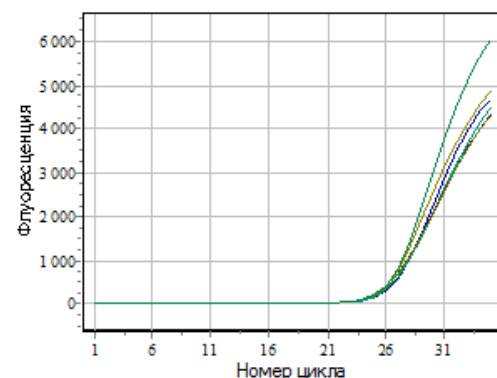


Рис. 6. Результаты амплификации *L. seeligeri* при температуре отжига праймеров 61°C

Таблица 1. Результаты амплификации при подборе оптимальной концентрации  $MgCl_2$

Номер лунки	Идентификатор пробирки	Cp, Fam	Результат
B6	LsF1 0	24,7	+
B9	LsF2 0	23,1	+
C5	LsF1 0,5	24,2	+
C10	LsF2 0,5	27,7	+
D5	LsF1 1	20,3	+
E6	LsF2 1	18,6	+
E7	LsF1 1,5	14,2	+
E10	LsF2 1,5	13,7	+
F4	LsF1 2	22,4	+
F7	LsF2 2	21,2	+
F8	LsF1 2,5	19,2	+
F9	LsF2 2,5	21,7	+

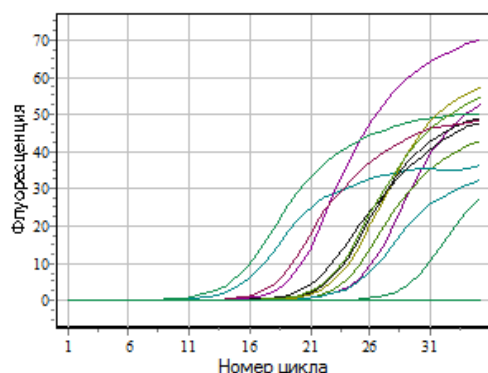


Рис. 7. Результаты амплификации при подборе оптимальной концентрации  $MgCl_2$

Таблица 2. Изучение специфичности разработанной системы праймеров для детекции *L. seeligeri* методом ПЦР-РВ

Номер лунки	Идентификатор пробирки	Cp, Fam	Результат
A4	LsF1 <i>L. seeligeri</i>	19,4	+
A5	LsF1 <i>L. monocytogenes</i>		-
A6	LsF1 <i>L. grayi</i>		-
A7	LsF1 <i>L. welshimeri</i>		-
A8	LsF1 <i>L. murrayi</i>		-
A9	LsF1 <i>L. innocua</i>		-
B3	LsF1 <i>L. ivanovii</i>		-
B4	LsF2 <i>L. ivanovii</i>		-
B5	LsF2 <i>L. innocua</i>		-
B6	LsF2 <i>L. murrayi</i>		-
B7	LsF2 <i>L. welshimeri</i>		-
B8	LsF2 <i>L. grayi</i>		-
E8	LsF2 <i>L. monocytogenes</i>		-
A3	LsF2 <i>L. seeligeri</i>	19,2	+

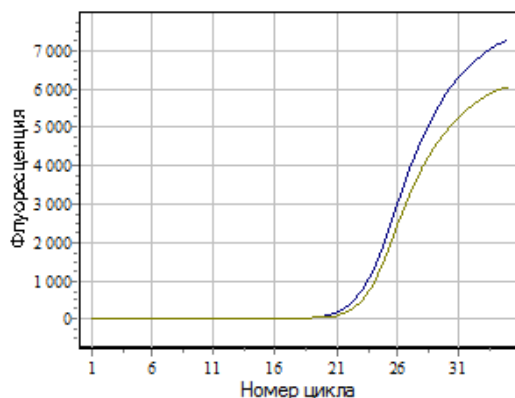


Рис. 8. Изучение специфичности разработанной праймерной системы для идентификации *L. seeligeri*

Специфичность разработанной праймерной системы проверяли с использованием ДНК дополнительных штаммов бактерий рода *Listeria*: *L. monocytogenes*, *L. innocua*, *L. ivanovii*, *L. welshimeri*, *L. grayi*, *L. murrayi*. Амплификация наблюдалась только при использовании ДНК *L. seeligeri*, что подтверждает 100 % специфичность подобранных праймеров (табл. 2, рис. 8).

Чувствительность тест-системы оценивали на серии 10-кратных разведений суточной культуры *L. seeligeri* соответствующую  $10^1$ – $10^7$  КОЕ/мл. Предел обнаружения составил  $10^2$  КОЕ/мл (100 жизнеспособных клеток в 1 мл).

## Обсуждение

Многочисленные вспышки листериоза в ряде стран мира и его широкое распространение в окружающей среде обуславливает необходимость усовершенствования лабораторной диагностики инфекции, то есть улучшение качества существующих и создание новых методов детекции.

В современной лабораторной диагностике листериоза широко используются молекулярно-генетические методы, которые значительно ускоряют процесс идентификации листерии, по сравнению с длительным бактериологическим исследованием. Особое место среди этих методов занимает полимеразная цепная реакция (ПЦР) [11].

Важно отметить, что выпускаемые на сегодняшний день коммерческие тест системы определяют только один вид листерий – *L. monocytogenes*. В своих исследованиях Нечаев А. Ю. с коллегами для выявления листерий в мясопродуктах молекулярно - генетическим методом использовали набор для ПЦР в реальном времени iQ Check™ *Listeria monocytogenes* (BioRad, Германия) [12]. Предложен и запатентован набор ПЦР для выявления ДНК патогенных микроорганизмов вида *Listeria monocytogenes* в пробах биоматериала, в пробах кормов, в объектах внешней среды.

На протяжении многих лет, иностранные коллеги для дифференциальной диагностики и выявления *L. seeligeri* в продуктах питания применяют ПЦР [11, 13]. Авторы [14] представили разработку и оценку 5'-экзонуклеазного анализа в реальном времени для быстрой идентификации *L. seeligeri*, *L. welshimeri*, *L. monocytogenes* и *L. ivanovii*, *L. grayi*, *L. innocua*. Разработанный анализ оказался специфичным, быстрым и воспроизводимым, поэтому его можно использовать в загруженных специализированных лабораториях.

D. Liu с коллегами после сравнительного анализа геномной ДНК шести видов *Listeria* методом точечной гибридизации выделили один специфичный для *L. seeligeri* клон (Ise24-315), содержащий вставку длиной 1538 пар оснований. Используя праймеры (Ise24-315F и Ise24-315R), полученные из этого клона, установили, что специфический продукт ПЦР длиной 375 п.о. образуется только из геномной ДНК штаммов *L. seeligeri*. Таким образом, ПЦР с использованием праймеров Ise24-315F и Ise24-315R обеспечивает быстрый, чувствительный и специфичный метод для отличия *L. seeligeri* от других листерий и распространённых бактерий [15-16].

## Заключение

В ходе проведенных исследований оптимизирована работа двух оригинальных систем праймеров для детекции *L. seeligeri* методом ПЦР. Специфичность подобранных систем праймеров составила 100%. Чувствительность реакции  $10^2$  клеток/мл. Ориентируясь на результаты проведенных исследований в качестве основной пары праймеров выбрана пара LsF1 F1 CAAGCAACTGCAAGCGGAAA; R1

GAAGACGCCGGTTGCTGAGT, ограничивающая участок в 237 п.о. гена, кодирующего белок, содержащий повторы LapB для *Listeria seeligeri*.

#### Литература

- Manyi-Loh C. E., Lues R. *Listeria monocytogenes* and Listeriosis: The Global Enigma // Foods. 2025. Vol. 14. P. 1266. doi:10.3390/foods14071266
- Листерииоз / В. И. Лучшев, В. В. Никифоров, С. В. Бурова и др. // Лечебное дело. 2005. №. 2. С. 71–76.
- Geographical and meteorological factors associated with isolation of *Listeria* species in New York State produce production and natural environments / T. K. Chapin, K. K. Nightingale, R. W. Worobo, et al. // J Food Prot. 2014 Nov; 77(11):1919-28. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-14-132. 1
- Hofer E., Ribeiro R., Feitosa D. P. Species and serovars of the genus *Listeria* isolated from different sources in Brazil from 1971 to 1997 // Mem Inst Oswaldo Cruz. 2000 Sep-Oct. Vol. 95 (5). P.615-20.
- Reservoirs of *Listeria* species in three environmental ecosystems // K. Linke, I. Rückerl, K. Brugger, et al. // Appl Environ Microbiol. 2014. Vol. 80. (18). P. 5583-92. doi: 10.1128/AEM.01018-14
- Prevalence and characterization of foodborne pathogens from Australian dairy farm environments / C. M. McAuley, K. McMillan, S. C. Moore, et al. // J Dairy Sci. 2014. Vol. 97 (12). P. 7402-12. doi: 10.3168/jds.2014-8735
- Comparison of the prevalences and diversities of *Listeria* species and *Listeria monocytogenes* in an urban and a rural agricultural watershed / E. C. Stea, L. M. Purdue, R. C. Jamieson, et al. // Appl Environ Microbiol. 2015. Vol. 81(11). P. 3812-22. doi: 10.1128/AEM.00416-15
- Identification of six *Listeria* species by real-time PCR assay E. Hage, O. Mpamugo, C. Ohai, et al. // Letters in Applied Microbiology. 2014. Vol. 58. No. 6. P. 535-540, doi: 10.1111/lam.12223
- Тартаковский И. С., Малеев В. В., Ермолаева С. А. Листерии: роль в инфекционной патологии человека и лабораторная диагностика. М.: Медицина для всех. 2002. 200 с.
- Стародумова С. М., Зайцева Е.А. Способ быстрой идентификации бактерий рода *Listeria* и патогенного вида *Listeria monocytogenes* с помощью мультиплексной ПЦР // Тихоокеанский медицинский журнал. 2014. № 1. С. 95-97.
- The role of probiotics in improving food safety; detoxification of heavy metals and chemicals / F. Ansari, C-C. Lee, A. Rashidimehr, et al. //Toxin Reviews. 2024. Vol. 43. No 1. P 63-91. doi: 10.1080/15569543.2023.2283768
- Köppel R., Schade J., Peier M. Specific detection of the most prevalent five *Listeria* strains and unspecific detection of 15 *Listeria* using multiplex real-time PCR // European Food Research and Technology. 2021. Vol. 247. No. 5. P. 1167-1175.
- Молекулярно генетические особенности и эпидемиологическая значимость штаммов *Listeria monocytogenes*, выделенных от беременных женщин и из абортного материала в дальневосточном регионе России Е. А. Зайцева, Н. М. Пуховская, Ю. С. Мусатов и др. // Клиническая микробиология антимикробная химиотерапия. 2007. Т. 9. № 1. С. 81-89.
- Discovery of natural atypical nonhemolytic *Listeria seeligeri* isolates / D. Volokhov, J. George, C. Anderson, et al. // Appl Environ Microbiol 72. No 4. doi: 10.1128/AEM.72.4.2439-2448.2006
- Identification of six *Listeria* species by real-time PCR assay / E. Hage, E. Hage, O. Mpamugo, et al. // Microbiology. 2014. Vol. 58. No. 6. P. 535-540. doi:10.1111/lam.12223
- Species-specific PCR determination of *Listeria seeligeri* / D. Liu, M. L. Lawrence, A. J. Ainsworth, et al. // Research in Microbiology. 2004. Vol. 155. No. 9. P. 741-74. doi:10.1016/j.resmic.2004.05.013

#### References

- Manyi-Loh C. E., Lues R. *Listeria monocytogenes* and Listeriosis: The Global Enigma // Foods. 2025. Vol. 14. P. 1266. doi:10.3390/foods14071266
- Listeriosis / V. I. Luchchev, V. V. Nikiforov, S. V. Burova et al. // General Medicine. 2005. No. 2. P. 71-76.
- Geographical and meteorological factors associated with isolation of *Listeria* species in New York State produce production and natural environments / T. K. Chapin, K. K. Nightingale, R. W. Worobo, et al. // J Food Prot. 2014 Nov; 77(11):1919-28. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-14-132. 1
- Hofer E., Ribeiro R., Feitosa D.P. Species and serovars of the genus *Listeria* isolated from different sources in Brazil from 1971 to 1997 // Mem Inst Oswaldo Cruz. 2000 Sep-Oct. Vol. 95 (5). P.615-20.
- Reservoirs of *Listeria* species in three environmental ecosystems // K. Linke, I. Rückerl, K. Brugger, et al. // Appl Environ Microbiol. 2014. Vol. 80. (18). P. 5583-92. doi: 10.1128/AEM.01018-14
- Prevalence and characterization of foodborne pathogens from Australian dairy farm environments / C. M. McAuley, K. McMillan, S. C. Moore, et al. // J Dairy Sci. 2014. Vol. 97(12). P. 7402-12. doi: 10.3168/jds.2014-8735
- Comparison of the prevalences and diversities of *Listeria* species and *Listeria monocytogenes* in an urban and a rural agricultural watershed / E. C. Stea, L. M. Purdue, R. C. Jamieson, et al. // Appl Environ Microbiol. 2015. Vol. 81(11). P. 3812-22. doi: 10.1128/AEM.00416-15
- Identification of six *Listeria* species by real-time PCR assay E. Hage, O. Mpamugo, C. Ohai, et al. // Letters in Applied Microbiology. 2014. Vol. 58. No. 6. P. 535-540. doi: 10.1111/lam.12223
- Tartakovsky I. S., Maleev V. V., Ermolaeva S. A. *Listeria*: Role in Human Infectious Pathology and Laboratory Diagnostics. Moscow: Medicine for All. 2002. 200 p.
- Starodumova S.M., Zaitseva E.A. A Method for Rapid Identification of *Listeria* Bacteria and the

Pathogenic Species *Listeria Monocytogenes* Using Multiplex PCR // Pacific Medical Journal. 2014. No. 1. P. 95-97.

11. The role of probiotics in improving food safety; detoxification of heavy metals and chemicals / F. Ansari, C-C. Lee, A. Rashidimehr, et al. //Toxin Reviews. 2024. Vol. 43. No 1. P 63-91. doi: 10.1080/15569543.2023.2283768

12. Köppel R., Schade J., Peier M. Specific detection of the most prevalent five *Listeria* strains and unspecific detection of 15 *Listeria* using multiplex real-time PCR // European Food Research and Technology. 2021. Vol. 247. No. 5. P. 1167-1175.

13. Molecular genetic characteristics and epidemiological significance of *Listeria monocytogenes* strains isolated from pregnant women and from abortion material in the Far Eastern region of Russia E. A. Zaitseva, N. M. Pukhovskaya, Yu. S. Musatov et al. // Clinical microbiology antimicrobial chemotherapy. 2007. Vol. 9. No. 1. P. 81-89.

14. Discovery of natural atypical nonhemolytic *Listeria seeligeri* isolates / D. Volokhov, J. George, C. Anderson, et al. // Appl Environ Microbiol 72. No 4. doi: 10.1128/AEM.72.4.2439-2448.2006

15. Identification of six *Listeria* species by real-time PCR assay / E. Hage, E. Hage, O. Mpamugo, et al. // Microbiology. 2014. Vol. 58. No. 6. P. 535-540. doi:10.1111/lam.12223

16. Species-specific PCR determination of *Listeria seeligeri* / D. Liu, M. L. Lawrence, A. J. Ainsworth, et al. // Research in Microbiology. 2004. Vol. 155. No. 9. P. 741-74. doi:10.1016/j.resmic.2004.05.013

## 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-146-151

УДК: 619:616.98:578

**Подбор адъюванта для поливидовой инактивированной вакцины против хламидиоза сельскохозяйственных животных**<sup>1,2</sup> В. В. Евстифеев, доктор биологических наук, доцент, заведующий отделением бактериологии<sup>1</sup> С. И. Яковлев<sup>✉</sup>, кандидат ветеринарных наук, научный сотрудник<sup>12</sup> Д. Н. Мингалеев, доктор ветеринарных наук, профессор, врио директора<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»420075, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок-2, <sup>✉</sup>vnivi@mail.ru<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Казанский ГАУ Институт "Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана"

420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Сибирский Тракт, 35,

**Резюме.** В статье представлены результаты изучения стерильности, безопасности, стабильности, вязкости и антигенной активности противохламидийных эмульсионных вакцин, сконструированных с использованием экспериментальных и коммерческих адъювантов серий «БС» и «CORALVAC». Также проведено сравнение с вакциной на основе эталонного масло-ланолинового адъюванта «МЛА-70». Определяли стерильность вакцин и их безопасность. Стабильность оценивали экспресс-методом и при длительном хранении. Вязкость измеряли с помощью капиллярного вискозиметра ВПЖ-2м. Антигенную активность исследовали на морских свинках с использованием реакции связывания комплемента (РСК). Все препараты соответствуют критериям стерильности и безопасности. Вакцины на основе адъювантов «БС» и «МЛА-70» продемонстрировали стабильность при длительном хранении, в то время как препараты на основе «CORALVAC» расслаивались при температуре +24°C. Все вакцины индуцировали выработку противохламидийного гуморального иммунитета, однако самые низкие показатели антигенной активности наблюдались в группе животных, иммунизированных вакцинами с адъювантом «CORALVAC». Наивысшие показатели антигенной активности и вязкости были зафиксированы в группах, получавших вакцины с адъювантами «БС-60» и «МЛА-70», причем значения вязкости составили 52,5 и 51,2 мм<sup>2</sup>/с соответственно. На основании полученных данных был сделан вывод, что адъювант «БС-60», соответствующий требованиям GMP, является наиболее оптимальным коммерческим адъювантом для создания противохламидийной вакцины.

**Ключевые слова:** хламидиоз, вакцина, адъювант, антигенная активность

**Для цитирования:** Евстифеев В. В., Яковлев С. И., Мингалеев Д. Н. Подбор адъюванта для поливидовой инактивированной вакцины против хламидиоза сельскохозяйственных животных // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 146-151. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-146-151

**Adjuvant selection for a multispecies inactivated chlamydia vaccine for farm animals**V. V. Evstifeev<sup>1,2</sup>, S. I. Yakovlev<sup>1</sup>, M. D. Mingaleev<sup>1,2</sup><sup>1</sup> FSBSI Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety, 420075, Russian Federation, Republic of Tatarstan, Kazan, Science City-2, vnivi@mail.ru<sup>2</sup> FSBEI HE Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kazan State Agrarian University Institute "Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman", 420029, Republic of Tatarstan, Kazan, Sibirsky Tract st., 35, kgavm\_baumana@mail.ru

**Abstract.** This article presents results of the study of the sterility, safety, stability, viscosity, and antigenic activity of chlamydial emulsion vaccines constructed using experimental and commercial adjuvants from the BS and CORALVAC series. A comparison was also made with a vaccine based on the standard oil-lanolin adjuvant MLA-70. The vaccine sterility and safety were determined. Stability was assessed using a rapid method and during long-term storage. Viscosity was measured using a VPZh-2m capillary viscometer. Antigenic activity was tested in guinea pigs using the complement fixation test (CFT). The results showed that all preparations met the sterility and safety criteria. Vaccines based on the BS and MLA-70 adjuvants demonstrated stability during long-term storage, while CORALVAC-based products degraded at 24°C. All vaccines induced the development of anti-chlamydial humoral immunity, but the lowest antigenic activity was observed in the group of animals immunized with the CORALVAC-adjuvanted vaccines. The highest antigenic activity and viscosity were recorded in the groups receiving the BS-60 and MLA-70 adjuvants, with viscosity values of 52.5 and 51.2 mm<sup>2</sup>/s, respectively. Based on these data, it was concluded that BS-60 adjuvant, which meets GMP requirements, is the most appropriate commercial adjuvant for development of an anti-chlamydial vaccine.

**Keywords:** chlamydia, vaccine, adjuvant, antigenic activity.

**For citation:** Evstifeev V. V., Yakovlev S. I., Mingaleev M. D. Adjuvant selection for a multispecies inactivated chlamydia vaccine for farm animals // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 146-151 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-146-151

### Введение

Хламидиозы – это контагиозное инфекционное заболевание, поражающее животных, птиц и человека [1, 2]. Возбудителями хламидиоза являются облигатные внутриклеточные бактерии рода *Chlamydia* из семейства *Chlamydiaceae*. Характерной особенностью хламидий является их уникальный жизненный цикл, включающий три основные формы: элементарные тельца (внеклеточная форма), ретикулярные тельца (внутриклеточная форма) и аберрантные тельца (латентная форма) [3, 4, 5]. Эта особенность позволяет хламидиям длительно персистировать в организме хозяина, избегая иммунного ответа, и делает их устойчивыми к большинству антибиотиков [6, 7, 10]. В связи с этим наиболее эффективным методом профилактики хламидиозов является специфическая вакцинация [8, 9].

Ученые ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» ранее разработали, зарегистрировали и организовали производство ряда эмульсионных вакцин для профилактики хламидиоза у животных [11]. Однако, вступление в силу приказа Минпромторга России от 14.06.2013 № 916 (ред. от 18.12.2015) «Об утверждении Правил надлежащей производственной практики» (зарегистрировано в Минюсте России 10.09.2013 № 29938) потребовало приостановки производства из-за необходимости соответствия производственной площадки и используемых веществ стандартам GMP.

Ранее для повышения иммуногенности хламидийного антигена в вакцинах применялся оригинальный масло-ланолиновый адъювант «МЛА-70». Однако правила надлежащей производственной практики ограничивают использование некоторых веществ, субстанций и продуктов их переработки, что затрудняет производство собственных адъювантов. Это требует замены адъювантов на готовые продукты, соответствующие стандартам GMP.

Цель работы – подбор оптимального масляного адъюванта для создания инактивированной эмульсионной вакцины против хламидиоза животных, соответствующего стандартам GMP.

### Материалы и методы

Работу проводили на базе лаборатории хламидийных инфекций ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности».

Экспериментальные серии эмульсионных вакцин на основе различных адъювантов были изготовлены с применением одного антигена, состав которого был представлен штаммами: *C. psittaci* «PC-85», *C. psittaci* «250», *C. psittaci* «АМК-16».

Для создания экспериментальных вакцин использовали шесть адъювантов. Первые две вакцины были изготовлены из адъювантов серии CORALVAC, а именно «RZ 528» и «RZ 506». Следующие три вакцины были изготовлены из адъювантов «БС-50», «БС-

60» и «БС-70». В качестве эталонного образца вакцины использовали биопрепарат, изготовленный из оригинального масло-ланолинового адъюванта «МЛА-70». Для эмульгирования адъювантов с хламидийным антигеном были взяты различные их пропорции в соответствии с характеристиками адъювантов. Полученные вакцины представляли собой эмульсию типа «вода в масле».

Определение стерильности вакцин проводили в соответствии с ОФС 1.2.4.0003.15 (п.2.3) методом прямого посева.

Определение безвредности вакцин проводили в соответствии с ГОСТ 31926. Образцы каждой вакцины в объеме 0,25 см<sup>3</sup> вводили внутривентально белым мышам. Наблюдение за животными вели в течение 10 суток после вакцинации.

Стабильность вакцин определяли экспресс-методом и путем длительного хранения при различных температурах.

Сущность экспресс-метода заключалась в проведении центрифугирования образцов вакцин (объем 10 см<sup>3</sup>) при 4000 об/мин в течение 10 мин.

Эмульсия считалась стабильной, если при визуальном осмотре исследуемых образцов вакцин после центрифугирования не выявляли никаких изменений содержимого.

Оценку стабильности вакцин при длительном их хранении осуществляли при температурных режимах минус 20°С, плюс 4°С и плюс 24°С. Исследование проводили в течение 150 суток после изготовления вакцин.

Вязкость исследуемых биопрепаратов определяли с применением капиллярного вискозиметра типа ВПЖ-2м.

Изучение аномальной токсичности экспериментальных вакцин осуществляли согласно «Руководству по доклиническим исследованиям безопасности в целях проведения клинических исследований и регистрации лекарственных препаратов», утвержденным Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 26 ноября 2019 г. № 202.

Антигенную активность экспериментальных серий вакцин на основе различных адъювантов изучали на 28 морских свинках. Из лабораторных животных были сформированы семь групп по четыре особи в каждой. Животные первых шести групп были иммунизированы одной из шести исследуемых вакцин. Биопрепараты вводили внутримышечно в объеме 0,5 см<sup>3</sup>.

Серологические исследования проводили каждые 30 суток в течение пяти месяцев.

Реакцию связывания комплемента (РСК) ставили в соответствии с инструкцией, утвержденной заместителем руководителя Россельхознадзора от 3 марта 2008 года для «Набора антигенов и сывороток для серологической диагностики хламидиозов».



#### 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)

сельскохозяйственных животных» (РОСС RU.ФВ01.Н00022).

##### Результаты

Исследования стерильности и безвредности экспериментальных серий вакцин показали, что все препараты были стерильны (не содержали в своем составе жизнеспособные микроорганизмы из внешней среды) и безвредны для лабораторных животных.

Биопрепараты, изготовленные из адъювантов серий «БС» и «МЛА-70», были стабильны в течение 150 суток хранения при трех температурных режимах (табл. 1). Вакцины, изготовленные из адъювантов серии «CORALVAC», были стабильны в течение 150 суток хранения при температурах минус 20°С и плюс 4°С. При температуре плюс 24°С биопрепараты, изготовленные из этого адъюванта, расслаивались. В ходе изучения стабильности исследуемых вакцин

экспресс-методом было установлено, что все биопрепараты были стабильны.

Результаты изучения вязкости экспериментальных вакцин показали различия в показателях вязкости исследуемых препаратов. Самой вязкой оказалась вакцина, изготовленная с применением адъюванта «БС-50», её вязкость была равна 98 мм<sup>2</sup>/с. Вакциной с наименьшей вязкостью оказался биопрепарат, изготовленный с применением адъюванта «БС-70» (36,7 мм<sup>2</sup>/с).

У эталонного образца вакцины (адъювант «МЛА-70») и вакцины из адъюванта «БС-60» наблюдали наиболее близкие показатели вязкости, которые равнялись 51,2 мм<sup>2</sup>/с и 52,5 мм<sup>2</sup>/с соответственно.

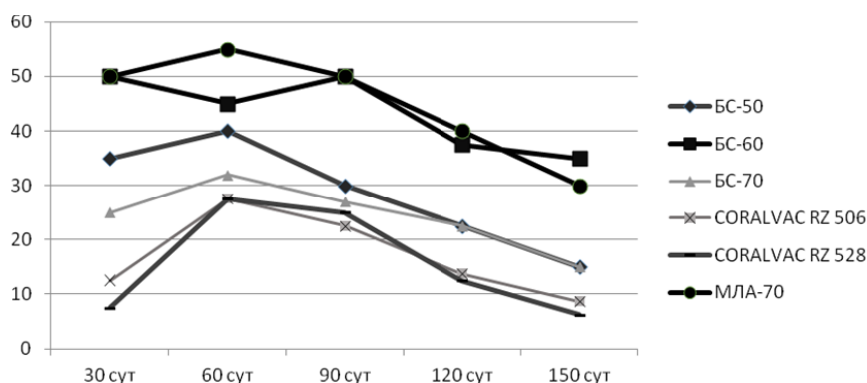
В таблицах 2 и 3 представлены результаты изучения токсичности исследуемых серий вакцин и результаты изучения реакции гиперчувствительности замедленного типа у лабораторных животных.

**Таблица 1. Результаты изучения стабильности и вязкости противохламидийных вакцин на основе различных адъювантов**

Адъювант	Стабильность при длительном хранении (t в течение 150 сут)			Изучение стабильности экспресс-методом	Показатели вязкости вакцин, мм <sup>2</sup> /с
	При t -20°С	При t +4°С	При t +24°С		
CORALVAC RZ 506	Стабилен	Стабилен	Не стабилен	Стабилен	48,6
CORALVAC RZ 528	Стабилен	Стабилен	Не стабилен	Стабилен	45,2
БС-50	Стабилен	Стабилен	Стабилен	Стабилен	98
БС-60	Стабилен	Стабилен	Стабилен	Стабилен	52,5
БС-70	Стабилен	Стабилен	Стабилен	Стабилен	36,7
МЛА-70 (контроль)	Стабилен	Стабилен	Стабилен	Стабилен	51,2

**Таблица 2. Оценка токсичности экспериментальных вакцин на лабораторных животных**

Вакцина из адъюванта	Среднее значение массы тела белых мышей, г		Среднее значение массы тела морских свинок, г	
	Начало опыта	На 7 сут опыта	Начало опыта	На 7 сут опыта
CORALVAC RZ 506	18,94	19,02	269,2	285,6
CORALVAC RZ 528	19,11	19,14	261,2	276,3
БС-50	18,93	18,99	275,3	281,4
БС-60	19,24	19,23	271,6	286,6
БС-70	19,31	19,30	268,3	279,3
МЛА-70 (контроль)	19,18	19,27	262,7	279,3
Контрольные животные	19,17	19,20	268,8	380,7



**Рис. 1. Средние титры противохламидийных антител в сыворотках крови морских свинок**

Результаты изучения токсичности исследуемых экспериментальных вакцин показали, что на протяжении 7 суток исследования признаков интоксикации животных, а также снижения массы тела у белых

мышей и морских свинок выявлено не было. Через неделю после введения исследуемых биопрепаратов животные всех групп прибавили в весе. Полученные данные свидетельствуют о том, что все вакцины,



изготовленные из разных адъювантов, не вызывают токсического действия на лабораторных животных.

На рисунке 1 представлены результаты оценки антигенной активности вакцин, изготовленных из разных адъювантов.

Самая низкая концентрация специфических противохламидийных антител в сыворотках крови вакцинированных животных была выявлена в группах морских свинок, иммунизированных вакцинами, изготовленными из адъювантов серии «CORALVAC».

Средняя концентрация противохламидийных специфических антител была выявлена в группе морских свинок, иммунизированных биопрепаратами, изготовленными с применением адъювантов «БС-50» и «БС-60».

На протяжении всего исследования максимальные средние титры комплементсвязывающих антител были выявлены в группах морских свинок, привитых вакциной на основе адъюванта «БС-60» и вакцины, изготовленной из эталонного адъюванта «МЛА-70».

### Обсуждение

В работе были изучены различные характеристики экспериментальных серий противохламидийных эмульсионных вакцин, сконструированных с использованием различных адъювантов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о сравнительной эффективности и свойствах этих препаратов.

Вопрос стабильности вакцин при хранении является одним из ключевых. Так вакцины на основе адъювантов серий «БС» и «МЛА-70» продемонстрировали стабильность при длительном хранении, в то время как препараты на основе адъювантов «CORALVAC» расслаивались при температуре +24 °C. Это подтверждает важность выбора подходящего адъюванта для обеспечения стабильности вакцины. Например, в исследовании, проведенном Ветровой А. Н., также отмечали зависимость стабильности вакцины от их формуляции [12]. Согласно данным Александровой Н. В., стабильность вакцин может быть обеспечена при соблюдении определенных условий хранения, таких как температурный режим [13]. В нашем случае вакцины на основе адъювантов серий «БС» и «МЛА-70» показали лучшие результаты в этом отношении.

Антигенная активность вакцин также является важным параметром. Согласно данным Авдеевой Ж.И., адъюванты используются для повышения иммуногенности различных антигенов, и выбор подходящего адъюванта может существенно повлиять на эффективность вакцины [14]. В исследовании, проведенном Шемельковым Е.В., было установлено, что образец вакцины на основе адъюванта ISA-61 отличался более высокой антигенной активностью по сравнению с аналогичным образцом на основе ISA-50 [15]. В нашей работе также были получены интересные результаты: наивысшие показатели антигенной активности были зафиксированы в группах животных, иммунизированных вакцинами на основе

адъювантов «БС-60» и «МЛА-70». Это свидетельствует о том, что адъювант «БС-60» может быть эффективным в повышении иммуногенности противохламидийной вакцины.

Сравнение результатов с другими исследованиями показывает, что адъювант «БС-60» может быть перспективным для создания противохламидийной вакцины. Так в исследовании, проведенном Зуенко А.А., критерием стабильности лекарственного препарата служило сохранение его качества, включая внешний вид, растворимость, специфическую активность и другие параметры [16]. В нашем случае вакцины на основе «БС-60» и «МЛА-70» продемонстрировали высокие показатели стабильности и антигенной активности, что подтверждает их потенциал для использования в производстве вакцин.

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что адъювант «БС-60» является наиболее оптимальным коммерческим адъювантом для создания противохламидийной вакцины. Это подтверждается его способностью обеспечивать стабильность вакцины при хранении и высокой антигенной активностью. Данные результаты могут быть полезными для дальнейших исследований и разработок в области создания противохламидийных вакцин.

### Заключение

Все экспериментальные серии вакцин, изготовленные с применением разных адъювантов, были стерильны (не контаминированы посторонней микрофлорой), безвредны для лабораторных животных, стабильны, не вызывали токсического эффекта у лабораторных животных и обладали способностью индуцировать выработку специфического противохламидийного гуморального иммунитета.

В результате изучения антигенной активности экспериментальных серий эмульсионных вакцин, изготовленных на основе различных масляных адъювантов, наиболее высокий титр специфических антител наблюдался в группе животных, иммунизированных вакциной, изготовленной на основе адъюванта «БС-60» (средние титры на 30 сут – 1:50, на 60 сут – 1:45, на 90 сут – 1:50, на 120 сут – 1:37,5 и на 150 сут – 1:35). Также следует отметить, что экспериментальный биопрепарат, изготовленный с применением адъюванта «БС-60» помимо антигенной активности также был максимально приближен по всем характеристикам к вакцине, изготовленной на основе эталонного адъюванта «МЛА-70».

Поэтому в дальнейшем изготовление экспериментальных серий вакцины против хламидиоза для доклинических и клинических испытаний рекомендовано проводить с использованием адъюванта «БС-60».

### Литература

1. Borel N., Sachse K. Zoonotic transmission of Chlamydia spp.: Known for 140 years, but still underestimated // Zoonoses: Infections Affecting Humans and

Animals / Ed. by A. Sing. – Cham: Springer. 2023. doi: 10.1007/978-3-030-85877-3\_53-1

2. Chlamydiaceae: diseases in primary hosts and zoonosis / H. C. Cheong, C. Y. Q. Lee, Y. Y. Cheok, et al. / Microorganisms. 2019. Vol. 7, No. 5. P. 146. doi: 10.3390/microorganisms7050146

3. Marti H., Jelocnik M. Animal Chlamydiae: A concern for human and veterinary medicine // Pathogens. 2022. Vol. 11, No. 3. P. 364. doi: 10.3390/pathogens11030364

4. Caspe S. G., Hill H. Chlamydiosis in animals // Animals. 2024. Vol. 14. no. 21. P. 3130. doi: 10.3390/ani14213130

5. Хламидиоз сельскохозяйственных животных / Н. А. Мустафаева, С. А. Сафарова, Ф. А. Джумшудова и др. // Прикаспийский вестник ветеринарии. 2023. № 1. С. 24–28. URL: <https://www.elibrary.ru/lvvhsy> (дата обращения: 26.09.2025).

6. Равилов А. З., Гаффаров Х. З., Равилов Р. Х. Хламидиоз животных. – Казань: Издательство "Фэн" Академии наук Республики Татарстан, 2004. 368 с. ISBN 5-9690-0014-0.

7. Хламидиозы животных и человека / В. А. Федорова, А. М. Ляпина, М. А. Хижнякова и др. Москва: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука". 2019. 135 с. ISBN 978-5-02-040249-2.

8. Изучение поствакцинального противохламидийного иммунитета при вакцинации крупного рогатого скота ассоциированной вакциной / В.В. Евстифеев, Ф. М. Хусаинов, Г. И. Хусаинова и др. // Ветеринарный врач. 2024. № 4. С. 44-48. doi: 10.33632/1998-698X\_2024\_4\_44

9. Яковлев С. И. Изучение некоторых биологических свойств хламидий, выделенных при аборте коз // Наука и инновации в АПК XXI века: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 145-летию академии, Казань, 15–16 марта 2018 года. Казань: Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана, 2018. С. 211-214.

10. Сероиммунологический мониторинг респираторных и желудочнокишечных заболеваний крупного рогатого скота в различных скотоводческих хозяйствах Среднего Поволжья за 2019 год / В. В. Евстифеев, В.Г. Гумеров, Ф. М. Хусаинов и др. // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 18-23.

11. Течение хламидиоза и его профилактика на свиномкомплексе / Р. Х. Хамадеев., Ф. М. Хусаинов, А. З. Равилов и др. // Ветеринария. 2000. № 12. С. 14.

12. Влияние условий хранения на стабильность хантавирусных вакцинных препаратов на основе вируса Пуумала / А. Н. Ветрова, С. С. Курашова, Р. Д. Теодорович и др. // Инфекция и иммунитет. 2023. Т. 13. № 2. С. 376–382. doi: 10.15789/2220-7619-OOS-2116

13. Стабильность отраслевого стандартного образца вакцины туберкулезной (БЦЖ) / Н. В.

Александрова, А. А. Савина, А. В. Наконечная и др.// БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2020. Т. 20, № 3. С. 187-192. doi: 10.30895/2221-996X-2020-20-3-187-192

14. Вакцины с адъювантами. Доклинические исследования / Ж. И. Авдеева, Н. А. Алпатова, В. П. Бондарев и др. // БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2015. № 1. С. 15-20.

15. Влияние адъювантов ISA 61 и ISA 50 на антигенную активность, способность формировать колостральный иммунитет и эффективность экспериментальных образцов вакцины КОМБОВАК-А/ Е. В. Шемельков, Г. О. Шемелькова, Е. В. Иванов и др. // Аграрная наука. 2024. № 6. С. 44-49. doi: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-44-49.

16. Анализ стабильности производства вакцины чумной живой и основных показателей качества препарата / А. А. Зуенко, Н. В. Абзаева, С. Е. Гостищева и др. // Проблемы особо опасных инфекций. 2018. № 4. С. 54-57.

#### References

1. Borel N., Sachse K. Zoonotic transmission of Chlamydia spp.: Known for 140 years, but still underestimated // Zoonoses: Infections Affecting Humans and Animals / Ed. by A. Sing. – Cham: Springer, 2023. doi: 10.1007/978-3-030-85877-3\_53-1

2. Chlamydiaceae: diseases in primary hosts and zoonosis / H. C. Cheong, C. Y. Q. Lee, Y. Y. Cheok, et al. / Microorganisms. 2019. Vol. 7. No. 5. P. 146. doi: 10.3390/microorganisms7050146

3. Marti H., Jelocnik M. Animal Chlamydiae: A concern for human and veterinary medicine // Pathogens. 2022. Vol. 11. No. 3. P. 364. doi: 10.3390/pathogens11030364

4. Caspe S. G., Hill H. Chlamydiosis in animals // Animals. 2024. Vol. 14. No. 21. P. 3130. doi: 10.3390/ani14213130

5. Chlamydia in farm animals / N. A. Mustafayeva, S. A. Safarova, F. A. Dzhumshudova, et al. // Caspian Veterinary Vestnik. 2023. No. 1. P. 24-28. URL: <https://www.elibrary.ru/lvvhsy> (access date: 26.09.2025).

6. Ravilov A. Z., Gaffarov Kh. Z., Ravilov R. Kh. Chlamydia in animals. – Kazan: Publishing House "Fen" of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2004. 368 p. ISBN 5-9690-0014-0

7. Chlamydia in animals and humans / V. A. Fedorova, A. M. Lyapina, M. A. Khizhnyakova, et al. Moscow: Federal State Unitary Enterprise "Academic Scientific Publishing, Production, Printing and Book Distribution Center "Nauka". 2019. 135 p. ISBN 978-5-02-040249-2.

8. Study of post-vaccination anti-chlamydial immunity during vaccination of cattle with an associated vaccine / V. V. Evstifeev, F. M. Khusainov, G. I. Khusainova, et al. // Veterinary doctor. 2024. No. 4. P. 44-48. doi: 10.33632/1998-698X\_2024\_4\_44

9. Yakovlev S. I. Study of some biological properties of chlamydia isolated during goat abortion // Science and innovation in the agro-industrial complex of the 21st

century: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 145th anniversary of the academy, Kazan, March 15–16, 2018. Kazan: Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman, 2018. P. 211-214.

10. Seroimmunological monitoring of respiratory and gastrointestinal diseases of cattle on various cattle farms of the Middle Volga region for 2019 / V.V. Evstifeev, V.G. Gumerov, F.M. Khusainov, et al. // International Vestnik of Veterinary Medicine. 2021. No. 1. P. 18-23.

11. The course of chlamydia and its prevention on a pig farm / R.Kh. Khamadeev., F. M. Khusainov, A. Z. Ravilov, et al. // Veterinary Science. 2000. No. 12. P. 14.

12. The influence of storage conditions on stability of hantavirus vaccine preparations based on the Puumala virus / A. N. Vetrova, S. S. Kurashova, R. D. Teodorovich, et al. // Infection and immunity. 2023. Vol. 13, No. 2. P. 376-382. doi: 10.15789/2220-7619-OOS-2116

13. Stability of the industry standard sample of tuberculosis vaccine (BCG) / N. V. Aleksandrova, A. A.

Savina, A. V. Nakonechnaya, et al. // BIOpreparations. Prevention, diagnostics, treatment. 2020. Vol. 20. No. 3. P. 187-192. doi: 10.30895/2221-996X-2020-20-3-187-192

14. Ozeretskovsky N. A., Soldatov A. A., Shevtsov V. A. Vaccines with adjuvants. Preclinical studies / Zh. I. Avdeeva, N. A. Alpatova, V. P. Bondarev, et al. // BIOpreparations. Prevention, diagnostics, treatment. 2015. No. 1. P. 15-20.

15. Effect of ISA 61 and ISA 50 adjuvants on the antigenic activity, ability to form colostral immunity, and efficacy of experimental samples of the COMBOVAC-A vaccine / E. V. Shemelkov, G. O. Shemelkova, E. V. Ivanov // Agrarian Science. 2024. No. 6. P. 44-49. doi: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-44-49

16. Analysis of the stability of live plague vaccine production and the main quality indicators of the preparation / A. A. Zuenko, N. V. Abzaeva, S. E. Gostishcheva, et al. // Problems of Particularly Dangerous Infections. 2018. No. 4. P. 54-57.

### Эпизоотологические особенности смешанной инвазии фасциолеза и дикроцелиоза крупного рогатого скота в республике Дагестан

**С. Ш. Кабардиев**✉, доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник лаборатории по изучению инвазионных болезней сельскохозяйственных животных и птиц,

**К. А. Карпущенко**, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории по изучению инвазионных болезней сельскохозяйственных животных и птиц

**Д. М. Оздемирова**, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории по изучению инвазионных болезней сельскохозяйственных животных и птиц

Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан»

367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, улица Дахадаева, дом 88

✉ pznivi05@mail.ru

**Резюме.** Исследования выполняли с целью определения эпизоотологических особенностей и активности паразитарных систем смешанной инвазии фасциолеза и дикроцелиоза крупного рогатого скота. Смешанные формы указанных инвазий широко распространены среди сельскохозяйственных животных на Северном Кавказе и являются одной из наиболее часто диагностируемых паразитарных патологий в этом регионе. Усиление антропогенного и техногенного воздействия на пастбищные угодья в последние годы способствует расширению ареалов совместного обитания промежуточных и definitive хозяев печеночных трематод, формирующих ассоциированные биотопические комплексы. Распространение фасциолеза и дикроцелиоза в смешанной форме изучали путем комплексного подхода, включающего копроовоскопические исследования и гельминтологическое вскрытие. Материалом для паразитологических исследований служили пробы фекалий ( $n=900$ ) и органы (печень) крупного рогатого скота, полученные после убоя животных в 38 приусадебных хозяйствах. Количественная оценка экскреции яиц фасциол и дикроцелий осуществлялась методом флотации с использованием счетной камеры ВИГИС. Зараженность крупного рогатого скота печеночными трематодами в приусадебных крестьянских хозяйствах была значительной. Исследования выявили, что от 17,9% до 39,5% животных были заражены смешанными инвазиями. В среднем, зараженность составляла 28,3%. Инвазированность трематодами в приусадебных хозяйствах Бабаюртовского района по результатам копроовоскопических исследований составила 39,5%, Казбековского – 37,5% и Ботлихского – 25,6% при обнаружении в г фекалий соответственно,  $57,3 \pm 4,6$ ;  $54,7 \pm 4,8$  и  $30,5 \pm 2,4$  экз. яиц *F. hepatica* и  $85,0 \pm 7,1$ ;  $78,2 \pm 6$  и  $47,9 \pm 3,6$  экз. яиц *D. lanceatum*. Результаты вскрытий печени крупного рогатого скота показали высокий уровень зараженности трематодами в крестьянских хозяйствах Бабаюртовского (45,2%), Казбековского (30,0%) и Ботлихского (44,4%) районов. Заражение трематодами *F. hepatica* и *D. lanceatum* не было зафиксировано у телят до трехмесячного возраста, о чем свидетельствует отсутствие яиц этих паразитов в их фекалиях на протяжении всего периода исследований.

**Ключевые слова:** Дагестан, горная зона, равнина, предгорье, пастбища, крупный рогатый скот, молодняк, фасциолез, дикроцелиоз, эпизоотологические особенности, экстенсивность, интенсивность, инвазия, вертикальная поясность.

**Для цитирования:** Кабардиев С.Ш., Карпущенко К.А., Оздемирова Д.М. Эпизоотологические особенности смешанной инвазии фасциолеза и дикроцелиоза крупного рогатого в Республике Дагестан // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 152-158. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-152-158

### Epizootological features of mixed infestations of fascioliasis and dicrocoeliasis in cattle in the Republic of Dagestan

**S. Sh. Kabardiev**✉, K. A. Karpushchenko, D. M. Ozdemirova

Caspian Zonal Veterinary Research Institute – Branch of the Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan

88 Dakhadaev Street, Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000

✉ pznivi05@mail.ru

**Abstract.** The study was conducted to determine the epizootological features and activity of parasitic systems associated with mixed infestations of fascioliasis and dicrocoeliasis in cattle. Mixed forms of these infestations are widespread among farm animals in the North Caucasus and are one of the most frequently diagnosed parasitic pathologies in this region. The increasing anthropogenic and technogenic impact on pastures in recent years has contributed to the expansion of the habitats of intermediate and definitive hosts of liver flukes, which form associated biotopic complexes. The prevalence of mixed fascioliasis and dicrocoeliosis was studied using an integrated approach, including coproovoscopic examinations and helminthological dissection. Fecal samples ( $n=900$ ) and organs (liver) of cattle obtained after slaughter on 38 private farms

served as the material for parasitological studies. Quantitative assessment of *Fasciola* and *Dicrocoeliasis* egg excretion was performed by flotation using a VIGIS counting chamber. Infestation of cattle with liver flukes on private farms was significant. The studies revealed that from 17.9% to 39.5% of animals were infected with mixed infestations. On average, the infestation rate was 28.3%. According to the results of coproscopic studies, the trematode infestation in the household plots of Babayurt district was 39.5%, Kazbekovsky – 37.5% and Botlikhsky – 25.6% with the detection in g of feces of  $57.3 \pm 4.6$ ;  $54.7 \pm 4.8$  and  $30.5 \pm 2.4$  specimens of *F. hepatica* eggs and  $85.0 \pm 7.1$ ;  $78.2 \pm 6$  and  $47.9 \pm 3.6$  specimens of *D. lanceatum* eggs, respectively. Liver autopsy results from cattle revealed high levels of trematode infestation in farms in the Babayurt (45.2%), Kazbekovsky (30.0%), and Botlikh (44.4%) districts. Infection with *F. hepatica* and *D. lanceatum* trematodes was not recorded in calves under three months of age, as evidenced by the absence of eggs of these parasites in their feces throughout the study period.

**Keywords:** Dagestan, mountain zone, plain, foothills, pastures, cattle, young animals, fascioliasis, dicrocoeliosis, epizootological features, extensiveness, intensity, invasion, vertical zonality.

Kabardiev S. Sh., Karpushchenko K. A., Ozdemirova D. M. Epizootological Features of Mixed Infestations of Fascioliasis and Dicrocoeliasis in Bovines in the Republic of Dagestan // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 152-158. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-152-158

**Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук**

### Введение

Паразитарные инвазии являются одной из важных проблем сохранения здоровья и повышения продуктивности сельскохозяйственных животных. По данным всемирных организаций (ВОЗ и Всемирной организация здравоохранения животных) гельминтозы, в том числе фасциолез и дикроцелиоз наносят огромный экономический ущерб животноводству и постоянно угрожают здоровью людей во всем мире [1, 2].

Трематодозы, фасциолез и дикроцелиоз широко распространены на территории Российской Федерации, особенно в тех регионах, где климатические условия позволяют возбудителю воспользоваться присутствием моллюсков, которые необходимы им для дальнейшего существования [3, 4, 5].

По мнению ряда исследователей, в южных и центральных регионах России, а также в некоторых зарубежных странах благоприятные климатические условия способствуют активному распространению гельминтозов [6, 7]. Яйца и личинки паразитических червей загрязняют окружающую среду, создавая постоянную угрозу заражения для животных и людей [8, 9, 10]. Наиболее распространенным и опасным паразитом из класса трематод на территории России является *Fasciola hepatica*, поражающая как животных, так и человека [11, 12].

На территории республик Северного Кавказа наблюдается ухудшение состояния пастбищ из-за усиливающегося антропогенного действия, а также разрушения мелиоративной инфраструктуры. Это приводит к увеличению количества мест обитания, где совместно проживают улитки и муравьи – промежуточные и дополнительные хозяева печеночных трематод [13].

Заражение скота одновременно фасциолами и дикроцелиями негативно сказывается на их здоровье и продуктивности: животные хуже набирают вес, коровы дают меньше молока, а овцы – шерсти. Паразитарные заболевания печени, особенно в тяжелой форме, наносят существенный ущерб

продуктивности сельскохозяйственных животных. Исследования показывают, что у коров при этом снижается молочная продуктивность (на 13-18%), у телят – привесы (на 17-25%), а у овец – шерстная продуктивность (на 15-20%) [14,15].

По данным исследований существует значительная вероятность распространения фасциолеза как среди домашних жвачных животных, так и среди диких, особенно на орошаемых территориях Северо-Западного и Северо-Кавказского федеральных округов. Это связано с обильными снегопадами зимой и наличием влаги, которые способствуют распространению не только фасциолеза, но и парамфистоматоза, а также других трематодозов.

До конца июля заражение моллюсков церкариями парамфистомид связано с прошлогодним заражением, с конца июля ожидается появление новых редий в результате летнего заражения моллюсков [16,17,18,19].

На Северном Кавказе трематодозные инвазии распространены как в виде отдельных заражений, так и в сочетании нескольких видов паразитов. Например, в Чеченской Республике у 29,3% крупного рогатого скота обнаружено одновременное заражение несколькими видами трематод, при этом интенсивность заражения варьируется от 12 до 124 особей на животное. Чаще всего у коров выявляют заражение только фасциолами (12%) или смешанные формы фасциол и дикроцелий (16%). В Северной Осетии-Алании у 30,6% крупного и мелкого рогатого скота выявлено заражение одновременно фасциолезом и дикроцелиозом. В Кабардино-Балкарии этот показатель ниже и составляет 23,2% [20, 21].

Цель исследования – определение эпизоотологических особенностей и активности паразитарных систем смешанной инвазии фасциолеза и дикроцелиоза крупного рогатого скота.

### Материалы и методы

Исследования проведены на территории Бабаюртовского (равнинного), Казбековского (предгорного) и Ботлихского (горного) районов Республики

Дагестан на крупном рогатом скоте, выпасаемом на неблагополучных по трематодозам пастбищах.

В 38 приусадебных фермерских хозяйствах изучили зараженность животных фасциолезом и дикроцелиозом, используя два метода: копроовоскопию (анализ фекалий) и гельминтологическое вскрытие печени.

Материалом для исследования служили фекалии 900 голов скота, собранные на пастбищах указанных выше регионов республики.

Печень павших и забитых животных подвергали полному гельминтологическому вскрытию по методу К.С. Скрябина (1928) с целью обнаружения фасциол и дикроцелий. Вскрытию подвергли печень 90 животных, содержащихся в равнинной, предгорной и горной местностях.

Исследования проводили в соответствии с ГОСТ Р 54627-2011 Животные сельскохозяйственные жвачные. Методы лабораторной диагностики гельминтозов.

При этом использовали сертифицированные в ветеринарной паразитологии методы прижизненной диагностики.

Седиментационные методы диагностики трематодозов:

-метод последовательного промывания для диагностики фасциолеза и дикроцелиоза.

Методы определения количества яиц трематод в фекалиях:

-определение количества яиц трематод с помощью счетной камеры Горяева;

-определение количества яиц трематод с помощью счетной камеры ВИГИСа.

Результаты проведенных исследований подвергнуты статистической обработке с помощью компьютерной программы «Биометрия».

#### Результаты

В республике выявлена зависимость между высотой над уровнем моря и распространенностью одновременного заражения крупного рогатого скота двумя видами паразитов: фасциолезом и дикроцелиозом. Чтобы оценить, насколько заражен взрослый скот в равнинных, предгорных и горных селах, были проведены анализы кала на наличие яиц печеночного сосальщика (*Fasciola hepatica*) и ланцетовидного сосальщика (*Dicrocoelium lanceatum*).

Результаты копроовоскопии выявили повсеместную регистрацию смешанной инвазии фасциолеза и дикроцелиоза в исследуемых районах республики с вариabельной интенсивностью эпизоотического процесса. Зараженность животных паразитами варьировалась от 17,9% до 39,5%, в среднем составляя 28,3%.

Анализ фекалий показал высокую концентрацию яиц печеночного сосальщика (*F. hepatica*): 57,3±4,6 экз./г в Бабаюртовском, 54,7±4,8 экз./г в Казбековском и 30,5±2,4 экз./г в Ботлихском районах. Содержание яиц ланцетовидного сосальщика (*D.*

*lanceatum*) также было высоким: 85,0±7,1 экз./г, 78,2±6 экз./г и 47,9±3,6 экз./г соответственно.

Интенсивность инвазии фасциолами в обследованных регионах варьировала в пределах 25,6...39,5 экземпляров на голову скота, в то время как для дикроцелий этот показатель составлял 103,0...365,0 экземпляров на голову.

При смешанной инвазии у крупного рогатого скота наблюдалась более низкая интенсивность *Fasciola hepatica* по сравнению с *Dicrocoelium lanceatum*. Предполагается, что это явление обусловлено межвидовым антагонизмом между данными трематодами (табл. 2).

**Таблица 1. Инвазированность крупного рогатого скота микст инвазией фасциолеза и дикроцелиоза в регионе**

№ п/п	Район	Показатели				
		Исследовано (гол.)	Инвазировано, (гол.)	ЭИ, %	Среднее количество яиц <i>F. hepatica</i> в 1 г фекалий, экз.	Среднее количество яиц <i>D. lanceatum</i> в 1 г фекалий, экз.
1.	Бабаюртовский (равнина)	300	118	39,5	57,3±4,6	85,0±7,1
2.	Казбековский (предгорье)	300	112	37,5	54,7±4,8	78,2±6,7
3.	Ботлихский (горы)	300	77	25,6	30,5±2,4	47,9±3,6

**Таблица 2. Зараженность крупного рогатого скота микст инвазией фасциолеза и дикроцелиоза в регионе (по вскрытию печени)**

№ п/п	Район	Показатели				
		Исследовано (гол.)	Инвазировано, (гол.)	ЭИ, %	Среднее количество яиц <i>F.</i>	Среднее количество яиц <i>D. lanceatum</i>
1.	Бабаюртовский (равнина)	90	40	45,2	38,6±4,6	365,0±22,3
2.	Казбековский (предгорье)	90	27	30,0	26,4±4,2	254,6±17,22
3.	Ботлихский (горы)	90	39	44,4	37,2±4,5	358,4±21,5

На высоте до 200 м над уровнем моря на равнине зараженность крупного рогатого скота микст инвазией составила 39,5% при количестве яиц *F. hepatica* 57,3±4,6 экз. и яиц *D. lanceatum* 85,0±7,1 экз.

в 1 г фекалий. В предгорье на высоте до 800 м показатели инвазированности животных смешанной инвазией трематодозами выглядели соответственно – 37,5%; 54,7±4,8; 78,2±6,7.

**Таблица 3. Инвазированность крупного рогатого скота микст инвазией фасциолеза и дикроцелиоза по зонам вертикальной поясности**

Вертикальный пояс	Высота, м. н. у. моря	Исследовано голов	Инвазировано, голов	ЭИ, %	Среднее количество яиц фасциол в 1 г фекалий, экз.	Среднее количество яиц дикроцелий в 1 г фекалий, экз.
Равнинный	50-200	300	118	39,5	57,3±4,6	85,0±7,1
Предгорный	600-800	300	112	37,5	54,7±4,8	78,2±6,7
Горный	2800	300	77	25,6	30,5±2,4	47,9±3,6
Всего:	-	900	307	34,1	-	-
В среднем:	-	-	-	34,2	47,5±3,9	70,3±15,8

Исследование, проведенное в высокогорных районах (до 2800 м над уровнем моря), показало высокую степень зараженности крупного рогатого скота смешанной инвазией, вызванной *Fasciola hepatica* и *Dicrocoelium lanceatum*. Экстенсивность инвазии составила 39,5% на равнинных территориях, 37,5% – в предгорных районах и 25,6% – в горных местностях. Средние показатели количества яиц *F. hepatica* и *D. lanceatum* на грамм фекалий составили: для равнины – 57,3 ± 4,6 и 85,0 ± 7,1, предгорья – 54,7 ± 4,8 и 78,2 ± 6,7, и горных районов – 30,0±2,4 и 47,9±3,6 соответственно.

Средний показатель экстенсивности смешанной трематодозной инвазии у крупного рогатого скота, рассчитанный по вертикальным поясам, был равен 29,2%. Среднее количество яиц *Fasciola hepatica* на грамм фекалий (ЯГФ) составило 47,5±3,9, а *Dicrocoelium lanceatum* – 70,3±15,8 яиц в 1 г фекалий.

**Инвазированность трематодами у крупного рогатого скота по сезонам года с учетом зон вертикальной поясности региона**

На протяжении всего года у крупного рогатого скота, содержащегося на пастбищах, отмечается сочетанная трематодозная инвазия, обусловленная возбудителями фасциолеза и дикроцелиоза. Экстенсивность и интенсивность инвазии демонстрируют выраженные сезонные колебания.

Исследование сезонной динамики ЭИ и ИИ трематод *F. hepatica* и *D. lanceatum* у крупного рогатого скота в течение года выявило колебания экстенсивности инвазии в пределах 16,0...33,3% (среднее значение 24,5%). Интенсивность инвазии, оцениваемая по количеству яиц в 1 г фекалий, составляла для *F. hepatica* 10,6±1,6...50,5±4,9 экз. (в среднем 31,3±3,4 экз.), а для *D. lanceatum* – 18,6±2,0...94,1±4,3 экз. (в среднем 56,0±3,4 экз.).

Наивысший уровень зараженности крупного рогатого скота смешанными трематодозами зафиксирован осенью (33,3%). Предположительно, это объясняется постепенным увеличением числа зараженных животных в течение весенних и летних месяцев.

**Таблица 4. Анализ зараженности взрослого крупного рогатого скота трематодами *F. hepatica* и *D. lanceatum*, по сезонам года**

Месяц	Исследовано голов	Инвазировано, голов	ЭИ, %	Среднее количество яиц <i>F. hepatica</i> в 1 г фекалий	Среднее количество яиц <i>D. lanceatum</i> в 1 г фекалий
Зима	90	19	21,9	13,0±2,2	21,9±2,3
Весна	90	14	16,0	30,7±3,6	46,8±3,7
Лето	90	24	27,0	38,7±4,1	71,5±4,2
Осень	90	20	33,3	53,8±5,2	97,4±4,7
В среднем:	-	-	24,5	34,05±3,7	60,5±3,2

**Таблица 5. Анализ зараженности крупного рогатого скота трематодами *F. hepatica* и *D. lanceatum* в зависимости от возраста с учетом высоты над уровнем моря**

Крупный рогатый скот	Исследовано, голов	Инвазировано, голов	ЭИ, %	Среднее количество яиц <i>F. hepatica</i> в 1 г фекалий	Среднее количество яиц <i>D. lanceatum</i> в 1 г фекалий
1	2	3	4	5	6
Высота до 200 м над уровнем моря					
Телята до 3 мес.	30	-	-	-	-
Молодняк до года.	30	2	6,7	10,3±1,1	27,2±2,0
Молодняк от года до 2 лет	30	8	26,8	24,0±2,6	45,9±3,5
Взрослое поголовье	30	11	36,7	31,8±3,3	70,3±6,2
Среднее значение	-	-	17,5	16,5±1,8	35,9±3,0
Высота до 800 м над уровнем моря					
Телята до 3 мес.	30	-	-	-	-
Молодняк до года.	30	2	6,7	6,2±0,8	18,4±1,6
Молодняк от года до 2 лет.	30	7	23,3	15,4±2,1	32,8±2,9
Взрослое поголовье	30	10	33,3	24,6±2,7	51,0±4,5
Среднее значение	-	-	15,8	11,6±1,4	25,6±2,3
Высота до 2800 м над уровнем моря					
Телята до 3 мес.	30	-	-	-	-
Молодняк до года.	30	1	3,3	4,0±0,5	10,7±1,2
Молодняк от года до 2 лет.	30	2	6,6	9,2±1,0	21,5±2,0
Взрослое поголовье	30	5	16,7	15,4±1,8	33,2±3,1
Среднее значение:	-	-	6,7	7,2±0,8	16,4±1,6

Анализ инвазированности крупного рогатого скота трематодозами в зависимости от возраста с учетом вертикальной поясности

Анализируя зараженность крупного рогатого скота трематодами *F. hepatica* и *D. lanceatum* в зависимости от возраста, с учетом различных высотных зон региона (до 200, до 800 и до 2800 м над уровнем моря) сделали вывод, что максимальная зараженность обоими видами паразитов наблюдается у взрослых особей. У телят в возрасте до 3 мес. яйца трематод в фекалиях не обнаружены. Детальная информация представлена в таблице 5.

##### Обсуждение

На высоте до 200 метров над уровнем моря зараженность молодняка крупного рогатого скота в возрасте до года смешанной инвазией (фасциолезом и дикроцелиозом) составляла 6,7%. При этом в одном грамме фекалий обнаруживалось в среднем 10,3 яйца *Fasciola hepatica* и 27,2 яйца *Dicrocoelium lanceatum*. У молодняка в возрасте от года до двух лет экстенсивность инвазии (ЭИ) возрастала до 26,8%, а количество яиц паразитов в фекалиях увеличивалось до 24,0 и 45,9 экземпляров на грамм для *F. hepatica* и *D. lanceatum* соответственно. Наиболее высокая зараженность наблюдалась у взрослого поголовья: ЭИ составляла 36,7%, а содержание яиц *F. hepatica* и *D. lanceatum* в фекалиях достигало 31,8 и 70,3 экземпляров на грамм соответственно.

На высоте до 800 метров над уровнем моря зараженность молодняка до года оставалась на уровне 6,7%, однако плодовитость паразитов снижалась: в одном грамме фекалий обнаруживалось в среднем 6,2 яйца *F. hepatica* и 18,4 яйца *D. lanceatum*. У молодняка от года до двух лет ЭИ составляла 23,3% количество яиц фасциол и дикроцелий в фекалиях – 15,4 и 32,8 экземпляров на грамм соответственно. У взрослого поголовья ЭИ достигала 33,3%.

Копроологические исследования выявили наличие яиц фасциол и дикроцелий в фекалиях с концентрацией 24,6 и 33,2 экз./г соответственно. Эпизоотологический мониторинг на высотах до 800 м над уровнем моря показал, что экстенсивность смешанной трематодозной инвазии (фасциолез и дикроцелиоз) у крупного рогатого скота составила 15,8%. Средняя интенсивность инвазии, определенная методом копроовоскопии, составила  $11,6 \pm 1,4$  экз. яиц фасциол и  $25,6 \pm 2,3$  экз. яиц дикроцелий на 1 г фекалий.

На высоте до 2800 м молодняк крупного рогатого скота менее подвержен заражению печеночными трематодами (*F. hepatica* и *D. lanceatum*), чем взрослые особи. Если экстенсивность инвазии у телят до года составляет 3,3%, то у взрослых животных этот показатель значительно выше. Информация об интенсивности инвазии у молодняка (количество яиц в 1 г фекалий) составляет  $4,0 \pm 0,5$  экз. для *F. hepatica* и  $10,7 \pm 1,2$  экз. для *D. lanceatum*. У молодняка от года до 2 лет ЭИ увеличивается до 6,6%, с интенсивностью инвазии  $9,2 \pm 1,0$  экз. (*F. hepatica*) показали, что

средняя экстенсивность инвазии (ЭИ) *Dicrocoelium lanceatum* у взрослого поголовья составляет  $21,5 \pm 2,0$  экземпляров на грамм фекалий. ЭИ *Fasciola hepatica* у крупного рогатого скота достигает 16,7%, при этом интенсивность инвазии (ИИ) составляет  $15,4 \pm 1,8$  экземпляров *F. hepatica* и  $33,2 \pm 3,1$  экземпляров *D. lanceatum* на 1 грамм фекалий. Средняя экстенсивность смешанной трематодозной инвазии в популяции крупного рогатого скота всех возрастов составила на данной высоте 6,7%, с интенсивностью инвазии  $7,2 \pm 0,8$  экз. (*F. hepatica*) и  $16,4 \pm 1,6$  экз. (*D. lanceatum*) на грамм фекалий.

Уровень зараженности крупного рогатого скота трематодами *F. hepatica* и *D. lanceatum* зависит от высоты пастбищ, плотности популяций промежуточных и дополнительных хозяев, количества биотопов, благоприятных для развития паразитов, и продолжительности контакта животных с зараженными пастбищами.

##### Заключение

На Северном Кавказе, в частности в Республике Дагестан, широкое распространение среди сельскохозяйственных животных получили смешанные паразитарные заболевания – фасциолез и дикроцелиоз. Это связано с ухудшением состояния пастбищных угодий из-за антропогенного фактора, а также износом систем водоснабжения на пастбищах. Жизненный цикл печеночных трематод включает смену промежуточных и дополнительных хозяев. В регионе наблюдается высокая степень зараженности крупного рогатого скота этими паразитами, что усугубляется нерегулярным проведением дегельминтизации.

##### Литература

1. Аттоева З. Х., Мантаева С. Ш., Шихалиева М. А. Территориальная активность эпизоотического процесса дикроцелиоза крупного рогатого скота в Регионе Северного Кавказа // Актуальные вопросы Ветеринарной биологии. 2011. №2(10). С. 94-97.
2. Акбаев М. Ш., Шемякова С. А. Эффективность альбена-супер и фаскоцида-гранулята против фасциол и стронгилят желудочно-кишечного тракта овец и коров // Ветеринария. 2008. № 5. С. 25-27.
3. Атаев А. М. Эпизоотология фасциолеза животных в Дагестане / Сборник трудов «Гельминтозоознозы». М. 2017. С. 15-18.
4. Биттиров А. М. Формирование биотопов *Fasciola hepatica* на выпасах и скотопрогонных трассах КБР // Сборник работ КБГСХА. Нальчик. 2004. С. 27-30.
5. Распространение фасциолёза крупного рогатого скота в России по статистическим данным в период 2012-2016 годов / В. В. Горохов, И. Ф. Кленова, Е. В. Пузанова // Теория и практика паразитарных болезней животных. Москва. 2018. № 19. С. 142-145.
6. Мкртчян М. Э. Влияние трематод и их ассоциаций на обмен веществ зараженных животных // Вестник Ижевской ГСХА. Ижевск. 2014. № 2(39). С. 23-25.



7. Etat actuel de la fasciolose en Tunisie / A. Ayadi, F. Mani, B.M. Said // Bull. Soc. fr. parasitol. 2017. Vol. 15. No. 1. P. 27-32.
  8. Ibarra, F. Comparison of three ELISA tests for seroepidemiology of bovine fascioliosis / F. Ibarra, N. Montenegro, Y. Vera, et al. // Veter. Parasitol. 2018. Vol. 77. No. 4. P. 229-236.
  9. Impact of climate change and man-made irrigation systems on the transmission risk, long-term trend and seasonality of human and animal fascioliasis in Pakistan / K. Afshan, C. A. Fortes-Lima, P. Artigas, et al. // Geospat Health. 2014. P. 317-334.
  10. Фазлаева С. Е. Нарушение обмена микроэлементов в организме жвачных животных при гельминтозах // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями: Материалы докладов научной конференции ВИГИС. М. 2008. С. 489-490.
  11. Батомункуев А. С., Мельцов И. В. Нозологический профиль инвазионных болезней крупного рогатого скота в Иркутской области // Вестник ИРГСХА. 2019. № 93. С. 131-138.
  12. Успенский А. В., Никитин В.Ф., Лемехов П. А. Технология скотоводства и концепция борьбы с «пастбищными» гельминтозами // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями: Материалы докладов научной конференции. Москва. 2010. С. 3-6.
  13. Биттиров А. М. Фасциолез крупного рогатого скота // Вестник ветеринарии. Ставрополь. 2015. № 3. С.28-32.
  14. Кумышева Ю. А., Мазихова А. М. Морфологическая характеристика говядины при дикроцелиозе крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. 2009. №5(32). С.122-125.
  15. Датченко О. О., Титов Н. С., Ермаков В. В. Влияние фасциолеза на ветеринарно-санитарные качества продуктов убоя крупного рогатого скота // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2. С. 32-35.
  16. Шикалов Н. А., Жашуева Э. В., Маржахова Л. Х. Зональная характеристика некоторых трематозов кур при разных технологиях содержания в условиях Кабардино-Балкарской Республики // Известия высших учебных заведений. Северо - Кавказский регион. Естественные науки. 2009. №. 2 (150). С. 98-100.
  17. Арисов М. В. Зараженность крупного рогатого скота фасциолами и парамфистомами на территории Нижегородской области, экономический ущерб и меры борьбы // Ветеринарная патология. 2007. №2. С. 168-175.
  18. Горохов В. В. Пузанова Е. В. Клёнова И. Ф. Динамика эпизоотической ситуации по фасциолезу мелкого рогатого скота в Российской Федерации за период последних 6 лет // Журнал. Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я.П. Коваленко. Т. 80: №1. 2018 С. 158-165.
  19. Хуклаева М. Г. Эпизоотология фасциолеза жвачных животных в Чеченской Республике // Российский паразитологический журнал. 2009. № 4. С. 63-66.
  20. Черкесов С. Б., Ошхунов А. К. Сезонная и возрастная динамика дикроцелиоза и фасциолеза яков в Кабардино-Балкарской Республике // Материалы научной конференции Всероссийского общества гельминтологов РАН «Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями». Москва. 2009. Вып. 10. С. 416-418.
  21. Влияние трематодозных инвазий на морфологический состав крови крупного рогатого скота / А. М. Мазихова, С. А. Беккиева, А. О. Юсупов и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. N4 (31). Красноярск. 2009. С. 163-164.
- References**
1. Attoeva Z. Kh., Mantaeva S. Sh., Shikhalieva M. A. Territorial activity of the epizootic process of dicroceliosis in cattle in the North Caucasus Region // Current issues in Veterinary biology. 2011. No. 2 (10). P. 94-97.
  2. Akbaev M. Sh., Shemyakova S. A. Efficiency of Alben-super and Fascicide-granulate against Fasciola and Strongyla spp. of the gastrointestinal tract of sheep and cows // Veterinary science. 2008. No. 5. P. 25-27.
  3. Ataev A. M. Epizootology of animal fascioliasis in Dagestan / Collection of papers "Helminthozoonoses". M. 2017. P. 15-18.
  4. Bittirov A. M. Formation of Fasciola hepatica biotopes on pastures and cattle driving routes of the Kabardino-Balkarian Republic // Collection of works of the Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy. Nalchik. 2004. P. 27-30.
  5. Spread of bovine fasciolosis in Russia according to statistical data for the period 2012-2016 / V. V. Gorokhov, I. F. Klenova, E. V. Puzyanova // Theory and practice of parasitic diseases of animals. Moscow. 2018. No. 19. P. 142-145.
  6. Mkrtchyan M. E. Influence of trematodes and their associations on the metabolism of infected animals // Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. Izhevsk. 2014. No. 2 (39). P. 23-25.
  7. Etat actuel de la fasciolose en Tunisie / A. Ayadi, F. Mani, B.M. Said // Bull. Soc. fr. parasitol 2017. Vol. 15.No. 1. P. 27-32.
  8. Ibarra, F. Comparison of three ELISA tests for seroepidemiology of bovine fascioliosis / F. Ibarra, N. Montenegro, Y. Vera, et al. //Veter. Parasitol. 2018. Vol. 77.No. 4. P. 229-236.
  9. Impact of climate change and man-made irrigation systems on the transmission risk, long-term trend and seasonality of human and animal fascioliasis in Pakistan / K. Afshan, C. A. Fortes-Lima, P. Artigas, et al. // Geospat Health. 2014. R. 317-334.
  10. Fazlaeva S. E. Disturbance of microelement metabolism in the body of ruminants with helminthiasis // Theory and practice of combating parasitic diseases: Proceedings of the reports of the scientific conference VIGIS. Moscow, 2008. P. 489-490.
  11. Batomunkuev A. S., Meltsov I. V. Nosological profile of invasive diseases of cattle in the Irkutsk region

// Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy. 2019. No. 93. P. 131-138.

12. Uspensky A. V., Nikitin V. F., Lemekhov P. A. Cattle breeding technology and the concept of combating "pasture" helminthiasis // Theory and practice of combating parasitic diseases: Proceedings of reports of a scientific conference. Moscow. 2010. P. 3-6.

13. Bittirov A. M. Fascioliasis of cattle // Veterinary Bulletin. Stavropol. 2015. No. 3. P. 28-32.

14. Kumysheva Yu. A., Mazikhova A. M. Morphological characteristics of beef in bovine dicrocoeliosis // Bulletin of KrasSAU. 2009. No. 5 (32). P. 122-125. 15. Datchenko O. O., Titov N. S., Ermakov V. V. The influence of fascioliasis on the veterinary and sanitary qualities of cattle slaughter products // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2018. No. 2. P. 32-35.

16. Shikalov N. A., Zhashueva E. V., Marzhakhova L. Kh. Zonal characteristics of some trematodes of chickens under different housing technologies in the Kabardino-Balkarian Republic // Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences. 2009. No. 2 (150). P. 98-100.

17. Arisov M. V. Infestation of cattle with fasciola and paramphistoma in the Nizhny Novgorod region,

economic damage and control measures // Veterinary pathology. 2007. No. 2. P. 168-175.

18. Gorokhov V. V., Puzyanova E. V., Klenova I. F. Dynamics of the epizootic situation for fascioliasis of small cattle in the Russian Federation over the past 6 years // Journal. Proceedings of the All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after Ya. R. Kovalenko. Vol. 80. No. 1. 2018 P. 158-165.

19. Khuklaeva M. G. Epizootology of fascioliasis of ruminants in the Chechen Republic // Russian Parasitological Journal. 2009. No. 4. P. 63-66.

20. Cherkesov S. B., Oshkhunov A. K. Seasonal and age dynamics of dicrocoeliosis and fascioliasis of yaks in the Kabardino-Balkarian Republic // Proceedings of the scientific conference of the All-Russian Society of Helminthologists of the Russian Academy of Sciences "Theory and Practice of Combating Parasitic Diseases". Moscow. 2009. Issue 10. P. 416-418.

21. The influence of trematode invasions on the morphological composition of cattle blood / A. M. Mazikhova, S. A. Bekkieva, A. O. Yusupov, et al. // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. N4 (31). Krasnoyarsk. 2009. P. 163-164.

## Оценка переносимости сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза у телят черно-пестрой породы

**З. Х. Межиева**<sup>1✉</sup>, кандидат ветеринарных наук, главный специалист отдела бактериологии  
**А. В. Моторыгин**<sup>1</sup>, кандидат ветеринарных наук, заведующий научно-технологической лабораторией  
**А. Н. Панин**<sup>1</sup>, доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Советник директора  
**А. Г. Шестаков**<sup>2</sup>, кандидат биологических наук, доцент

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов»

123022, Москва, Звенигородское шоссе, 5

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉zarina@vgnki.ru

**Резюме.** В работе представлены данные по изучению переносимости новой формы сухой антиадгезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза у телят черно-пестрой породы при пероральном ее введении. Исследования выполнены на 30 телятах черно-пестрой породы двухдневного возраста, которых разделили на 3 группы: две опытные и контрольная. Телятам I опытной группы однократно перорально применяли сухую антитоксическую сыворотку против эшерихиоза в дозе 15 г на голову в сутки (профилактическая доза), телятам II опытной группы однократно перорально применяли сухую антитоксическую сыворотку против эшерихиоза в трехкратно профилактической увеличенной дозе, 45 г на голову в сутки, телятам контрольной группы вводили сыворотку антиадгезивную, антитоксическую против эшерихиоза, в дозе 15 мл, внутримышечно, однократно. Кровь для исследования отбирали до утреннего кормления из яремной вены у телят до введения испытуемых биопрепаратов и на 7-е сутки после применения сывороток против эшерихиоза. За всеми подопытными животными вели клинические наблюдения в течение 10 дней, отмечали изменения общего состояния животных. Среди определяемых морфологических параметров общего анализа крови были гемоглобин, гематокрит, абсолютное количество эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, эритроцитарные индексы. При биохимическом исследовании крови определяли содержание глюкозы, общего белка, альбуминов, общего билирубина, креатинина, кальция и фосфора, активность аланинаминотрансферазы и щелочной фосфатазы. Исследование морфологических и биохимических показателей сыворотки крови телят в опытной и контрольной группах показали соответствие физиологической норме на всем протяжении исследования, а отсутствие нарушений в функциональном состоянии почек и печени у опытных телят позволили судить о безопасности нового препарата.

**Ключевые слова:** антитоксическая сыворотка, эшерихиоз, биохимия крови, телята, переносимость.

**Для цитирования:** Оптимизация перорального введения новой формы сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных / З. Х. Межиева, А. В. Моторыгин, А. Н. Панин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 159-165. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-159-165

## Evaluation of the tolerability of a dry antitoxic serum against *E. coli* in black-and-white calves

**Z. Kh. Mezhieva**<sup>1✉</sup>, **A. V. Motorygin**<sup>1</sup>, **A. N. Panin**<sup>1</sup>, **A. G. Shestakov**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution «All-Russian State Center for Quality and Standardization of Veterinary Medicines and Feed»

123022, Moscow, Zvenigorodskoye Shosse, 5

<sup>2</sup>FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, Building 1

✉zarina@vgnki.ru

**Abstract.** This paper presents data on the tolerability of a new form of dry antiadhesive antitoxic serum against *E. coli* in Black-and-White calves after oral administration. The study was conducted on 30 two-day-old Black-and-White calves divided into three groups: two experimental and one control. Calves in the first experimental group were given a single oral dose of dry antitoxic serum against *E. coli* at a prophylactic dose of 15 g per head per day. Calves in the second experimental group were given a single oral dose of dry antitoxic serum against *E. coli* at a three-fold increased prophylactic dose of 45 g per head per day. Calves in the control group were given a single intramuscular injection of anti-adhesive antitoxic serum against *E. coli* at a dose of 15 ml. Blood samples for the study were collected from the jugular vein of calves before morning feeding, before administration of the test biopreparations, and on the seventh day after administration of the anti-*E. coli* serum. All test animals were clinically observed for 10 days, and changes in their general condition were recorded. Morphological parameters measured in the complete blood count included hemoglobin, hematocrit, absolute red blood cell (RBC), white blood cell (WBC), and platelet counts, as well as RBC indices. Blood biochemistry included glucose, total

protein, albumin, total bilirubin, creatinine, calcium, and phosphorus levels, as well as alanine aminotransferase and alkaline phosphatase activity. Morphological and biochemical parameters of the blood serum of calves in the experimental and control groups demonstrated compliance with physiological norms throughout the study, and the absence of renal and hepatic dysfunction in the experimental calves allowed for assessment of the safety of the new drug.

**Keywords:** antitoxic serum, escherichiosis, blood biochemistry, calves, tolerance.

**For citation:** Evaluation of the tolerability of a dry antitoxic serum against *E. coli* in black-and-white calves / Z. Kh. Mezhieva, A. V. Motorygin, A. N. Panin, et al. // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 159-165 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-159-165

**Исследования проводили в рамках гранта Российского научного фонда № 24-26-00202 «Обеспечение устойчивости специфического нейтрализующего комплекса, иммобилизованного на природном адсорбенте, для лечения и профилактики эшерихиозов сельскохозяйственных животных» в рамках федерального проекта РНФ «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами».**

#### Введение

Профилактика инфекционных заболеваний посредством вакцинации – ключевой фактор, способствующий сохранению молодняка сельскохозяйственных животных в животноводческих комплексах. Риск возникновения заболеваний инфекционной этиологии возрастает при отсутствии плана противоэпизоотических мероприятий и контроля его выполнения [1].

На сегодняшний день рынок не испытывает дефицита в лекарственных препаратах для иммунопрофилактики большинства инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных, в том числе молодняка. Контроль качества лекарственных препаратов для ветеринарного применения осуществляется на всех уровнях производства, а также надзорными органами для подтверждения пригодности проводится комплексная оценка соответствия требованиям нормативных документов. Такой многоуровневый подход к контролю качества практически не допускает на рынок некачественный продукт. Но, тем не менее, ветеринарный врач принимает решение о выборе того или иного препарата, исходя из своих предпочтений, основанных на опыте или других факторах.

Профилактическая вакцинация молодняка крупного рогатого скота в сухостойный период способствует выработке антител к инфекционным заболеваниям [2]. Помимо специфических средств профилактики и лечения рекомендуется ежеквартальная подтитровка на действующие антибиотики и дальнейшая ротация их применения [3].

Наиболее часто встречающиеся заболевания у молодняка сельскохозяйственных животных – желудочно-кишечные болезни, лидирующее место среди которых занимают эшерихиозы. Не обладающие адгезинами эшерихии серогрупп 078, K80, 09, K30, K101, K25 вызывают септическую форму эшерихиоза у телят. Вирулентность этих штаммов связана с наличием капсульных антигенов, которые обеспечивают эшерихиям защиту от фагоцитоза и бактерицидного действия сыворотки [4].

Размножение и жизнедеятельность бактерий в кишечнике приводит к выделению экзотоксинов, а распад микроорганизма способствует выделению

токсических продуктов эндотоксинов, которые вызывают воспаление желудочно-кишечного тракта. Токсическое воздействие экзо- и эндотоксинов приводит к сужению и стазу капиллярной сети, уменьшению объема циркулирующей крови и ее свертыванию в сосудах, гипоксии, ацидозу [5].

У энтеропатогенных *E. coli* различают 5 разновидностей клеточно-связанного протеинового токсина. Две его разновидности термолabile обратимы, их называют цитотоксинами, три остальные – термолabile необратимы, их называют шигелоподобными токсинами [6].

Установлено, например, что в период агонального состояния в 1 мм<sup>3</sup> крови теленка содержится 8...9 млн. микробных клеток. В крови и внутренних органах эшерихии частично разрушаются, и высвободившийся эндотоксин приводит животное к шоку (слабость, сосудистый коллапс) [7]. Больные энтеротоксическим эшерихиозом телята выделяют фекалии, в 20 раз превышающие норму. С фекалиями больные телята выделяют в сутки до 3,7 л воды, здоровые – только 20...180 мл. У здоровых животных масса тела увеличивается на 0,9% в сутки, у больных – уменьшается на 7...9%. Нарушение процессов всасывания в кишечнике ведет к гипопроотеинемии и гипогаммаглобулинемии [8].

Метаболический ацидоз создается в результате снижения функции почек, повышения содержания в организме молочной кислоты и больших потерь с фекалиями HCO<sub>3</sub> и натрия. Основной причиной притока этих ионов из тканей организма в просвет кишечника является бактериальная эндотоксикация [9]. В основе патофизиологических механизмов клинических проявлений тяжелых форм колиэнтерита лежит явление гиповолемического циркуляторного шока, который развивается в результате острой потери организмом изотонической жидкости [10].

Крайняя степень обезвоживания проявляется в виде уменьшения количества актов дефекации и объема выделяемых испражнений. В результате задержки натрия и потерь внеклеточной жидкости происходит нарастание гиперосмолярности. Незадолго до гибели у телят понижается температура и появляется аритмия [11]. Эшерихиоз поражает преимущественно телят в возрасте 1...5 дней, часто

с рецидивами на 6...10 сутки. Инкубационный период болезни продолжается от нескольких часов до 1...2 дней [12].

В неблагополучных хозяйствах заболевают практически все родившиеся телята, однако тяжесть течения зависит от сезона года – в весеннее и летнее время болезнь протекает более злокачественно. Заражение телят патогенными *E. coli* происходит в основном алиментарным путем, также воротами инфекции может быть пуповина. Быстрому заселению и размножению в желудочно-кишечном тракте новорожденных телят энтеротоксигенных *E. coli* способствуют физиологические особенности их организма: низкая кислотность содержимого сычуга, медленная перистальтика кишечника и отсутствие в нем полезных молочнокислых бактерий. Заболевшие животные выделяют огромное количество патогенных эшерихий в окружающую среду с каловыми массами и мочеиспусканием. Патогенность штаммов *E. coli* может усиливаться за счет восприимчивых животных, а также микробоносителей [13-16].

Нерациональное применение антибиотиков создает вероятность аллергии, подавляет иммунитет и приводит к появлению антибиотико-устойчивых популяций *E. coli*, переохлаждение, поздняя выпойка первой порции молозива также приводят к ослаблению защитных механизмов организма телят [17, 18].

Несмотря на большой перечень зарегистрированных лекарственных препаратов для профилактики и лечения эшерихиоза молодняка сельскохозяйственных животных, данная проблема продолжает наносить непоправимый ущерб сельскому хозяйству и требует совершенствования лечебных и профилактических мероприятий, а также схем их применения, в связи с чем проблема с эшерихиозом остается актуальной и в настоящее время.

Учитывая повышенную эффективность сухой антитоксической сыворотки *in vivo* и *in vitro* на лабораторных животных, возникает необходимость адаптации перорального введения препарата на целевых животных с возможной оценкой отсутствия токсических эффектов.

Цель исследований – оценка переносимости новой формы сухой антиадгезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных, иммобилизированной на модифицированном аминокислотоксидом диоксиде кремния, при пероральном ее введении

#### Материалы и методы

Коллективом ФГБУ «ВГНКИ» разработана новая форма антиадгезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных, иммобилизированной на модифицированном аминокислотоксидом диоксиде кремния.

Преимущество новой формы заключается в увеличении специфической активности в сравнении с традиционной гипериммунной сывороткой в жидкой форме.

Исследования выполнены на 30 телятах чернопестрой породы двухдневного возраста на базе ООО «Мегаферма «Октябрьский» Чердаклинского района Ульяновской области. Новорожденных телят размещают вне основного помещения в индивидуальных домиках, где они содержатся до 2-х месячного возраста. В первые 2 часа жизни телятам выпаивали молозиво. В течение 3 дней им выпаивают молозиво, а затем молоко, подвергнутое сквашиванию. С 10-дневного возраста телята имеют свободный доступ к воде и кормушкам со стартерным комбикормом, с 12 дня получают сено злаковое разнотравное.

Всех животных разделили на 3 группы: две опытные и контрольная. Телятам I опытной группы (n=10) однократно перорально применяли сухую антитоксическую сыворотку против эшерихиоза в дозе 15 г на голову в сутки (профилактическая доза), телятам II опытной группы (n=10) однократно перорально применяли сухую антитоксическую сыворотку против эшерихиоза в трехкратно профилактической увеличенной дозе, 45 г на голову в сутки, телятам контрольной группы (n=10) вводили сыворотку антиадгезивную, антитоксическую против эшерихиоза, в дозе 15 мл, внутримышечно, однократно. За всеми подопытными животными вели клинические наблюдения в течение 10 дней, отмечали изменения общего состояния животных. Кровь для исследования отбирали до утреннего кормления из яремной вены у телят до введения испытуемых биопрепаратов и на 7-е сутки после применения сывороток против эшерихиоза. Исследование морфологических и биохимических показателей крови проводили на базе Межкафедрального центра ветеринарной медицины факультета ветеринарной медицины и биотехнологии ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Использовали автоматический гематологический анализатор «MicroCC-20 Plus» и автоматический биохимический анализатор «VetScan 2» 43 с набором реагентов «Комплексный диагностический профиль». Среди определяемых морфологических параметров общего анализа крови были гемоглобин, гематокрит, абсолютное количество эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, эритроцитарные индексы. При биохимическом исследовании крови определяли содержание глюкозы, общего белка, альбуминов, общего билирубина, креатинина, кальция и фосфора, активность аланинаминотрансферазы и щелочной фосфатазы. Полученные в ходе опытов результаты подвергали статистической обработке в программе Microsoft Excel при использовании критерия Стьюдента для определения статистически значимых отличий.

#### Результаты

При проведении клинического исследования у телят не было отмечено случаев летальности и развития интоксикации. Животные были активные, аппетит не нарушался. Пищевая активность хорошая. Живая масса телят опытных групп не имела значительных отличий от данного показателя животных, содержащихся в контрольной группе. Показатели

температуры тела, частоты дыхания и пульса телят по группам значимо не отличались.

При исследовании морфологических показатели крови у телят на фоне применения сухой антиаггезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных уровень эритроцитов до начала опыта находился на уровне  $6,07 \pm 0,17$  – в контрольной группе;  $6,22 \pm 0,20$  – в I опытной группе и  $6,02 \pm 0,16$   $10^{12}/л$  – во II опытной группе. На 7-е сутки после применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза уровень эритроцитов был незначительно повышен во всех группах и составил:  $6,81 \pm 0,24$  – в контрольной группе;  $7,36 \pm 0,14$  – в I опытной группе и  $7,21 \pm 0,20$   $10^{12}/л$  – во II опытной группе, что оказалось на 0,7; 1,14 и 1,19% выше от первоначальных показателей (табл. 1).

Содержание гемоглобина до начала опыта находилось на уровне  $98,30 \pm 1,77$  – в контрольной группе;  $98,60 \pm 1,76$  – в I опытной группе и  $100,10 \pm 1,82$  г/л – во II опытной группе. На 7-е сутки уровень гемоглобина составил:  $98,80 \pm 1,72$  – в контрольной группе;  $99,00 \pm 1,86$  – в опытной группе и  $100,00 \pm 2,04$  г/л – во II опытной группе, что оказалось на 0,5; 0,4% выше от первоначальных показателей в контрольной и I-й опытной группах и не изменился во II опытной группе.

Средняя концентрация гемоглобина в эритроците (СКГЭ) до начала опыта находилась на уровне  $308,14 \pm 1,97$ ;  $309,67 \pm 2,09$  и  $311,31 \pm 1,63$  pg. На 7-е сутки уровень СКГЭ в контрольной группе повысился на 3,0%, в I опытной группе – на 1,9% и во II – на 3,4%.

Среднее содержание гемоглобина в эритроците (ССГЭ) до начала опыта находилось на уровне  $14,06 \pm 0,55$  – в контрольной группе;  $13,17 \pm 0,39$  – в I опытной группе и  $12,52 \pm 0,35$  pg – во II опытной группе. На 7-е сутки в контрольной группе  $13,24 \pm 0,27$ ;  $14,72 \pm 0,55$  в I опытной группе и  $13,78 \pm 0,51$  во II опытной группе, что составило на 0,82% – ниже в контрольной группе, на 1,55% выше в I-й опытной и 1,26% выше во II-й опытной группе.

Средний объем эритроцита (СрОбЭрит) до начала опыта находился на уровне  $56,70 \pm 1,04$ ;  $57,60 \pm 1,44$  и  $57,40 \pm 1,35$  fL. На 7-е сутки уровень СрОбЭрит в контрольной группе повысился на 1,9%, в I опытной группе повысился на 0,5%, в II-й опытной снизился на 0,6%.

Показатель гематокрита до начала опыта находился на уровне  $36,20 \pm 1,10$ ,  $40,40 \pm 1,06$  и  $39,10\%$  соответственно. На 7-е сутки в контрольной, I-й и II-й опытных группах уровень гематокрита повысился на: 1,2; 1,3 и 0,7% соответственно.

**Таблица 1. Морфологические показатели крови у телят на фоне применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза ( $M \pm m$ ,  $n=10$ )**

Показатели	Результат исследований			Нормативные значения
	контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	
До применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза				
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	6,07±0,17	6,22±0,20	6,02±0,16	5,0...9,0
Гемоглобин, г/л	98,30±1,77	98,60±1,76	100,10±1,82	80,0...150,0
СКГЭ, pg	308,14±1,97	309,67±2,09	311,31±1,63	300...380
ССГЭ, pg	14,06±0,55	13,17±0,39	12,52±0,35	17,5...23,5
СрОБЭрит, fL	56,70±1,04	57,60±1,44	57,40±1,35	57...70
Гематокрит,%	36,20±1,10	40,40±1,06**	39,10±1,24	36,0...50,0
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> /л	327,34±7,92	316,97±6,54	313,85±7,54	260,0...700,0
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	11,21±0,47	11,35±0,55	10,79±0,39	4,0...11,0
На 7-е сутки после начала применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза				Нормативные значения
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	6,81±0,24	7,36±0,14*	7,21±0,20	5,0...9,0
Гемоглобин, г/л	98,80±1,72	99,00±1,86*	100,00±2,04	80,0...150,0
СКГЭ, pg	317,43±1,75	315,53±2,74	322,03±3,88	300...380
ССГЭ, pg	13,24±0,27	14,72±0,55*	13,78±0,51	17,5...23,5
СрОБЭрит, fL	58,60±1,09	58,10±1,31	57,00±1,43	57...70
Гематокрит,%	37,40±1,30	41,70±1,32**	39,80±1,21	36,0...50,0
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> /л	349,80±8,58	364,24±6,19	346,49±7,36	260,0...700,0
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	13,51±0,41	15,22±0,54**	15,27±0,39**	4,0...11,0

Примечание: \* ( $P < 0,05$ ); \*\* ( $P < 0,01$ ); \*\*\* ( $P < 0,001$ ) относительно данных контрольной группы.

Количество тромбоцитов до начала опыта находилось на уровне  $327,34 \pm 7,92$ ;  $316,97 \pm 6,54$  и  $313,85 \pm 7,54$   $10^9/л$  соответственно. На 7-е сутки происходило повышение в контрольной, I-й и II-й группах на 22,6; 47,27 и 32,64% соответственно.

Количество лейкоцитов до начала опыта находилось на уровне  $11,21 \pm 0,47$ ;  $11,35 \pm 0,55$ ;  $10,79 \pm 0,39$   $10^9/л$ . На 7-е сутки после применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза

происходило повышение в контрольной группе на 2,3; I-й опытной группе на 3,87 и во II-й опытной группе на 4,48%.

При исследовании биохимических показателей крови у телят на фоне применения сухой антиаггезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных уровень общего белка до начала опыта находился на уровне  $59,82 \pm 1,73$  – в контрольной группе;  $57,85 \pm 1,5$  – в I

опытной группе и  $53,42 \pm 5,24$  г/л во II опытной группе. На 7-е сутки происходило повышение в контрольной группе на 6,66%, в I опытной группе – на 11,43%, во II опытной группе – на 17,44% (табл.2).

Количество альбуминов до начала опыта находилось на уровне  $25,47 \pm 0,49$ ;  $25,00 \pm 0,58$  и  $24,66 \pm 0,61$  г/л. На 7-е сутки происходило повышение в контрольной группе на 2,08%, в I опытной группе – на 5,37%, во II опытной группе – на 6,29%.

Значения общего билирубина до начала опыта находились на уровне  $1,67 \pm 0,16$ ;  $1,57 \pm 0,19$  и  $1,52 \pm 0,14$  ммоль/л. На 7-е сутки происходило понижение показателя в контрольной группе на 0,56%, в I опытной группе – на 0,69%, во II опытной группе – на 0,65%.

Количество глюкозы в крови до начала опыта находилось в пределах  $5,24 \pm 0,14$ ;  $4,66 \pm 0,20$  и  $4,71 \pm 0,22$  ммоль/л. На 7-е сутки происходило понижение показателя в контрольной группе на 0,58, в I опытной группе – на 0,79%, во II опытной группе – на 2,08%.

Показатель креатинина до начала опыта находился в пределах  $112,88 \pm 3,11$ ;  $106,85 \pm 3,48$ ,

$102,17 \pm 2,55$  мкмоль/л. На 7-е сутки происходило понижение значений в контрольной группе на 14,2%, в I опытной группе – на 7,14%, во II опытной группе – на 3,91%.

Уровень кальция в крови телят до начала опыта находился в пределах  $2,45 \pm 0,09$ ;  $2,40 \pm 0,09$  и  $2,49 \pm 0,08$  ммоль/л. На 7-е сутки происходило увеличение показателя в контрольной группе на 0,1%, в I опытной группе – на 0,26%, во II опытной группе – на 0,07%.

Уровень фосфора до начала опыта находился в пределах  $1,54 \pm 0,06$ ;  $1,56 \pm 0,07$  и  $1,63 \pm 0,05$  ммоль/л. На 7-е сутки происходило увеличение показателя в контрольной группе на 0,27%, в I опытной группе – на 0,19%, во II опытной группе – на 0,11%.

Содержание фермента аланинаминотрансферазы (АЛат) в крови телят до начала опыта находилось в пределах  $18,20 \pm 0,42$ ;  $8,13 \pm 0,4$  и  $8,05 \pm 0,47$  ЕД/л. На 7-е сутки происходило увеличение значений в контрольной группе на 1,0%, в I опытной группе – на 1,23%, во II опытной группе – на 1,1%.

**Таблица 2. Биохимические показатели крови у телят на фоне применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза (M±m, n=10)**

Показатель	Результаты исследований			Нормативные значения
	контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	
До применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза				
Общий белок, г/л	59,82±1,73	57,85±1,55	53,42±5,24	60...89
Альбумины, г/л	25,47±0,49	25,00±0,58	24,66±0,61	30...52
Общий билирубин, ммоль/л	1,67±0,16	1,57±0,19	1,52±0,14	0,8...14,0
Глюкоза, ммоль/л	5,24±0,14	4,66±0,20*	4,71±0,22**	2,3...4,1
Креатинин, мкмоль/л	112,88±3,11	106,85±3,48	102,17±2,55**	55,8...162,4
Кальций, ммоль/л	2,45±0,09	2,40±0,09	2,49±0,08	2,5...5,3
Фосфор, ммоль/л	1,54±0,06	1,56±0,07	1,63±0,05	1,4...1,9
АЛат, ЕД/л	8,20±0,42	8,13±0,45	8,05±0,47	6,9...35
АСат, ЕД/л	73,67±2,51	66,15±3,92	69,06±2,53	45...110
Щелочная фосфатаза, м ЕД/л	73,15±1,63	69,38±1,49	70,01±1,07	18...153
На 7-е сутки после начала применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза				Нормативные значения
Общий белок, г/л	66,48±1,71	69,28±1,25	70,86±1,65*	60...89
Альбумины, г/л	27,55±0,73	30,37±0,85**	30,95±1,02**	30...52
Общий билирубин, ммоль/л	1,11±0,16	0,88±0,16	0,87±0,15	0,8...14,0
Глюкоза, ммоль/л	4,66±0,11	3,87±0,11***	3,63±0,13***	2,3...4,1
Креатинин, мкмоль/л	98,62±1,64	99,71±1,41	98,26±1,78	55,8...162,4
Кальций, ммоль/л	2,55±0,11	2,66±0,11	2,56±0,10	2,5...5,3
Фосфор, ммоль/л	1,81±0,06	1,75±0,05	1,74±0,04	1,4...1,9
АЛат, ЕД/л	9,20±0,39	9,36±0,12	9,15±0,36	6,9...35
АСат, ЕД/л	75,46±2,31	70,54±3,74	70,96±2,24	45...110
Щелочная фосфатаза, ЕД/л	68,59±1,53	64,21±1,41*	64,07±0,67**	18...153

Примечание: \* ( $P < 0,05$ ); \*\* ( $P < 0,01$ ); \*\*\* ( $P < 0,001$ ) относительно данных контрольной группы

Содержание фермента аспартатамино-трансферазы (АСат) в крови телят до начала опыта находилось в пределах  $73,67 \pm 2,51$ ;  $66,15 \pm 3,92$  и  $69,06 \pm 2,53$  ЕД/л. На 7-е сутки происходило увеличение значений в контрольной группе на 1,79%, в I опытной группе – на 4,39%, во II опытной группе – на 1,9%.

Уровень щелочной фосфатазы до начала опыта находился в пределах  $73,15 \pm 1,63$ ;  $69,38 \pm 1,49$  и  $70,01 \pm 1,07$  ЕД/л. На 7-е сутки происходило снижение показателя в контрольной группе на 4,56%, в I

опытной группе – на 5,17%, во II опытной группе – на 5,94%.

### Обсуждение

Результаты морфологических показателей крови при энтеральном применении сухой антиаггезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных показали, что изучаемые гематологические показатели менялись в пределах физиологической нормы. Данный способ применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза как в профилактической дозе, так

и трехкратно увеличенной дозе не оказывает отрицательного действия на морфологические показатели крови. Все показатели оставались в пределах референтных значений в динамике на протяжении недельного цикла исследований. Изменения биохимических показателей сыворотки крови у телят в опытных группах в ходе исследований соответствовали физиологическим нормам, что говорит об отсутствии нарушений в функциональном состоянии почек и печени у опытных телят.

Исследование переносимости перорального введения новой формы сухой антитоксической выворотки против эшерихиоза у телят, показало, что при пероральном введении в профилактической и увеличенной дозах препарат не оказывает гематотоксического действия, не нарушает функции печени и почек и не влиял на общее состояние и аппетит. При ежедневном осмотре в течение всего срока наблюдения у телят во всех группах не наблюдалось никаких клинических признаков отклонений в их общем состоянии и поведении. Также не было зафиксировано нарушений в двигательной активности и уровне аппетита. Результаты эксперимента продемонстрировали, что на протяжении исследования отсутствовали признаки интоксикации. Все телята из исследуемых групп проявляли активность, а их реакция на внешние раздражители оставалась в пределах нормы. Температура тела всех телят стабильно держалась в рамках физиологических норм на протяжении всего исследования. Морфологические показатели крови у всех телят также соответствовали физиологической норме на всем протяжении исследования. До начала эксперимента показатели гемограммы периферической крови оставались в пределах нормы для этого вида и возраста животных. Биохимические параметры крови оставались в границах референтных значений в течение всего эксперимента.

#### Заключение

В результате проведенных исследований по определению безвредности однократного перорального применения сухой антитоксической сыворотки против эшерихиоза в дозе 15 г на голову в сутки и трехкратно увеличенной дозировки не оказало негативного влияния на гематологические параметры крови телят, что свидетельствует об отсутствии гепатотоксического действия препарата.

На фоне применения новой формы сухой антиадгезивной антитоксической сыворотки против эшерихиоза сельскохозяйственных животных у всех подопытных животных при пероральном ее введении не отмечалось патологических симптомов, ухудшений общего состояния здоровья на протяжении всего срока исследований.

#### Литература

1. Barragry T.B. Therapy of coliform calf scour. Practical fluid therapy // Irish. Vet. New (sup.). 1990. Vol. 12. No. 4. P. 7-28.
2. Gavrovic M. Investigation of the sensitivity of *E. coli* strains isolated from domestic animals to antibiotics and hemiotherapeutics in vitro /M.Gavrovic,R.Asanin, D.Misic, M.Jezdimirovic, M.Zutic //Acta Veterinaria. 2011. Vol.61. No 1. P. 21-31.
3. Паршина В. И. Терапевтическая эффективность инъекционного препарата на основе энрофлоксацина и колистина при колибактериозе поросят и телят // Ветеринарная патология. 2009. № 2.С. 95-98.
4. Роль микроорганизмов (бактерий и вирусов) в возникновении желудочно-кишечных заболеваний новорожденных телят / Г.И. Григорьева, А.А. Арбузова, М.А. Кульчитская и др. // Ветеринарная патология. 2005. № 4. С. 108-113.
5. Зароза В. Г., Бузова Г. А., Бузов В. Г. Возбудители колибактериоза животных и их лабораторная идентификация // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2008. № 3. С. 29-33.101
6. Головки А.Н. Фимбриальные адгезины энтеротоксигенных эшерихий // Ветеринария. 1993. № 9. С. 31-32.
7. Поздеев О. К., Поздеев О. К., Федоров Р. В. Энтеробактерии: руководство для врачей. М.: Издательская группа ГЭОТАР-Медиа, 2007. 720 с.
8. The influence of a complex of probiotic cultures on intensity of development the animals / N. A. Ozherdova, E. V. Svetlakova, M. N. Verevkina, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. No. 2. P. 1638-1642.
9. Nicas T. I. Mechanism of bacterial resistance to antibiotics // Antimicrob. Agents. Chemother. 1989. Vol. 33. No. 9. P. 1419-1422.
10. Investigation of the sensitivity of *E. coli* strains from domestic animals to antibiotics and homiotherapeutics in vitro / M. Gavrovic, R. Asanin, D. Misic // Acta Veterinaria 2010. Vol. 61. No. 1. P.21-31.
11. *E. coli* O157 on Scottish cattle farms: evidence of local spread and persistence using repeat cross-sectional data / L. J. Herbert, L. Vali, D. V. Hoyle, et al. // BMC Veterinary Research. 2014. Vol. 10. P. 95-105.
12. Jakel C. Entwicklung eines Sandwich-Elisa zum Nachweis von spezifischen Antikörpern gegen die Fimbrienantigene K 88, K 89 und 987 p von *E. coli*. // Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift. 1995. Vol. 108. No. 6. P. 221-223.
13. Макаров В. В. О проблеме причинности инфекционных заболеваний // Вестник РАН. 2003. № 6. С. 11-12.
14. Карпович Е. Г., Кузнецов А. Н. Влияние пробиотика «Биоплюс 2Б» на биоценоз желудочно-кишечного тракта новорожденных телят // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Гродно. 2012. С. 295-300.
15. Иммунный статус телят при диарейном синдроме инфекционной этиологии [*Escherichia coli*] / А. Г. Шахов, Ю.Н. Масыанов, Л. Ю. Сашин и др. // Ветеринарная патология. 2010. № 1. С. 35-39.
16. Зароза В. Г., Бузова Г. А., Бузов В. Г. Возбудители колибактериоза животных и их лабораторная



идентификация // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2008. № 3. С. 29-33.

17. Dubourguier H. K., Gouet P. H., Mandaro O. Scanning electron microscopy of abomasums and intestine of gnotogenic calves infected either with rotavirus, coronavirus or enteropathogenic *E. coli* or with rotavirus and *E. coli* // Ann. Rech. Vet., 1987. Vol. 9. No. 3. P. 441-451.

18. The influence of a complex of probiotic cultures on intensity of development the animals / N. A. Ozherdova, E. V. Svetlakova, M. N. Verevkina, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. № 2. P. 1638-1642.

#### References

1. Barragry T. B. Therapy of coliform calf scour. Practical fluid therapy // Irish. Vet. New (sup.). 1990. Vol. 12. No. 4. P. 7-28.

2. Gavrovic M. Investigation of the sensitivity of *E. coli* strains isolated from domestic animals to antibiotics and chemotherapeutics in vitro / M. Gavrovic, R. Asanin, D. Misic, et al. // Acta Veterinaria. 2011. Vol. 61. No. 1. P. 21-31.

3. Parshina V. I. Therapeutic efficacy of an injectable drug based on enrofloxacin and colistin for colibacillosis in piglets and calves // Veterinary pathology. 2009. No. 2. P. 95-98.

4. The role of microorganisms (bacteria and viruses) in the occurrence of gastrointestinal diseases in newborn calves / G. I. Grigorieva, A. A. Arbuzova, M. A. Kulchitskaya, et al. // Veterinary pathology. 2005. No. 4. P. 108-113.

5. Zaroza V. G., Burova G. A., Burov V. G. Causal agents of colibacillosis in animals and their laboratory identification // Veterinary science of farm animals. 2008. No. 3. P. 29-33.101

6. Golovko A. N. Fimbrial adhesins of enterotoxigenic *Escherichia* // Veterinary science. 1993. No. 9. P. 31-32.

7. Pozdeev O. K., Pozdeev O. K., Fedorov R. V. Enterobacteria: A Handbook for Doctors. Moscow: GEOTAR-Media Publishing Group, 2007. 720 p.

8. The influence of a complex of probiotic cultures on the intensity of development in animals / N. A. Ozherdova, E. V. Svetlakova, M. N. Verevkina, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. No. 2. P. 1638-1642.

9. Nicas T. I. Mechanism of bacterial resistance to antibiotics // Antimicrob. Agents. Chemother. 1989. Vol. 33. No. 9. P. 1419-1422.

10. Investigation of the sensitivity of *E. coli* strains from domestic animals to antibiotics and homiotherapeutics in vitro / M. Gavrovic, R. Asanin, D. Misic // Acta Veterinaria. 2010. Vol. 61. No. 1. P. 21-31.

11. *E. coli* O157 on Scottish cattle farms: evidence of local spread and persistence using repeat cross-sectional data / L. J. Herbert, L. Vali, D. V. Hoyle, et al. // BMC Veterinary Research. 2014. Vol. 10. P. 95-105.

12. Jakel C. "Entwicklung eines Sandwich-Elisa zum Nachweis von spezifischen Antikörpern gegen die Fimbrienantigene K 88, K 89 und 987 p von *E. coli*." // Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift. 1995. Vol. 108. No. 6. P. 221-223.

13. Makarov V. V. On the problem of causality of infectious diseases // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2003. No. 6. P. 11-12.

14. Karpovich E. G., Kuznetsov A. N. Influence of the probiotic "Bioplus 2B" on the biocenosis of the gastrointestinal tract of newborn calves // Actual problems of intensive development of animal husbandry. Grodno. 2012. P. 295-300.

15. Immune status of calves with diarrheal syndrome of infectious etiology [*Escherichia coli*] / A. G. Shakhov, Yu. N. Masyanov, L. Yu. Sashin, et al. // Veterinary pathology. 2010. No. 1. P. 35-39.

16. Zaroza V. G., Burova G. A., Burov V. G. Causal agents of colibacillosis in animals and their laboratory identification // Veterinary science of farm animals. 2008. No. 3. P. 29-33.

17. Dubourguier H. K., Gouet P. H., Mandaro O. Scanning electron microscopy of abomasums and intestine of gnotogenic calves infected either with rotavirus, coronavirus or enteropathogenic *E. coli* or with rotavirus and *E. coli* // Ann. Rech. Vet., 1987. Vol. 9. No. 3. P. 441-451.

18. The influence of a complex of probiotic cultures on the intensity of development of the animals / N. A. Ozherdova, E. V. Svetlakova, M. N. Verevkina, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. No. 2. P. 1638-1642.

#### 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-166-172

УДК 638.123(470.51)

##### Аборигенные и интродуцированные породы пчел в Удмуртии: сравнительная оценка продуктивных и адаптивных качеств

**А. С. Тронина**✉, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Частное животноводство»

**В. М. Юдин**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных»

**С. Л. Воробьева**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных»

ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ

426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11

✉anstron@mail.ru

**Резюме.** Представлен анализ численности и характеристик хозяйственно-полезных признаков медоносных пчел, распространенных на территории Удмуртской Республики, с целью изучения породного состава и текущих характеристик популяции *Apis mellifera* региона. Анализ численности пчелиных семей в республике выявил, что всего в регионе насчитывается 44426 пчелиных семей на 3835 пасеках, при этом максимальное количество пчелиных семей наблюдается в Можгинском районе (3414 семей), что позволяет классифицировать его как зону интенсивного пчеловодства. Высокие показатели также демонстрируют Увинский (2991), Алнашский (2976) и Шарканский (2759) районы, формирующие ареал с высокой плотностью пчеловодческой деятельности. Среди анализируемых пасек 62,9% приходится на среднерусскую породу, 3,2 и 2,4% – на бакфаст и краинскую породы пчел соответственно и 0,8% – на карпатскую породу. Наибольшая медовая продуктивность выявлена у среднерусской породы, составляющую в среднем 45,3 кг на пчелиную семью, что подтверждает ее адаптационное превосходство в местных условиях. Этот показатель превышает результаты интродуцированных пород: бакфаст (31,3 кг), краинская (40,0 кг) и карпатская (27,6 кг) породы. Условно среднерусская порода, являющаяся аборигенной для региона, показывает высокий результат в 92%, что подтверждает ее хорошую адаптацию к местным климатическим условиям. Для бакфаст в регионе характерна относительно низкая зимостойкость (75%), что указывает на ее недостаточную приспособленность к продолжительным зимним периодам региона. Гибридизация, особенно с кавказской породой, снижает продуктивность и устойчивость пчелиных семей.

**Ключевые слова:** среднерусская порода, бакфаст, краинская, карпатская, медоносные пчелы, болезни пчел, гибридизация.

**Для цитирования:** Тронина А. С., Юдин В. М., Воробьева С. Л. Аборигенные и интродуцированные породы пчел в Удмуртии: сравнительная оценка продуктивных и адаптивных качеств // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 166-172. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-166-172

##### Native and Introduced Bee Breeds in Udmurtia: A Comparative Assessment of Productive and Adaptive Qualities

**A. S. Tronina**✉, V. M. Yudin, S. L. Vorobyeva

Udmurt State Agricultural University

426069, Udmurt Republic, Izhevsk, Studencheskaya Street, 11

✉anstron@mail.ru

**Abstract.** This article presents an analysis of the abundance and characteristics of economically useful honeybees common in the Udmurt Republic, with the aim of studying the species composition and current characteristics of the *Apis mellifera* population in the region. An analysis of bee colony numbers in the republic revealed a total of 44,426 bee colonies in 3,835 apiaries in the region, with the highest number of colonies in the Mozhginsky District (3,414 colonies), classifying it as an intensive beekeeping zone. High rates are also demonstrated by the Uvinsky (2,991), Alnashsky (2,976), and Sharkansky (2,759) districts, which form a high-density beekeeping area. Among the analyzed apiaries, 62.9% are of the Central Russian breed, 3.2% and 2.4% are of the Buckfast and Carniolan bee breeds, respectively, and 0.8% are of the Carpathian breed. The highest honey productivity was found in the Central Russian breed, averaging 45.3 kg per colony, confirming its adaptability to local conditions. This figure exceeds the results of introduced breeds: Buckfast (31.3 kg), Carniolan (40.0 kg), and Carpathian (27.6 kg). The Central Russian breed, native to the region, shows a high result of 92%, confirming its good adaptation to local climatic conditions. Buckfast bees in the region are characterized by relatively low winter hardiness

(75%), indicating their insufficient adaptation to the region's long winter periods. Hybridization, especially with Caucasian breeds, reduces the productivity and stability of bee colonies.

**Keywords:** Central Russian breed, Buckfast, Carniolan, Carpathian, honey bees, bee diseases, hybridization.

**For citation:** Tronina A. S., Yudin V. M., Vorobyeva S. L. Native and Introduced Bee Breeds in Udmurtia: A Comparative Assessment of Productive and Adaptive Qualities // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 166-172 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-166-172

**Исследования проводили в рамках исполнения гранта Российского научного фонда, проект № 24-26-00064, по теме «Изучение генетического разнообразия пород медоносных пчел, распространенных на территории Удмуртской Республики», конкурс «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами»**

### Введение

Гибридизация в животноводстве – один из ключевых методов селекции, используемый для улучшения хозяйственно полезных признаков животных. Однако массовое и нерегулируемое скрещивание разных пород или видов может привести к ряду серьезных негативных последствий. К ним относятся потеря генетического разнообразия, исчезновение локальных пород, снижение гетерозиса, непредсказуемость признаков, распространение генетических заболеваний, экологические угрозы [1, 2, 3]. Отрасль пчеловодства – одна из тех сфер, где регулирование скрещивания разных пород и подвидов достаточно затруднено в виду биологических особенностей семей медоносных пчел. Бесконтрольная гибридизация создает генетический хаос, который сложно учесть в дальнейшей племенной работе и приводит к тому, что выявить чистоту породы становится практически невозможным без строгого генетического мониторинга.

В Удмуртской Республике длительное время существует проблема массового завоза южных подвидов медоносных пчел в связи с их миролюбивым поведением по сравнению со злобливой местной аборигенной среднерусской (темной лесной) породой пчел (*Apis mellifera mellifera* L.). Интенсивно завозятся такие породы, как бакфаст, краинская (*Apis mellifera carnica*), карпатская (*Apis mellifera carpatica*) и серая горная кавказская (*Apis mellifera carnica*), в связи с чем функциональные признаки местных медоносных пчел постепенно дегенерируют и становятся более однотипными.

Сохранять генотип аборигенных пчел критически важно по ряду фундаментальных причин, имеющих экологическое, экономическое и эволюционное значение. Аборигенные пчелы, формировавшиеся в течение тысячелетий в конкретных природно-климатических условиях, представляют собой уникальный продукт коэволюции с местной флорой и фауной. Их генетическая архитектура содержит бесценную информацию об адаптациях, позволивших им пережить множество климатических колебаний, эпидемий и изменений ландшафта [4, 5, 6]. Генофонд местных пчел, такой как среднерусская порода в северных регионах, обладает исключительной зимостойкостью, способностью переживать длительные (6...7 мес.) периоды зимовки с минимальными потерями, устойчивостью к характерным для региона заболеваниям,

таким как нозематоз, и эффективной работой на скудном взятке в условиях короткого лета. Эти качества не просто удобны для пчеловода – они являются результатом глубокой интеграции в локальную экосистему. Аборигенные пчелы идеально синхронизированы с фенологией местных медоносов, что делает их незаменимыми опылителями для многих дикорастущих и сельскохозяйственных растений. Их исчезновение или генетическое загрязнение может вызвать каскадный эффект в экосистемах, нарушив процессы опыления и снизив урожайность энтомофильных культур.

С экономической точки зрения сохранение чистого генотипа – это стратегическая инвестиция в устойчивость пчеловодства. Чистопородные пчелы, хотя и могут уступать в пиковой продуктивности некоторым южным гибридам, обеспечивают стабильность и предсказуемость работы пасеки. Они требуют меньше вмешательства, менее зависимы от лекарственных обработок и способны самостоятельно противостоять колебаниям погоды. В долгосрочной перспективе это снижает затраты и риски для пчеловода [7, 8].

Кроме того, местные породы служат незаменимым генетическим материалом для будущей селекции. В условиях меняющегося климата и появления новых угроз (например, агрессивных штаммов вирусов или клещей) их гены могут стать ключом к выживанию всего пчеловодства. Разрушая этот уникальный ресурс бесконтрольной гибридизацией, человечество лишает себя инструмента для адаптации к неопределенному будущему [9, 10]. Сохранение генотипа аборигенных пчел – это не вопрос консервации прошлого, а необходимое условие для обеспечения экологической устойчивости, продовольственной безопасности и генетического суверенитета регионов в будущем.

Исследования проводили с целью мониторинга актуального состояния пчеловодства для формирования целостного представления о породном составе, текущих характеристик популяции *Apis mellifera* региона и ее генофонда.

### Материалы и методы

Сведения о количестве пчелиных семей были получены при обработке данных Министерства сельского хозяйства и продовольствия Удмуртской Республики. Для актуализации данных были проведены встречи, собрания и анкетирование пчеловодов

Удмуртии в 2024 г. во всех 25 районах региона – в 2024 г в северных (Балезинский, Дебесский, Игринский, Кезский, Красногорский, Глазовский, Юкаменский, Ярский), в 2025 г.- в центральных (Якшур-Бодьинский, Шарканский, Вавожский, Сямсинский, Селтинский, Завьяловский, Воткинский, Увинский) и южных (Граховский, Кизнерский, Можгинский, Малопургинский, Алнашский, Киясовский, Сарапульский, Каракулинский и Камбарский) районах. От 124 пчеловодов были получены данные о породном составе,

особенностях технологии разведения пчел, кормовой базе и медопродуктивности.

#### Результаты

Анализ данных по пчеловодству Удмуртии показывает заметные различия между районами (рис.1). Всего в регионе насчитывается 44426 пчелиных семей на 3835 пасеках. В среднем на одной пасеке содержится около 12 пчелиных семей, что является нормальным показателем для сельскохозяйственных регионов.

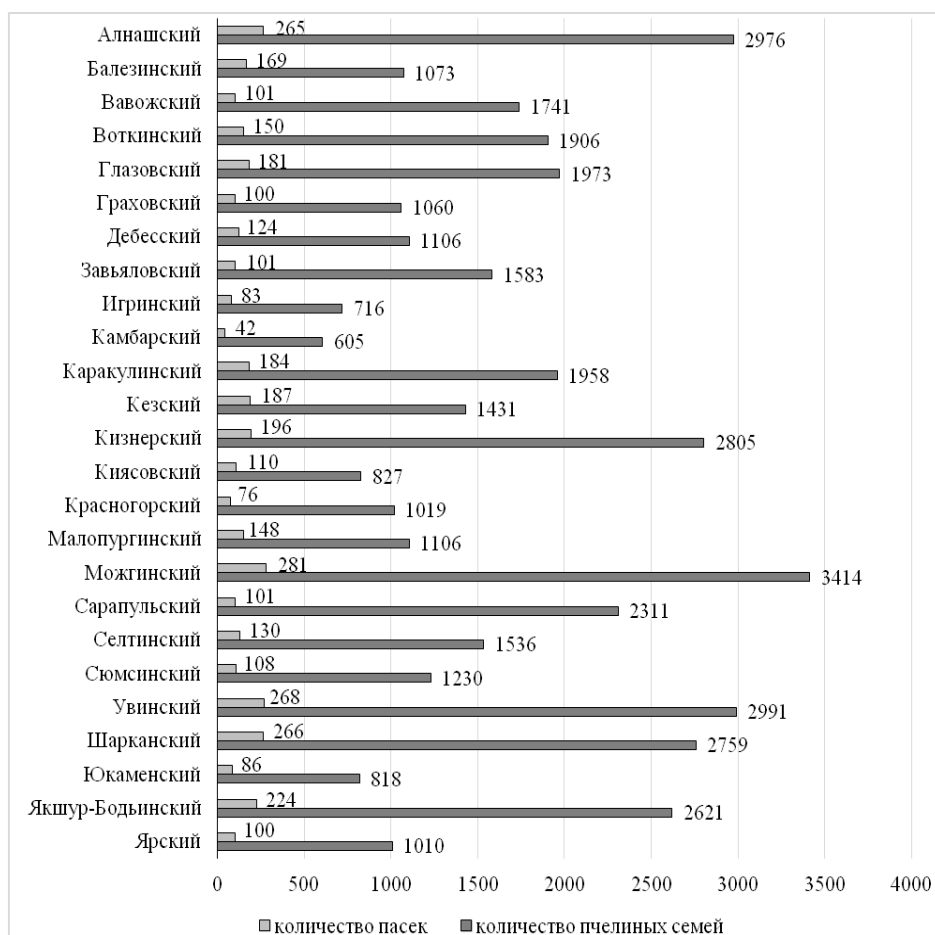


Рис. 1. Распределение количества пасек и пчелиных семей в разрезе районов Удмуртской Республики

Максимальное количество пчелиных семей наблюдается в Можгинском районе (3414 семей), что позволяет классифицировать его как зону интенсивного пчеловодства. Высокие показатели также демонстрируют Увинский (2991), Алнашский (2976) и Шарканский (2759) районы, формирующие ареал с высокой плотностью пчеловодческой деятельности. Эти территории можно считать центрами пчеловодства республики. Наименьшие показатели у Камбарского (605) и Игринского (716) районов, что может быть связано с особенностями ландшафтно-экологических условий или спецификой аграрного производства.

Особый интерес представляет анализ соотношения количества пасек к численности пчелосемей. Наибольшая средняя наполняемость пасек характерна для Сарапульского (22,88 семьи/пасеку) и Вавожского (17,24 семьи/пасеку) районов, что

указывает на наличие крупных профессиональных пасечных хозяйств. Одновременно в Красногорском (13,41) и Ярском (10,10) районах сохраняется модель малоформатного пчеловодства с распределением семей по множеству мелких пасек.

Полученные данные имеют важное прикладное значение для разработки целевых программ развития пчеловодства в регионе. Выявленная пространственная неоднородность диктует необходимость дифференцированного подхода к планированию ветеринарно-санитарных мероприятий, организации селекционно-племенной работы и логистики поставок пчеловодческого инвентаря. Для районов с высокой концентрацией пчелосемей актуальными задачами становятся предотвращение рисков эпифитотии и оптимизация кормовой базы, тогда как для территорий с низкой плотностью пчеловодства

перспективным направлением является кооперация мелких пасечников и развитие медового кластера.

Проведенный анализ породного состава и фенотипических характеристик медоносных пчел на исследуемых пасеках Удмуртской Республики выявляет выраженные закономерности в структуре популяции. Доминирующее положение занимает среднерусская порода, которая представлена на 62,9% пасек, что свидетельствует о сохранении аборигенного генетического фонда в регионе. Среди пасек, содержащих условно среднерусскую породу, преобладают пчелы с характерным серым окрасом (60,3%), что соответствует эталонному фенотипу, в то время, как 39,7% демонстрируют смешанную окраску, указывающую на возможную интрогрессию генов других пород (табл.1).

**Таблица 1. Процентное распределение пород и цветового окраса пчел среди пчеловодов Удмуртской Республики**

Порода пчел	% пасек от общего числа	Распространенность окраски пчел,%	
		Серая	Смешанная
Пасеки с одной породой пчел медоносных пчел			
Среднерусская порода	62,9	60,3	39,7
Бакфаст	3,2	-	100,0
Краинская порода	2,4	66,7	33,3
Карпатская порода	0,8	-	100,0
Пасеки с наличием разных пород медоносных пчел			
Среднерусская и карпатская породы	4,0	60,0	40,0
Среднерусская и краинская породы	7,3	55,6	44,4
Среднерусская порода и бакфаст	1,6	50,0	50,0
Среднерусская, бакфаст и краинская породы	5,6	14,3	85,7
Среднерусская, краинская и карпатская породы	1,6	-	100,0
Среднерусская и кавказская породы	0,8	-	100,0
Краинская порода и бакфаст	4,0	-	100,0
Краинская и карпатская породы	4,8	50,0	50,0
Карпатская и кавказская породы	0,8	-	100,0

Среди импортированных пород наибольшее распространение получили бакфаст (3,2%) и краинская (2,4%), причем последняя в 66,7% случаев сохраняет типичный серый окрас. Интродуцированные породы, включая карпатскую и кавказскую, демонстрируют тенденцию к смешанной окраске (100% случаев), что может свидетельствовать об активных процессах гибридизации.

Особый интерес представляют пасеки с совместным содержанием нескольких пород, суммарно составляющие 29,7% от общего числа. Наибольшую распространенность имеют гибриды среднерусской и краинской пород (7,3%), а также среднерусской и карпатской (4,0%). При этом в случаях гибридизации среднерусской породы с другими наблюдается сохранение серой окраски у

50...60% особей, что указывает на доминантный характер наследования данного признака.

Наиболее выраженные процессы гибридизации отмечаются на пасеках, содержащих три и более породы (на их долю приходится 7,2% пасек), где доля смешанной окраски достигает 85,7...100%. В процессе общения многие пчеловоды подтверждали факт завоза южных пород пчел, однако зачастую это был единичный ввоз, «для пробы», после которого целенаправленное их разведение не осуществлялось, и пчеловоды возвращались к своей местной пчеле, так как завозные особи не устраивали их особенностями поведения, продуктивностью и зимостойкостью.

Медовая продуктивность является основным видом продуктивности пчел, что делает ее одним из важнейших хозяйственно-полезных признаков. Медоносная база на территории Удмуртской Республики представлена достаточно разнообразным составом, в связи с чем основным считается полифлерный цветочный мед, представленный композицией разнотравья (липа, донник, кипрей, василек, фацелия, одуванчик, липа и др.). Монофлерный мед в регионе представлен лишь вариантами липового, фацелиевого медов, однако соотношение данных видов варьирует в связи с прямым влиянием метеорологических факторов. Возможность некоторых пород пчел собирать нектар с большего вида цветков, благодаря более длинному хоботку по сравнению со среднерусской породой, также мотивирует пчеловодов приобретать южные вариации медоносных пчел. Вместе с тем разные породы проявляют себя по-разному в течение летнего периода – некоторые породы интенсивно проявляют себя только на главном взятке, некоторые способны поддерживать умеренный медосбор и тогда, когда уровень нектаровыделения в природе низок. Все эти факторы также побуждают пчеловодов менять и экспериментировать с породами медоносных пчел на своих пасеках.

Согласно данным анкетирования пчеловодов региона анализ медовой продуктивности и характеристик печатки меда у различных пород пчел и их гибридных комбинаций в условиях Удмуртской Республики выявляет существенные различия в хозяйственно-полезных признаках (табл.2). Наибольшая медовая продуктивность отмечается у аборигенной среднерусской породы, составляющая в среднем 45,3 кг на пчелиную семью с диапазоном от 10,0 до 60,0 кг, что подтверждает ее адаптационное превосходство в местных условиях. Этот показатель превышает результаты интродуцированных пород: бакфаст (31,3 кг), краинская (40,0 кг) и карпатская (27,6 кг) породы.

Условно среднерусская порода анализируемых пасек демонстрирует выраженное доминирование сухой печатки (82,1%), что соответствует эталонным характеристикам породы. Среди импортированных пород наблюдается разнообразие показателей:

карпатская порода показывает 100% сухую печатку, в то время как краинская порода имеет преимущественно смешанный тип печатки (66,7%). Бакфаст занимает промежуточное положение с 75% сухой печатки.

При анализе гибридных семей выявлено, что комбинации с участием среднерусской породы сохраняют относительно высокую продуктивность. Наибольшая продуктивность среди гибридов отмечена у семей с сочетанием среднерусской, бакфаст и краинской пород (40,1 кг), а также среднерусской, краинской и карпатской пород (40,0 кг). При этом в последнем случае наблюдается 100% показатель сухой печатки.

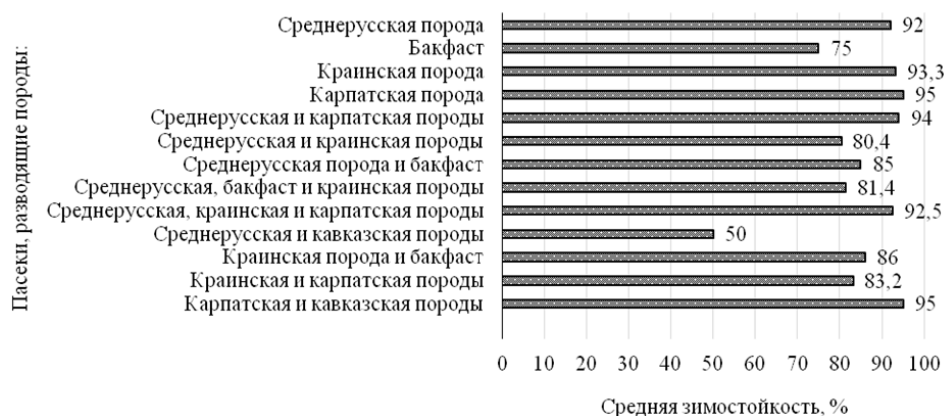
Наименьшая продуктивность зафиксирована у гибридов среднерусской и кавказской пород (20,0 кг), а также карпатской и кавказской пород (25,0 кг). Тип печатки у гибридных семей варьирует от полного доминирования сухой печатки до полностью смешанного типа, что свидетельствует о сложном характере наследования данного признака.

Учитывая природно-климатические условия Удмуртской республики, зимостойкость пчелиных семей является достаточно важным значением. Анализ показателей зимостойкости пчелиных семей в условиях региона выявляет существенные различия между породами и их гибридными комбинациями. Наивысшую зимостойкость демонстрируют карпатская порода и ее гибриды с кавказской породой, показывая 95% сохранности после зимовки. Условно среднерусская порода, являющаяся аборигенной для региона, показывает высокий результат в 92%, что подтверждает ее хорошую адаптацию к местным климатическим условиям. Краинская порода также

демонстрирует высокую зимостойкость на уровне 93,3% (рис.2).

**Таблица 2. Процентное распределение разных видов печатки меда среди исследуемых пчел и количество медовой продуктивности**

Порода пчел	Медовая продуктивность, кг		Печатка меда	
	в среднем на 1 пчелиную семью	Lim	Сухая	Смешанная
Пасеки с одной породой пчел медоносных пчел				
Среднерусская порода	45,3	10,0-50,0	82,1	17,9
Бакфаст	31,3	20,0-40,0	75,0	25,0
Краинская порода	40,0	30,0-50,0	33,3	66,7
Карпатская порода	27,6	12,0-60,0	100,0	-
Пасеки с наличием разных пород медоносных пчел				
Среднерусская и краинская породы	27,4	20,0-40,0	80,0	20,0
Среднерусская и краинская породы	36,1	30,0-50,0	55,6	44,4
Среднерусская порода и бакфаст	30,0	25,0-35,0	50,0	50,0
Среднерусская, бакфаст и краинская породы	40,1	10,0-75,0	57,1	42,9
Среднерусская, краинская и карпатская породы	40,0	20,0-60,0	100,0	-
Среднерусская и кавказская породы	20,0	10,0-35,0	-	100,0
Краинская порода и бакфаст	31,0	20,0-50,0	60,0	40,0
Краинская и карпатская породы	25,8	15,0-40,0	33,3	66,7
Карпатская и кавказская породы	25,0	15,0-38,0	100,0	-



**Рис.2. Зимостойкость пчелиных семей пасек, разводящих одну или несколько разных пород медоносных пчел на территории Удмуртской Республики**

Среди гибридных вариаций наилучшие показатели отмечены у комбинации среднерусской и карпатской пород (94%), а также среднерусской, краинской и карпатской пород (92,5%). Наименьшую зимостойкость проявляют семьи с участием кавказской породы в сочетании со среднерусской (50%), что свидетельствует о

недостаточной адаптации данной гибридной комбинации к условиям зимовки в Удмуртии.

Порода бакфаст показывает относительно низкую зимостойкость (75%), что указывает на ее недостаточную приспособленность к продолжительным зимним периодам региона. Гибриды с участием бакфаста демонстрируют промежуточные показатели

зимостойкости в диапазоне 75...86%, что ниже показателей местных пород.

Полученные данные подчеркивают важность учета породных особенностей при организации зимовки пчелиных семей в условиях Удмуртской Республики. Сохранение чистопородных массивов среднерусской пчелы представляется целесообразным с точки зрения обеспечения стабильной зимовки. Использование импортированных пород требует тщательного подбора гибридных комбинаций и создания особых условий зимнего содержания. Так, большинство пчеловодов практикуют содержание пчелиных семей в зимовнике. При этом около 30% опрошенных пчеловодов предпочитают зимовку на воле, однако такой вариант дает высокую сохранность (95%) только у условно среднерусских пчел, в то время как такой вид зимовки снижает выход пчелиных семей южных и гибридных вариаций весной до 60%.

### Обсуждение

Мониторинг породного состава медоносных пчел в регионе представляет собой научно обоснованную необходимость, обусловленную комплексом экологических, генетических и экономических факторов. Прежде всего, он позволяет оценить степень сохранности аборигенных генетических ресурсов, которые являются результатом длительной адаптации к специфическим природно-климатическим условиям территории [11]. Аборигенные популяции, такие как среднерусская порода в условиях Удмуртии, обладают уникальным комплексом признаков, включая зимостойкость, устойчивость к заболеваниям и эффективное использование местного медосбора.

Систематическое отслеживание породной структуры позволяет выявить тенденции неконтролируемой гибридизации, которая может привести к утрате ценных адаптивных характеристик и генетической эрозии. Проникновение интродуцированных пород и их бесконтрольное скрещивание с местными популяциями не только снижает продуктивность пчелиных семей, но и увеличивает их уязвимость к патогенам и климатическим стрессам.

В условиях наблюдаемого во всем мире сокращения численности опылителей мониторинг породного состава становится важным инструментом обеспечения продовольственной безопасности, поскольку от сохранения генетического разнообразия медоносных пчел зависит эффективность опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур [12, 13]. Таким образом, регулярное отслеживание породной принадлежности пчелиных семей является не только научной задачей, но и практической необходимостью для устойчивого развития апикультуры в регионе. Хотелось бы отметить, что пчеловоды региона, занимающиеся пчеловодством в большом производстве (от 70 и более пчелиных семей на пасеке), занимаются разведением именно южных пород пчел, причем предпочитают крайнюю породу и бакфаст. Это обусловлено возможностью более простого содержания «южанок» – меньшая ройливость, практически полное отсутствие злобности (что

актуально при содержании пчел в черте населенных пунктов), большего охвата разных видов медоносных растений [14, 15]. Наибольшее распространение южные вариации медоносных пчел получили в центральных и южных районах Удмуртии, что в свою очередь обусловлено более подходящими природно-климатическими условиями, ландшафтом и лесным массивом местности, а также медоносной базой.

### Заключение

Проведенное исследование подтвердило ключевую роль сохранения аборигенного генофонда среднерусской породы пчел в Удмуртской Республике. Несмотря на активный завоз южных пород, местная популяция сохраняет доминирующее положение (62,9% пасек), демонстрируя превосходную адаптацию к региональным условиям. Среднерусская порода показала максимальную медопродуктивность (45,3 кг/семью) и высокую зимостойкость (92%), превосходя по этим показателям интродуцированные породы. Установлено, что гибридизация, особенно с кавказской породой, снижает продуктивность и устойчивость пчелиных семей.

Выявленная пространственная неоднородность распределения пород требует дифференцированного подхода: в северных районах приоритетом остается сохранение чистопородных массивов, тогда как в центральных и южных районах допустимо ограниченное использование адаптированных гибридов при строгом генетическом контроле. Результаты исследования подчеркивают необходимость разработки комплексной программы сохранения генетических ресурсов *Apis mellifera mellifera* через создание изолированных репродукторов и систему генетического мониторинга. Это обеспечит устойчивое развитие пчеловодства региона и сохранение уникального адаптивного потенциала аборигенной породы.

### Литература

1. Гулов А. Н., Сайфутдинова З. Н., Брандорф А. З. Биоразнообразие медоносной пчелы *Apis mellifera* L. на территории России и пути его сохранения // Генетика и разведение животных. 2022. № 4. С. 114-123.
2. Воробьева С. Л., Тронина А. С., Юдин В. М. Породное разнообразие медоносных пчел на территории Удмуртской республики // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4(68). С. 124-131. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-124-131
3. Проблемы идентификации подвидов медоносной пчелы и их решение на примере изучения *Apis mellifera* в Сибири // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 2. С. 283-303.
4. Фоменко О. Ю., Форнара М. С., Доцев А. В. Полиморфные STR маркеры как инструмент популяционно-генетических исследований медоносных пчел *APIS mellifera* L. (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 6. С. 1090-1106.
5. Assessment of economically useful traits of bee breed in the southern of Kazakhstan / R. Zh. Shimelkova, A. K. Aldiyarova, I. V. Demidova, et al. // Science and Education. 2023. No. 3-2(72). P. 214-222.

6. Клочкова Г. А., Луцук С. Н., Червяков Д. Э. Анализ зараженности медоносных пчел некоторых пород варроатозом в Ставропольском крае // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2024. № 2(62). С. 31-36.

7. Характеристика хозяйственных и биологических признаков пакетных пчел разных пород и их медопроductивность / К. Н. Самойлов, Н. М. Губайдуллин, М. Г. Гиниятуллин и др. // Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2024. № 2(7). С. 297-305.

8. Поведенческие реакции среднерусской породы пчел в период медосбора на территории Удмуртской Республики / С. Л. Воробьева, А. С. Тронина, В. М. Юдин и др. // Пермский аграрный вестник. 2024. № 4(48). С. 62-66.

9. Бакай Ф. Р., Кривикова А. Н., Ульянич Д. А. Использование пчел среднерусской породы в Московской области // Интернаука. 2021. № 40-2(216). С. 22-24.

10. Березин А. С. Сравнение пород пчел по пораженности заболеваниями // Пчеловодство. 2021. № 10. С. 29-31.

11. Морфометрические показатели медоносных пчел разных пород на территории Удмуртской Республики / С. Л. Воробьева, А. С. Тронина, В. М. Юдин и др. // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 12. С. 1684-1693.

12. Бородачев А. В., Савушкина А. В. Изучение и сохранение биоразнообразия медоносных пчел в России // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2023. Т. 61. № 4. С. 291-304.

13. Beekeeping Genetic Resources and Retrieval of Honey Bee *Apis mellifera* L. Stock in the Russian Federation: A Review / O. Frunze, A. Brandorf, E.J. Kang, et al. // Insects. 2021 Jul 29. Vol. 12(8). P. 684.

14. Морева Л. Я., Морев И. А., Осин Ф. Д. Изменчивость признаков пчел разных пород на юге России // Пчеловодство. 2025. № 5. С. 14-17.

15. Ключева В. Н. Зимостойкость разных пород пчел // Проблемы и перспективы развития науки и образования: Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция. Тверь, 13 февраля 2024 года. Тверь: ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА». 2024. С. 132-133.

16. Василенко Н. П., Матющенко А. В. Сравнительная характеристика некоторых пород пчел // Пчеловодство. 2021. № 6. С. 39-41.

#### References

1. Gulov A. N., Saifutdinova Z. N., Brandorf A. Z. Biodiversity of the honey bee *Apis mellifera* L. in Russia and ways of its conservation // Genetics and animal breeding. 2022. No. 4. P. 114-123.

2. Vorobyova S. L., Tronina A. S., Yudin V. M. Breed diversity of honey bees in the Udmurt Republic // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 4(68). pp. 124-131. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-124-131 3.

Ostroverkhova N. V., Konusova O. L. Some problems of identification of honey bee subspecies and their solution using the example of studying *Apis mellifera* in Siberia // Agricultural Biology. 2022. Vol. 57. No. 2. P. 283-303.

4. Fomenko O. Yu., Fornara M. S., Dotsev A. V. Polymorphic STR markers as a tool for population genetic studies of honey bees *APIS mellifera* L. (review) // Agricultural Biology. 2020. Vol. 55. No. 6. P. 1090-1106.

5. Assessment of economically useful traits of bee breed in the southern of Kazakhstan / R. Zh. Shimelkova, A. K. Aldiyarova, I. V. Demidova, et al. // Science and Education. 2023. No. 3-2 (72). P. 214-222.

6. Klochko G. A., Lutsuk S. N., Chervyakov D. E. Analysis of varroaosis infection of honey bees of some breeds in Stavropol Krai // Current issues in veterinary biology. 2024. No. 2 (62). P. 31-36.

7. Characteristics of economic and biological traits of package bees of different breeds and their honey productivity / K. N. Samoilov, N. M. Gubaydullin, M. G. Giniyatullin, et al. // Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary science and animal husbandry. 2024. No. 2 (7). P. 297-305.

8. Behavioral reactions of the Central Russian bee breed during the honey flow period in the Udmurt Republic / S. L. Vorobyova, A. S. Tronina, V. M. Yudin, et al. // Perm Agrarian Bulletin. 2024. No. 4 (48). P. 62-66.

9. Bakai F. R., Krovikova A. N., Ulyanich D. A. Use of bees of the Central Russian breed in the Moscow region // Internauka. 2021. No. 40-2 (216). P. 22-24.

10. Berezina A. S. Comparison of bee breeds by disease incidence // Beekeeping. 2021. No. 10. P. 29-31.

11. Morphometric indicators of honey bees of different breeds in the Udmurt Republic / S. L. Vorobyova, A. S. Tronina, V. M. Yudin, et al. // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24. No. 12. P. 1684-1693.

12. Borodachev A. V., Savushkina A. V. Study and conservation of honey bee biodiversity in Russia // Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Gray Agrarian Sciences. 2023. Vol. 61. No. 4. P. 291-304.

13. Beekeeping Genetic Resources and Retrieval of Honey Bee *Apis mellifera* L. Stock in the Russian Federation: A Review / O. Frunze, A. Brandorf, E.J. Kang, et al. // Insects. 2021 Jul 29. Vol. 12(8). P. 684.

14. Moreva L. Ya., Morev I. A., Osin F. D. Variability of Traits of Different Bee Breeds in the South of Russia // Beekeeping. 2025. No. 5. P. 14-17.

15. Klyueva V. N. Winter Hardiness of Different Bee Breeds // Problems and Prospects of Science and Education Development: All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. Tver, February 13, 2024. Tver: FSBEI HE "Tver State Agricultural Academy". 2024. P. 132-133.

16. Vasilenko N. P., Matyushchenko A. V. Comparative characteristics of some bee breeds // Beekeeping. 2021. No. 6. P. 39-41.



**Мясная продуктивность перепелов при применении кормовой добавки «Биогерм»****О. В. Чепуштанова**<sup>1✉</sup>, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Зооинженерия»**Н. Н. Шляхтина**<sup>1</sup>, аспирант<sup>1</sup>Уральский государственный аграрный университет

620000, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, д. 42,

✉chepushtanova-ov@list.ru

**Резюме.** Исследования проводили с целью определения мясной продуктивности перепелов техасской белой породы при применении кормовой добавки «Биогерм». Для проведения опыта было отобрано по 50 голов перепелов суточного возраста в две группы. Перепелам опытной группы 3% основного рациона заменили на кормовую добавку «Биогерм» в период исследования 45 дней. Использование «Биогерм» взамен основного рациона кормления перепелов в течение всего периода откорма, способствует достоверному увеличению живой массы на 8% ( $p < 0,05$ ), абсолютного на 8,15% ( $p < 0,01$ ) и среднесуточного прироста на 8,0%, при снижении коэффициента конверсии корма на 0,3 кг, и увеличении оплаты корма приростом на 12,6%, при снижении среднесуточного потребления корма на 3,85%. Получено увеличение кратности роста перепелов опытной группы в 1,08 раз. Доказана достоверная 7,27% сила влияния кормовой добавки «Биогерм» на откормочные качества перепелов и установлено уравнение степенной регрессии изменения относительной живой массы в конце откорма и в суточном возрасте в контрольной группе  $y = 2,839x^{1,400}$ , в опытной группе  $y = 3,216x^{1,363}$ . Применение кормовой добавки «Биогерм» способствует увеличению сохранности перепелов на 4%. Установлено достоверное влияние кормовой добавки на увеличение массы потрошеной тушки перепелов на 12,4% ( $p < 0,05$ ), убойного выхода тушки на 2,89%, выхода грудных мышц на 1,65% и выхода ножных мышц на 0,55%. При проведении дегустационной оценки установлено, что использование кормовой добавки «Биогерм» улучшает органолептические показатели мяса и бульона, без достоверной разницы. Получены данные по увеличению прибыли от реализации мяса перепелов в 1,7 раз, что подтверждает эффективность замены 3% рациона перепелов кормовой добавкой «Биогерм» в течение 45 дней откорма.

**Ключевые слова:** перепел, откорм, биогерм, сохранность, конверсия корма, сила влияния.

**Для цитирования:** Чепуштанова О.В., Шляхтина Н.Н. Откормочная и мясная продуктивность перепелов при применении кормовой добавки «Биогерм» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 173-179. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-173-179

**Meat productivity of quail fed with the Biogerm feed additive****O. V. Chepushtanova**<sup>✉</sup>, **N. N. Shlyakhtina**

1Ural State Agrarian University

620000, Sverdlovsk Region, Yekaterinburg, St. Karla Liebknechta, 42

✉chepushtanova-ov@list.ru

**Abstract.** The study was conducted to determine the meat productivity of Texas White quail fed with the Biogerm feed additive. Fifty day-old quail were divided into two groups for the experiment. For the quail in the experimental group, 3% of their basic diet was replaced with the Biogerm feed additive over a 45-day study period. It was established that the use of "Biogerm" instead of the main diet for feeding quails during the entire fattening period contributes to a reliable increase in live weight by 8% ( $p < 0.05$ ), absolute by 8.15% ( $p < 0.01$ ) and average daily gain by 8.0%, with a decrease in the feed conversion ratio by 0.3 kg, and an increase in feed payment by 12.6%, with a decrease in average daily feed consumption by 3.85%. An increase in the growth rate of quails in the experimental group by 1.08 times was obtained. A reliable 7.27% effect of the Biogerm feed additive on the fattening qualities of quails was proven, and an equation of the power regression of the change in the relative live weight at the end of fattening and at the daily age in the control group  $y = 2.839x^{1.400}$ , in the experimental group  $y = 3.216x^{1.363}$ . The use of the Biogerm feed additive contributes to an increase in the survivability of quails by 4%. A reliable effect of the feed additive on an increase in the gutted carcass weight of quails by 12.4% ( $p < 0.05$ ), slaughter yield of carcass by 2.89%, yield of breast muscles by 1.65% and yield of leg muscles by 0.55% was established. During the tasting evaluation, it was established that the use of the Biogerm feed additive improves the organoleptic properties of meat and broth, without a reliable difference. Data showing a 1.7-fold increase in profits from quail meat sales confirms the effectiveness of replacing 3% of the quail diet with the Biogerm feed additive during the 45-day fattening period.

**Keywords:** quail, fattening, Biogerm, livability, feed conversion, impact.

**For citation:** Chepushtanova O. V., Shlyakhtina N. N. Meat productivity of quail fed with the Biogerm feed additive // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 173-179 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-173-179

### Введение

Популярность разведения перепелов в частных подворьях и фермерских хозяйствах обусловлена простотой организации фермы и быстрым циклом воспроизводства.

Современный потребительский рынок обладает рядом особенностей особенно в отношении продукции птицеводства. За последние 30 лет население нашей страны привыкло получать качественную мясную и яичную продукцию птицеводства по доступной цене. Разведение перепелов относительно выращивания другого вида сельскохозяйственной птицы в целом довольно молодая отрасль, особенно для Российской Федерации. Это птицеводческое направление довольно активно развивается в настоящий момент, и в основном сосредоточено оно в «руках» небольших фермерских хозяйств и частных подворий. Интенсивность развития этого направления обусловлена биологическими особенностями птицы и качественными показателями продукции, получаемой от перепелов [1]. Как известно, мясо и яйца перепелов относятся к диетическим видам продуктов. Зачастую и яйцо, и мясо подходят для питания людей, страдающих различными аллергиями, расстройствами пищевого поведения, нарушениями работы желудочно-кишечного тракта, сердечнососудистой системы и т.д. [2]. При производстве продукции перепеловодства используют различные технологические приемы, в том числе скормливают различные кормовые добавки [3, 4, 5].

Еще одним фактором популяризации производства продукции перепеловодства можно считать вопрос экологии. Биологически перепела имеют очень сильный иммунитет, и подвержены воздействию крайне небольшого количества заболеваний, которые характерны для других видов сельскохозяйственных птиц. Это позволяет не использовать совсем, или в незначительных количествах различных не самых безопасных ветеринарных препаратов. И общая экологическая обстановка по всему миру диктует, что продукция питания для конечного потребителя должна быть более чистой и не иметь в своем составе вредных, токсичных веществ и компонентов [6, 7].

Перепелиное мясо и яйца входят в список безопасных и полезных продуктов питания, которые также характеризуются полноценностью по химическому составу. Известно, что именно мясо и яйца этого вида сельскохозяйственной птицы занимают лидирующие позиции по содержанию в них полноценных аминокислот, витаминов и минералов. А в работах Кощаевой О.В. указывается, что мясо и яйца перепелов обладают уникальным соотношением углеводов, жиров, белков и других веществ. В связи с этими качествами, становится очевидно, что перепелиная продукция является идеальной для человеческого питания [8].

Применение белковых кормовых добавок различного происхождения обеспечивает повышение

показателей продуктивности и сохранности животных и птицы, тем самым снижает себестоимость готовой продукции [9, 10]. Кормовые добавки, полученные в результате обработки зерна, из зародышей пшеницы, обладают стимулирующим эффектом и усиливают обмен веществ, повышает продуктивность и состояние здоровья птицы [11, 12, 13].

Цель исследования – изучение влияния скормливания в рационах перепелов тexasской белой породы кормовой добавки «Биогерм» на показатели роста, мясную продуктивность и конверсию корма.

### Материалы и методы

Для проведения исследований использовали кормовую добавку «Биогерм» взамен 3% от массы рациона.

«Биогерм» представляет собой муку зародыша пшеницы, желтоватого цвета, полученную в результате технологической обработки зерна. Из тонны пшеницы получают до килограмма зародыша. Зародыш пшеницы – концентрированный источник питательных веществ необходимый для зарождения жизни. По данным производителя в 100 г «Биогерма» содержится 32 г сырого протеина, 7,3 г сырого жира, 4,95 г сырой золы, до 13,8 МДж обменной энергии [14].

Исследование проведено в условиях крестьянского фермерского хозяйства. Методом аналогов было создано две группы перепелов тexasской белой породы по 50 гол. в каждой, в суточном возрасте. Птице контрольной группы скормливали комбикорм согласно рекомендуемым нормам в количестве 4...25 г на голову в сутки, опытной группы – 3% комбикорма заменили на кормовую добавку «Биогерм». Кормовую добавку смешивали с комбикормом. Потребление корма изучали по результатам взвешивания.

Птицу содержали в одинаковых условиях, в брудерах и клеточных батареях, при соблюдении параметров микроклимата. Продолжительность опыта 45 суток.

Мясную продуктивность перепелов определяли по живой массе, абсолютному и среднесуточному приросту живой массы, кратности роста, по результатам контрольного убоя, с проведением дегустационной оценки мяса и бульона.

Дегустационную оценку мяса и бульона проводили в соответствии с ГОСТ 9959-2015 по -9 балльной шкале.

Экономическую эффективность определяли с учетом стоимости затрат на кормовую добавку в ценах 2022 г.

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики с применением компьютерной программы Microsoft Excel (Биометрические методы в животноводстве: учебное пособие / К. Д. Фархутдинов, А. Р. Фаррахов, Е. В. Иванов и др. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2023. 101 с. ).

**Результаты**

Применение кормовой добавки «Биогерм» способствует увеличению живой массы, при снижении затрат кормов на единицу продукции (табл.1)

**Таблица 1. Откормочная продуктивность перепелов, М±m**

Показатель	Группа		± к контролю
	контрольная	опытная	
Средняя живая масса в начале опыта, г	9,5±0,12	9,5±0,15	-
Средняя живая масса в конце опыта, г	369,1±9,6	398,5±9,8*	+29,4
Продолжительность опыта, дней	45	45	-
Кормодни, дней	2126	2174	+48
Абсолютный прирост живой массы, г	359,7±8,33	389,0±7,07**	+29,32
Среднесуточный прирост живой массы, г	8,00±0,19	8,64±0,16	+0,64
Коэффициент конверсия корма, кг	3,3	3,0	-0,3
Оплата корма приростом, г	302	340	+38
Среднесуточное потребление комбикорма на голову, г	26	25	-1
Сохранность, %	92	96	+4

Примечание здесь и далее: достоверность на уровне значимости \*-p<0,05; \*\*-p<0,01.

В начале опыта средняя живая масса перепелят обеих групп была 9,5±0,12...9,5±0,15 г однако к концу периода выращивания в опытной группе она достоверно увеличилась на 29,4 г (p<0,05). Абсолютный прирост живой массы птицы опытной группы был достоверно больше, чем в опытной группе на 8,15%. Среднесуточный прирост живой массы в опытной группе имел тенденцию к увеличению на 0,64 г ежедневно.

Применение кормовой добавки «Биогерм» способствовало большей усвояемости и переваримости питательных веществ рациона и более эффективному использованию корма, и коэффициент конверсии корма у птицы опытной группы снизился на 0,3 кг.

Оплата корма приростом на 38 г была выше в опытной группе, по сравнению с контрольной, что говорит о снижении количества потребляемого корма на единицу прироста.

Сохранность перепелов опытной группы составила 92%, опытной группы – 96%.

Коэффициент роста перепелов показывает, во сколько раз живая масса увеличивается, относительно массы в суточном возрасте (табл.2).

Кратность роста опытной птицы с возрастом увеличивалась, начиная с первой недели откорма. Через 7 дней откорма кратность роста в опытной группе была на 0,52 раза больше контрольного значения; через 14 дней на – 0,27 раза (p<0,05), через 21 день – на 1,10 раза (p<0,001), через 28 дней – на 1,26 раза (p<0,01), через 35 дней – на 1,86 раза (p<0,001), через 42 дней – на 2,84 раза (p<0,001). Так за период опыта

живая масса перепелят опытной группы увеличивалась в 42 раза, в то время как у птицы контрольной группы – в 39 раз при достоверной разнице p<0,01.

**Таблица 2. Коэффициент роста перепелов**

Период	Группа		± к контролю
	контрольная	опытная	
За 7 дней	2,77±0,05	3,29±0,05	+0,52
За 14 дней	7,34±0,15	7,61±0,09*	+0,27
За 21 день	13,57±0,29	14,67±0,23***	+1,10
За 28 дней	20,92±0,28	22,18±0,40**	+1,26
За 35 дней	28,41±0,64	30,27±0,58**	+1,86
За 42 дня	35,63±0,49	38,47±0,73***	+2,84
За 45 дней	38,85±1,13	41,94±0,96**	+3,09

Красность роста перепелов изменялась относительно живой массы в суточном возрасте согласно уравнению степенной регрессии при высоком коэффициенте аппроксимации R<sup>2</sup>=0,996 в контрольной группе y = 2,839x1,400, в опытной группе y = 3,216x1,363.

Сила влияния кормовой добавки Биогерм достоверна, но малозначима, так влияние на живую массу в конце периода откорма составляет 7,27% и достоверна на уровне статистической значимости p<0,0086, выборочный показатель силы влияния 0,073±0,010; на коэффициент роста – 5,96% и достоверна на уровне статистической значимости p<0,0177, выборочный показатель силы влияния 0,060±0,010.

Таким образом, перепелята, потреблявшие кормовую добавку «Биогерм», росли более интенсивнее.

Мясные качества перепелов определяли путем анатомической разделки тушки по следующим показателям: предубойная масса птицы, масса потрошенной тушки, убойный выход и выход грудных и ножных мышц (табл.3).

**Таблица 3. Показатели мясной продуктивности перепелов**

Показатель	Группа		± к контролю
	контрольная	опытная	
Живая масса птицы перед убоем, г	369,1±9,6	398,5±9,8*	+29,4
Масса потрошенной тушки, г	259,1±2,8	291,3±3,2*	+32,2
Убойный выход, %	70,20	73,09	+2,89
Выход грудных мышц, %	29,05	30,70	+1,65
Выход ножных мышц, %	18,55	19,10	+0,55

Результаты анатомической разделки показали, что масса потрошенной тушки перепелов опытной группы была на 32,19 г или 12,4% больше, чем в контрольной группе и составила 398,46±9,8 г (p<0,05).

Убойный выход мяса перепелов опытной группы был больше, чем в контрольной на 2,82% и составил 73,09% без достоверных отличий.

Результаты разделки и обвалки тушки показали, что применение «Биогерма» способствовало увеличению массы грудных и ножных мышц на 1,65% и 0,55%. Мясная продуктивность перепелов увеличивается в результате замены 3% комбикорма на «Биогерм».

Дегустационная оценка бульона и мяса (белого и красного) показали, что все показатели соответствовали доброкачественному продукту.

Дегустация красного и белого мяса, полученного от перепелов, получавших «Биогерм», показала более высокие оценки по следующим показателям: запаху, вкусу, сочности и общей оценке, чем мясо перепелов контрольной группы, хотя и не отличались достоверно от аналогов (рис.1,2). Общая дегустационная оценка красного мяса контрольной и опытной группы была  $7,73 \pm 0,11$  и  $7,87 \pm 0,13$  балла (рис.1), белого мяса –  $7,65 \pm 0,11$  и  $7,75 \pm 0,16$  балла (рис.2).

Бульон, приготовленный на основе мяса перепелов опытной группы, обладал выраженным ароматом и вкусом, был более наварист. Общая оценка мясного бульона контрольной и опытной группы была  $7,82 \pm 0,09$  и  $8,00 \pm 0,13$  балла, но без достоверных отличий (рис. 3).

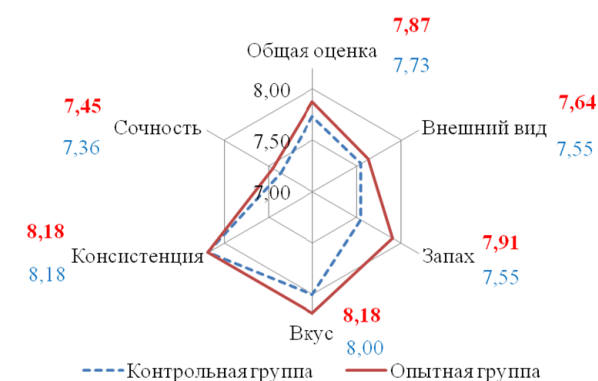


Рис. 1. Балльная оценка красного мяса перепелов

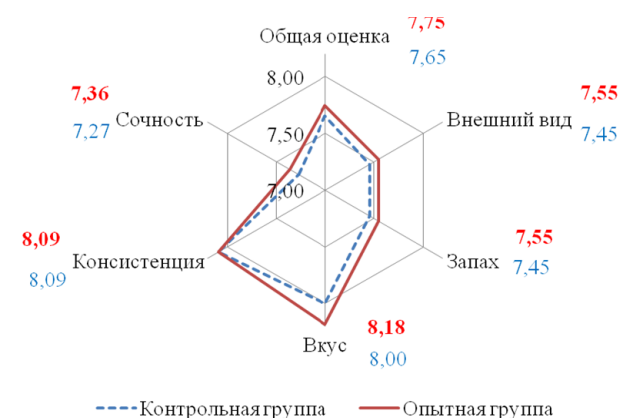


Рис. 2. Балльная оценка белого мяса перепелов

В результате дегустационной оценки мяса и бульона отмечается тенденции увеличения качественных показателей при применении кормовой добавки «Биогерм».

При расчете экономической эффективности выращивания перепелов учитывали такие показатели

как валовое производство мяса, выход мяса, затраты на корма, сохранность. На основе полученных данных рассчитали стоимость израсходованного корма, затраты на содержание перепелов (табл.4).

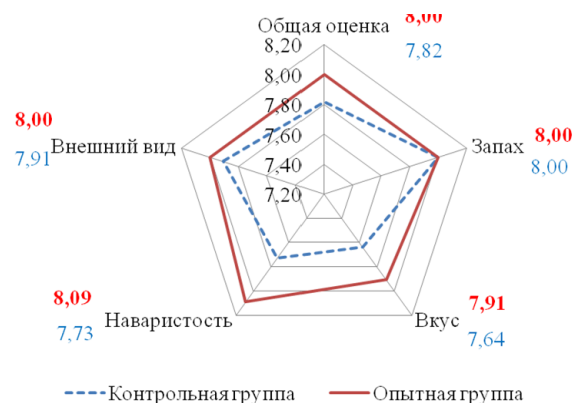


Рис. 3. Балльная оценка качества бульона

Таблица 4. Экономическая эффективность выращивания перепелов при использовании кормовой добавки «Биогерм»

Показатель	Группа		±к контролю
	контрольная	опытная	
Валовое производство мяса в живой массе, кг	16,99	19,13	+2,14
Убойный выход, %	70,20	73,09	+2,89
Выход мяса птицы, кг	11,93	13,98	+2,05
Стоимость израсходованного корма, руб.	1943,79	2005,54	+61,75
Затраты на содержание перепелов (30% затраты на корма), руб.	6479,30	6685,12	+205,82
Выручка от реализации мяса перепелов при цене реализации 700 руб. за 1 кг, руб.	8351,00	9786,00	+1435
Прибыль от реализации мяса перепелов, руб.	1871,69	3100,88	+1229,19
Уровень рентабельности, %	28,89	46,38	+17,49

Валовое производство мяса перепелов опытной группы увеличено на 2,14 кг, убойный выход увеличен на 2,89%, выход мяса птицы на 2,05 кг. Стоимость израсходованного корма вместе с кормовой добавкой при цене ее реализации 60 руб. за 1 кг, в опытной группе увеличивается на 61,75 руб., что приводит к увеличению затрат на содержание опытных перепелов на 205,82 руб.

Однако выручка от реализации мяса опытной птицы увеличивается в денежном выражении на 1435 руб., при цене реализации мяса перепелов 700 руб., в то время как прибыль от реализации мяса перепелов опытной группы увеличивается на 1229,19 руб.

Себестоимость мяса перепелов в контрольной группе составила 543,11 руб., в опытной группе – 478,19 руб., что снижено на 64,92 руб.

Уровень рентабельности производства мяса перепелов опытной группы увеличивается на 17,49% по сравнению с контролем, что подтверждает

экономическую целесообразность применения кормовой добавки «Биогерм».

### Обсуждение

Применение белковых кормовых добавок растительного происхождения в рационах кормления птицы осуществляется для восполнения недостатка протеина [15, 16]. Подобные добавки из-за их высокой стоимости могут влиять на себестоимость конечной продукции.

«Биогерм» – это натуральная кормовая добавка, получена по специальной технологии из «спящего» зародыша пшеницы, с высоким содержанием обменной энергии до 13,8 МДж, содержанием 32% протеина, 5% золы, витаминов, аминокислот и полиненасыщенных жирных кислот. Механизм действия кормовой добавок, полученных на основе зародыша пшеницы, обусловлен компонентами, входящими в ее состав, обеспечивает рационы кормления обменной энергией, питательными веществами, направлен на нормализацию обменных процессов и стимулирует рост животных и птицы, обладает антиоксидантным, иммуномодулирующим действием, тем самым активизирует работы организма в целом.

Выбор дозировки обусловлен рекомендациями производителя и ранее проведенными исследованиями в пределах 3-5% взамен основного рациона [17, 18].

В доступной для анализа литературе, не встречаются исследования по применению этой добавки на такой сельскохозяйственной птице, как перепел, обладающий определенными биологическими особенностями по сравнению с другими видами птицы. Нами изучено влияние кормовой добавки «Биогерм» на откормочную и мясную продуктивность перепелов породы техасский белый, отличающихся наибольшей скоростью роста от других пород перепела. Рассчитано уравнение степенной регрессии при высоком коэффициенте аппроксимации изменения кратности роста подопытных перепелов относительной живой массы в суточном возрасте, определена сила влияния «Биогерм» на откормочные качества перепелов, рассчитана экономическая эффективность применения кормовой добавки.

В проведенных нами исследованиях, установлено, что использование «Биогерм» увеличивает абсолютный и среднесуточный прирост живой массы перепелов к 45 дню откорма на 8,15 и 8,0% соответственно по сравнению с контролем. Коэффициент конверсии корма снижается на 0,3 кг, при этом оплата корма приростом увеличивается на 12,6%, среднесуточное потребление корма снижается на 3,85%. Коэффициент роста перепелов опытной группы был на 1,08 раза выше, чем в контрольной и составил почти 42 единицы. Сила влияния кормовой добавки на откормочные качества достоверна, хоть и малозначима до 7,27%. Результаты применения «Биогерм» показали, что сохранность поголовья перепелов увеличивается на 4%. Нами установлено существенное влияние кормовой добавки на массу

потрошеной тушки перепелов, убойный выход тушки, на выход грудных и ножных мышц.

При проведении дегустационной оценки установлено, что использование кормовой добавки «Биогерм» улучшает органолептические показатели мяса и бульона, без достоверной разницы. Экономический эффект от применения кормовой добавки составляет 1229,19 руб. и подтверждает целесообразность замены 3% рациона перепелов кормовой добавкой «Биогерм» в течение 45 дней откорма.

### Заключение

На основании проведенных исследований установлено влияние кормовой добавки «Биогерм» не только на показатели продуктивности перепелов, сопровождающиеся увеличением скорости роста на 8%, снижением коэффициента конверсии корма на 9%, увеличением оплаты корма приростом на 12,5%, увеличением сохранности на 4%, увеличением массы потрошеной тушки перепелов на 12,4%, убойного выхода тушки на 2,89%, выхода грудных и ножных мышц на 1,65 и 0,55%, но и на вкусовые качества мяса и бульона на 0,10...0,18 балла, и экономическую эффективность за счет увеличения прибыли от реализации мяса перепелов в 1,7 раза. С целью сокращения затрат на комбикорма, увеличения живой массы перепелов и выхода тушки рекомендуется в период выращивания перепелов породы Техасский белый до 45 дней заменять 3% основного рациона на кормовую добавку «Биогерм» отечественного производства.

### Литература

1. Дурейко Р. Э. Современные тенденции в повышении эффективности выращивания перепелов на яйцо и мясо // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК. 2016. С. 188-189. EDN: ZGKZIZ
2. Конате С., Тишенков ПИ. Влияние кормовой добавки «Биогерм» на яичную продуктивность кур-несушек // Зоотехния. 2022. № 3. С. 20-22. doi: 10.25708/ZT.2022.98.85.006. EDN: NAIKKY
3. Василевич Ф. И., Шевкопляс В. Н., Бачинская Б. М. Получение биологически полноценной продукции перепеловодства при применении белковых гидролизатов // Международный вестник ветеринарии. 2019. № 4. С. 111-117. – EDN IJLME.
4. Герцен М. А., Коршева И. А. Эффективность выращивания перепелов на мясо // Достижения науки и образования. 2018. №8 (30). С. 48-49. EDN: XRTGXR
5. Голубов И. И., Варешкин И. В. Влияние динамики прироста живой массы перепелов на экономику производства // Международный научный журнал. 2019. № 6. С. 45-55. EDN: EMQYQP
6. Клетикова Л. В., Пономарев В. А., Якименко Н. Н. Применение экологических биостимуляторов при выращивании перепелов // Птицеводство. 2020. № 11. С. 28-31. DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-11-28-31. EDN: DFQDFJ Коровин С. П., Романенко Ю. И., Макарова Н. В. Факторы роста производства мяса перепелов // Птица и птицепродукты. 2019. №3. С.56-58.

DOI: 10.30975/2073-4999-2019-21-3-56-58. — EDN: ZNGKUT

7. Влияние способа выращивания и кормления с применением кормовой добавки на организм перепелов / А. Г. Кошчаев, А. В. Лунева, К. Н. Муртазаев и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 90. С. 104-112. doi: 10.21515/1999-1703-90-104-112. EDN HMOOOZ.

8. Vanga K. Maggot meal - good feed for growing quail // Our Knowledge Publishing, 2023. 60 p.

9. Заслонов А. С. Эффективность гермивита при нарушении минерального обмена у молодняка гусей // Аграрный вестник Урала. 2009. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-germivita-pri-narushenii-mineralnogo-obmena-u-molodnyaka-gusey> (дата обращения: 28.07.2024).

10. Ильясов Р. И. Влияние растительной кормовой добавки на организм гусей // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник статей по материалам II научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Краснодар, 20 марта 2016 года. Ответственный за выпуск А. А. Нестеренко. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. С. 189-193. EDN VVKSAT.

11. Применение кормовых добавок природного происхождения в животноводстве / И. А. Рубинский, Е. В. Печура, Д. Ф. Ибишов и др. // БИО. – 2021. № 7(250). С. 20-23. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46493636> (дата обращения 31.07.2024). EDN PPXVQS.

12. Рубинский И. А., Ибишов Д. Ф. Мука зародышей пшеницы и молочная продуктивность крупного рогатого скота // БИО. 2018. № 7(214). С. 36-37. EDN YXAXOI.

13. Состояние минерального обмена у телят раннего возраста под влиянием витадаптина / Л. Ю. Топурия, Г. М. Топурия, И. М. Донник, и др. // Аграрный вестник Урала. 2017. № 11(165). С. 8. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37307645> (дата обращения 31.07.2024). EDN YMDFVM.

14. Тищенко П. И., Конате С. Влияние кормовой добавки «Биогерм» на показатели качества яиц и сохранность кур-несушек // В сборнике: От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК. 2022. С. 134-137. EDN: GNAJCN

15. Динамика живой массы и мясная продуктивность перепелов при дополнении рациона кормления личинками мухи Черная львинка / Р. М. Папаев, А. М. Ежкова, А. И. Гирфанов и др. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2022. Т. 252. № 4. С. 186-190. doi: 10.31588/2413\_4201\_1883\_4\_252\_186. EDN DSHTDU.

16. Трушкин В. А. Опыт выращивания перепелов с использованием кормовых добавок // В сборнике: Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство. Материалы III Всероссийской (национальной)

научно-практической конференции, посвященной 70-летию Красноярского государственного аграрного университета. Красноярск. 2023. С. 170-172. — EDN: OKXIHJ

17. Тищенко П. И. Саран К., Быков Д. В. Влияние добавки «Биогерм» на показатели крови кур-несушек // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 67-69. doi: 10.28983/asj.y2022i5pp67-69

18. Тищенко П. И., Саран К., Быков Д. В. Белковая кормовая добавка на основе зародышей пшеницы в кормлении кур-несушек // В сборнике: Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения. Сборник трудов научно-практической конференции. Под общей редакцией С. В. Позябина, Л. А. Гнездиловой. Москва. 2022. С. 462-463. EDN: KVTRYZ

#### References

1. Dureiko R. E. Current trends in improving the efficiency of quail farming for eggs and meat // The role of young scientists in solving current problems of the agro-industrial complex. 2016. P. 188-189. EDN: ZGKZIZ

2. Konate S., Tishenkov P. I. The influence of the feed additive "Biogerm" on the egg productivity of laying hens // Zootechnics. 2022. No. 3. P. 20-22. doi: 10.25708/ZT.2022.98.85.006. EDN: NAIKKY

3. Vasilevich F. I., Shevkoplyas V. N., Bachinskaya B. M. Obtaining biologically complete quail products using protein hydrolysates // International Bulletin of Veterinary Medicine. 2019. No. 4. P. 111-117. EDN IJLME.

4. Gertsen M. A., Korsheva I. A. Efficiency of growing quail for meat // Achievements of science and education. 2018. No. 8 (30). P. 48-49. EDN: XRTGXR

5. Golubov I. I., Vareshkin I. V. Influence of the dynamics of live weight gain of quail on the economics of production // International scientific journal. 2019. No. 6. P. 45-55. EDN: EMQYQP

6. Kletikova L. V., Ponomarev V. A., Yakimenko N. N. Use of environmentally friendly biostimulants in quail cultivation // Poultry farming. 2020. No. 11. P. 28-31. DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-11-28-31. EDN: DFQDFJ Korovina S. P., Romanenko Yu. I., Makarova N. V. Factors in the growth of quail meat production // Bird and poultry products. 2019. No. 3. pp. 56-58. doi: 10.30975/2073-4999-2019-21-3-56-58. EDN: ZNGKUT

7. The influence of the method of growing and feeding with the use of a feed additive on the body of quails / A. G. Koshchaev, A. V. Luneva, K. N. Murtazaev, et al. // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 90. P. 104-112. doi: 10.21515/1999-1703-90-104-112. EDN HMOOOZ.

8. Vanga K. Maggot meal - good feed for growing quail // Our Knowledge Publishing, 2023. 60 p.

9. Zaslonov A. S. Efficiency of Germivita in Mineral Metabolism Disorders in Young Geese // Agrarian Bulletin of the Urals. 2009. No. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-germivita-pri-narushenii-mineralnogo-obmena-u-molodnyaka-gusey> (accessed: 28.07.2024).

10. Ilyasov R. I. The effect of a plant-based feed additive on the body of geese // Modern aspects of production and processing of agricultural products: Collection of articles based on the materials of the II scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, Krasnodar, March 20, 2016. Responsible for the release A. A. Nesterenko. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2016. Pp. 189-193. EDN VVKSAT.
11. Use of natural feed additives in animal husbandry / I. A. Rubinsky, E. V. Pechura, D. F. Ibishov, et al. // BIO. - 2021. No. 7 (250). Pp. 20-23. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46493636> (accessed 31.07.2024). EDN PPXVQS.
12. Rubinsky I. A., Ibishov D. F. Wheat germ flour and milk productivity of cattle // BIO. 2018. No. 7 (214). P. 36-37. EDN YXAXOI.
13. The state of mineral metabolism in young calves under the influence of vitadaplin / L. Yu. Topuria, G. M. Topuria, I. M. Donnik, et al. // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 11 (165). P. 8. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37307645> (date of access 31.07.2024). EDN YMDFVM.
14. Tishenkov P. I., Konate S. Effect of the feed additive "Biogerm" on egg quality indicators and livability of laying hens // In the collection: From modernization to advanced development: ensuring competitiveness and scientific leadership of the agro-industrial complex. 2022. P. 134-137. EDN: GNAJCN
15. Dynamics of live weight and meat productivity of quails when supplementing the diet with black soldier fly larvae / R. M. Papaev, A. M. Ezhkova, A. I. Girfanov, et al. // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2022. Vol. 252. No. 4. P. 186-190. doi: 10.31588/2413\_4201\_1883\_4\_252\_186. EDN DSHTDU.
16. Trushkin V. A. Experience in growing quails using feed additives // In the collection: Game and fish resources: use and reproduction. Proceedings of the III All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University. Krasnoyarsk. 2023. P. 170-172. – EDN: OKXIHJ
17. Tishenkov P. I., Saran K., Bykov D. V. Effect of the Biogerm additive on blood parameters of laying hens // Agrarian scientific journal. 2022. No. 5. Pp. 67-69. doi: 10.28983/asj.y2022i5pp67-69
18. Tishenkov P. I., Saran K., Bykov D. V. Protein feed additive based on wheat germ in feeding laying hens // In the collection: Actual problems of veterinary medicine, animal science, biotechnology and examination of raw materials and products of animal origin. Collection of papers of the scientific and practical conference. General editors: S. V. Pozyabin, L. A. Gnezdilova. Moscow. 2022. P. 462-463. EDN: KVTRYZ

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных  
(сельскохозяйственные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-180-186

УДК 636.2.034

**Генетический потенциал симментальской породы, разводимой в Нижнем Поволжье**

**Е.Р. Гостева**<sup>✉</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, осуществляющий научное руководство отделом животноводства

**В.А. Дунина**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела животноводства  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»

410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7

<sup>✉</sup>ekagosteva@yandex.ru

**Резюме.** За пятилетний период представлен анализ по численности и продуктивности симментальской породы в разрезе со средними показателями Российской Федерации (РФ) и Приволжскому федеральному округу (ПФО). Использованы данные за период с 2019-2023 гг. по материалам Ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах РФ. Были рассчитаны коэффициенты изменчивости поголовья (КИП), тыс. гол. и коров, тыс. гол., которые позволили оценить тенденцию по изменению численности поголовья. За анализируемый период в РФ, ПФО и Саратовской области коэффициент изменчивости поголовья симментальской породы и поголовья коров был отрицательным и составлял КИП<sub>в</sub> (-0,032) и КИП<sub>к</sub> (-0,017); КИП<sub>в</sub> (-0,010) и КИП<sub>к</sub> (-0,005); КИП<sub>в</sub> (от - 0,006 до - 0,0001) и КИП<sub>к</sub> (от - 0,006 до -0,0001), и только в Республике Мордовия складывается незначительная положительная динамика КИП<sub>в</sub> (0,0001) и КИП<sub>к</sub> (0,00001). В РФ удой коров симментальской породы составлял в 2023 г. и в среднем за последние пять лет: 6089 и 5611,4 кг, в ПФО – 5646 и 5225,8 кг, Саратовской области – 5776 и 5292,4 кг, а по проценту жира в молоке РФ – 4,0 и 3,96, в ПФО – 3,90 и 3,88, Саратовской области – 3,90 и 3,99, по проценту белка в молоке в РФ – 3,27 и 3,22, в ПФО 3,26 и 3,21, Саратовской области – 3,24 и 3,25. На основании данных мониторинга за последние пять лет в РФ живая масса коров симментальской породы в среднем составляла – 554,2 кг, в ПФО – 554,8 кг, в Саратовской области – 550,8 кг, а на начало 2023 г. – 565; 565; 521 кг соответственно. Несмотря на снижение численности симментальской породы за период с 2019-2023гг. в РФ всего/коров на 57,47/30,37 тыс. голов, ПФО – 18,3/9,97 тыс. голов, Саратовской области – 2,04/1,23 тыс. голов, при этом симментальский скот, разводимый в условиях Нижнего Поволжья, демонстрирует конкурентоспособные показатели по молочной продуктивности, при которых удой превышал в ПФО в 2023 г. на 130 кг и в среднем за 5 лет – на 66,6 кг. По массовой доле жира и белка в молоке за 2019-2023 гг. симменталы Саратовской области превышают по жиру на 0,11% – ПФО и 0,03% – РФ, по белку на 0,04% – ПФО и 0,03% – РФ, что подчеркивает селекционную ценность местных популяций для улучшения качественных показателей молока.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, коровы, порода, симментальская, жир, белок, коэффициент изменчивости поголовья.

**Для цитирования:** Гостева Е. Р., Дунина В. А. Генетический потенциал симментальской породы, разводимой в Нижнем Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 180-186. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-180-186

**Genetic potential of the simmental breed bred in the Lower Volga region**

E. R. Gosteva<sup>✉</sup>, V. A. Dunina

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Agrarian Scientific Center of the South-East"

410010, Saratov, Tulaykova St., 7

<sup>✉</sup>ekagosteva@yandex.ru

**Abstract.** This article presents an analysis of the Simmental breed population and productivity over a five-year period, compared to the average for the Russian Federation (RF) and the Volga Federal District (VFD). Data from 2019-2023 based on the Dairy Cattle Breeding Yearbooks on Russian farms was used. The herd variation coefficients (HVC) were calculated for the total herd (thousands of heads) and cows (thousands of heads), which allowed us to assess the trend in herd size. Over the analyzed period, the HVC for the Simmental breed and cow populations in the Russian Federation, the Volga Federal District, and the Saratov Region was negative, amounting to HVC<sub>v</sub> (-0.032) and HVC<sub>k</sub> (-0.017). HVC<sub>v</sub> (-0.010) and HVC<sub>k</sub> (-0.005); HVC<sub>v</sub> (from - 0.006 to -0.0001) and HVC<sub>k</sub> (from - 0.006 to -0.0001), and only in the Republic of Mordovia there is a slight positive dynamics of HVC<sub>v</sub> (0.0001) and HVC<sub>k</sub> (0.00001). In the Russian Federation, the milk yield of Simmental cows in 2023 and on average over the past five years was: 6089 and 5611.4 kg, in the Volga Federal District - 5646 and 5225.8 kg, in the Saratov Region - 5776 and 5292.4 kg, and in terms of the percentage of fat in milk in the Russian



Federation - 4.0 and 3.96, in the Volga Federal District - 3.90 and 3.88, in the Saratov Region - 3.90 and 3.99, in terms of the percentage of protein in milk in the Russian Federation - 3.27 and 3.22, in the Volga Federal District 3.26 and 3.21, in the Saratov Region - 3.24 and 3.25. Based on monitoring data over the past five years, the average live weight of Simmental cows in the Russian Federation was 554.2 kg, in the Volga Federal District – 554.8 kg, in the Saratov Region – 550.8 kg, and at the beginning by 2023 – 565; 565; 521 kg, respectively. Despite the decrease in the number of Simmental breed for the period from 2019-2023 in the Russian Federation in total/cows by 57.47/30.37 thousand heads, in the Volga Federal District – 18.3/9.97 thousand heads, in the Saratov Region – 2.04/1.23 thousand heads, while Simmental cattle bred in the Lower Volga region demonstrate competitive indicators in terms of milk productivity, with milk yield exceeding the Volga Federal District in 2023 by -130 kg and by 66.6 kg on average over 5 years. In terms of the mass fraction of fat and protein in milk for 2019-2023. Simmental cattle in the Saratov region exceed those in the Volga Federal District by 0.11% and those in the Russian Federation by 0.03% in fat, and those in the Volga Federal District by 0.04% and those in the Russian Federation by 0.03% in protein, highlighting the breeding value of local populations for improving milk quality.

**Keywords:** cattle, cows, breed, Simmental, fat, protein, herd variation coefficient.

**For citation:** Gosteva E. R., Dunina V. A. Genetic potential of the simmental breed bred in the Lower Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 180-186 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-180-186

## Введение

В Российской Федерации генофонд пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности объединяет в себе высокий генетический потенциал продуктивности, адаптивность к биоклиматическим условиям, но при этом в связи с реформированием экономики и переходом ее на современный уровень подвергся изменениям как в количественном, так и в качественном отношении [1, 2].

Симментальская порода – одна из древнейших европейских пород крупного рогатого скота, так как формирование ее относится к началу первого тысячелетия нашей эры. Впервые симментальский скот завезли в Россию в первой половине XIX столетия. Большое распространение эта порода получила после Великой Октябрьской социалистической революции. Для широкого применения скрещивания местного скота с симментами было организовано 11 государственных племенных рассадников, в том числе и в Саратовской области – «Екатерининский» [3-5].

Саратовская область находится на севере Нижнего Поволжья, в юго-восточной части Европейской России. Животноводство в структуре агропромышленного комплекса Саратовской области считается важной отраслью сельского хозяйства, где крупный рогатый скот занимает одно из главных мест [6-8].

При совершенствовании разводимых пород крупного рогатого скота, формировании высокопродуктивных стад и рентабельности отрасли важное значение имеет повышение генетического потенциала животных и наиболее полного соответствия их к быстро меняющимся условиям технологии, а также правильное использование пород с учётом направления и уровня продуктивности, приспособленности к местным климатическим условиям и биологических особенностей животных [9, 10].

Цель исследований – проанализировать генетический потенциал симментальского скота, разводимого в условиях Саратовской области, по основным селекционным признакам в сравнительном аспекте с Российской Федерацией и Приволжским федеральным округом.

## Материалы и методы

В анализе использованы данные за период с 2019-2023 гг. по материалам Ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации [11-16]. Для популяционного мониторинга была выбрана симментальская порода как основной объект исследования, т.к. эта порода достаточно длительное время разводится в условиях резко-континентального климата Саратовской области. В результате исследований были рассчитаны коэффициенты изменчивости поголовья (КИП) [17] всего поголовья, тыс. гол. и коров, тыс. гол., которые позволяют вести оценку тенденции изменения численности поголовья по отношению к определенному промежутку времени:

$$\text{КИП}_в = \frac{n_1 - n_0}{t},$$

где КИП<sub>в</sub> – коэффициент изменчивости поголовья;  $n_1$  – количество животных на конец периода, голов;  $n_0$  – количество животных на начало периода, голов;  $t$  – длительность периода, дней.

$$\text{КИП}_к = \frac{n_1 - n_0}{t},$$

где КИП<sub>к</sub> – коэффициент изменчивости поголовья коров;  $n_1$  – количество животных на конец периода, голов;  $n_0$  – количество животных на начало периода, голов;  $t$  – длительность периода, дней.

Для обработки полученных данных и результатов собственных расчетов использовали ПК Microsoft Word и Microsoft Excel.

## Результаты

По состоянию на 1 января 2023 г. в РФ симментальской породы насчитывается 86,23 тыс. гол., коров – 50,63 тыс. гол. Численность крупного рогатого скота симментальской породы в 2023 г. в Приволжском Федеральном округе составляла всего 18,19 тыс. гол., коров – 9,7 тыс. гол., в среднем за 5 лет всего – 28,05 тыс. гол., коров – 15,48 тыс. гол. (табл. 1).

Таблица 1. Динамика численности поголовья симментальской породы в разрезе 2019-2023 гг., тыс. голов

Показатель	2019 год		2020 год		2021 год		2022 год		2023 год		В среднем	
	всего	коров	всего	коров	всего	коров	всего	коров	всего	коров	всего	коров
РФ	143,7	81,0	131,1	75,16	118,0	67,99	107,7	62,23	86,23	50,63	117,4	67,40
ПФО	36,49	19,67	33,2	18,17	27,45	15,57	24,91	14,31	18,19	9,7	28,05	15,48
Саратовская область	3,99	2,07	4,11	2,07	2,83	1,37	2,97	1,37	1,95	0,84	3,17	1,54
Ульяновская область	1,31	0,7	1,33	0,7	1,31	0,7	1,22	0,7	1,06	0,55	1,25	0,67
Оренбургская область	10,69	6,67	11,53	6,88	8,55	5,18	8,63	5,18	6,9	3,92	9,26	5,57
Республика Башкортостан	19,35	9,53	15,0	7,81	13,55	7,6	10,85	6,3	7,69	4,08	13,29	7,06
Республика Татарстан	0,60	0,41	0,68	0,43	0,65	0,43	0,68	0,46	-	-	0,65	0,43
Республика Мордовия	0,56	0,29	0,55	0,29	0,56	0,29	0,57	0,3	0,58	0,31	0,56	0,30

Максимальную численность поголовья отмечали в Республике Башкортостан – всего/коров 13,29/7,06 тыс. гол. и минимальную – в Республике Мордовия – всего/коров 0,56/ 0,30 тыс. голов.

В Саратовской области в 2023 г. симментальской породы насчитывалось всего – 1,95 тыс. гол., коров – 0,84 тыс. гол., в среднем за 5 лет всего – 3,17 тыс. гол., коров – 1,54 тыс. гол.

В Российской Федерации за изучаемый пятилетний период коэффициент изменчивости поголовья

симментальской породы всего, и в том числе коров был отрицательным и составлял  $KIP_v (-0,032)$  и  $KIP_k (-0,017)$ , в ПФО  $KIP_v (-0,010)$  и  $KIP_k (-0,005)$ .

В Российской Федерации удой анализируемой породы в 2023 г. и в среднем за последние пять лет характеризовался следующими показателями: 6089 и 5611,4 кг, в ПФО – 5646 и 5225,8 кг, Саратовской области – 5776 и 5292,4 кг (рис. 1).

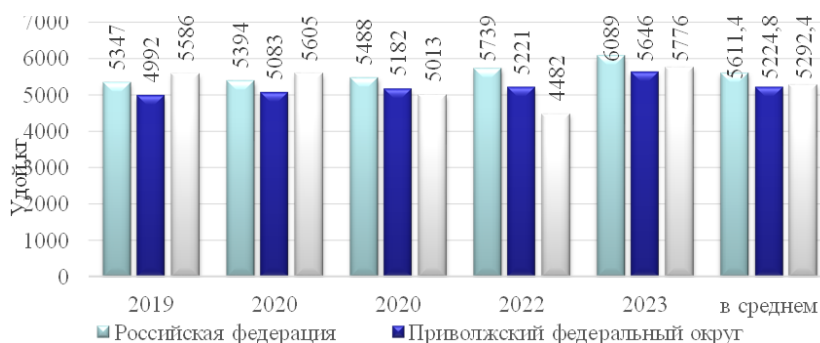


Рис. 1. Динамика удоя симментальской породы по годам, кг

В ПФО в тройку лидеров по молочной продуктивности в 2023 г. входит Республика Мордовия с удоем – 7826 кг, на втором месте с показателем 5776 кг – Саратовская область и Республика Башкортостан,

на третьей позиции с удоем 5488 кг – Ульяновская область. Хотелось бы отметить, что свои позиции не теряют анализируемые субъекты в период с 2019-2023 гг. по средним показателям удоя (рис. 2).

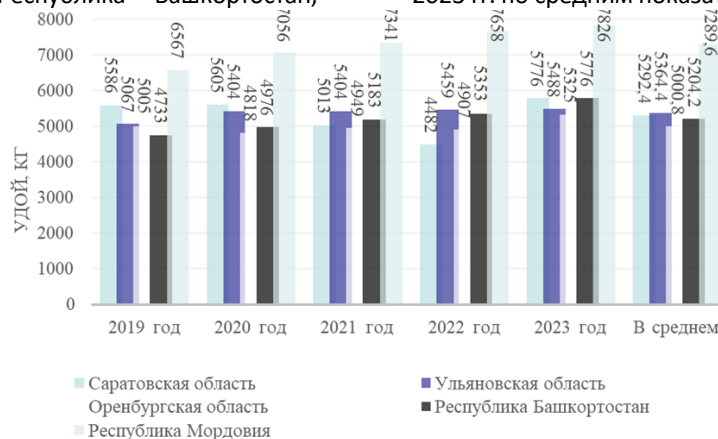


Рис. 2. Динамика удоя симментальской породы в ПФО, кг

В Российской Федерации массовая доля жира в молоке у коров симментальской породы

составляла в 2023 г. и в среднем за последние пять лет: 4,0 и 3,96, в ПФО – 3,90 и 3,88, Саратовской

области – 3,90 и 3,99, а по проценту белка в молоке в РФ – 3,27 и 3,22, в ПФО – 3,26 и 3,21, Саратовской области – 3,24 и 3,25.

В 2023 г. Республика Мордовия имела максимальный показатель жира в молоке среди субъектов ПФО – 4,03%, по содержанию белка в молоке с показателем 3,29% лидерство отмечалось за Оренбургской областью.

В Российской Федерации живая масса симментальской породы в среднем составляла – 554,2 кг, ПФО – 554,8 кг, Саратовская область – 550,8 кг, а на начало 2023 г. – 565; 565; 521 кг соответственно.

Живая масса животных субъектов ПФО в период с 2019-2023 гг. была наибольшей в Ульяновской области – 590 кг, на втором позиции Оренбургская область – 577 кг, затем Республика Мордовия – 556,6 кг и завершают рейтинг с показателем 550,8 и 536,6 кг Саратовская область и Республика Башкортостан, а по 2023 г. отмечали следующую тенденцию: на первом и втором местах также Ульяновская и Оренбургская области (594 и 581 кг), на третьем месте Республика Башкортостан (558 кг), затем с показателем 554 кг – Республика Мордовия и заключает список с показателем 521 кг – Саратовская область (рис. 3).

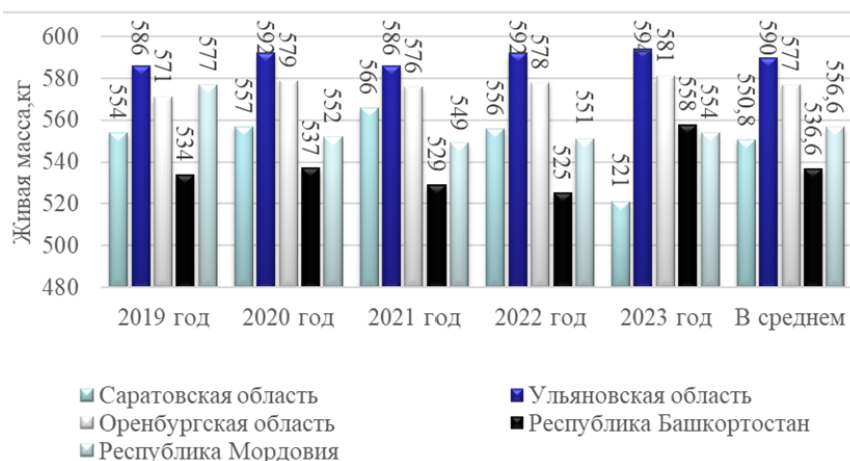


Рис. 3. Динамика живой массы симментальской породы в ПФО, кг

#### Обсуждение

Селекционный процесс в молочном скотоводстве как в мире, так и в Российской Федерации основан на поддержании генетического разнообразия в популяциях животных [18]. В 2018 г. было пробонитировано 2 млн. 637,3 тыс. голов крупного рогатого скота, в том числе 1 млн. 595,7 тыс. голов коров, представленных 23 молочными породами отечественного и зарубежного происхождения [19].

В РФ на текущий момент в молочном скотоводстве разводят 24 породы с общим количеством коров 1,1 млн. голов.

Симментальская порода – одна из старейших и достаточно распространённых пород крупного рогатого скота [20]. В 2018 г. в Российской Федерации максимальной численностью характеризовалась черно-пестрая порода – 1 млн. 345,4 тыс. голов при удельном весе – 51,1%, далее голштинская – 524,6 тыс. голов или 19,9%, симментальская – 168,5 тыс. голов или 6,39%, красно-пестрая – 140,1 тыс. голов или 5,31% и остальные породы 11,7% [21].

По численности на 1 января 2023 г. в РФ симментальской породы насчитывается 86,23, коров 50,63 тыс. гол., в Приволжском Федеральном округе – 18,19, коров – 9,7 тыс. гол., Саратовской области – 1,95, коров – 0,84 тыс. гол.

Для нашей страны с ее многообразием природно-экономических условий немаловажное значение имеет региональный аспект породного

районирования. Во всех федеральных округах структура и породный состав крупного рогатого скота имеют свою специфику [22].

В состав Приволжского Федерального округа входят 14 субъектов РФ, из них 7 – областей, в том числе Саратовская, 6 – республик, 1 – край.

В ПФО занимались разведением симментальской породы до 2022 г. в 6 субъектах из 14: Саратовской, Ульяновской, Оренбургской областях, а также в Республиках Башкортостан, Мордовия, Татарстан. С 2023 г. симментальская порода не числится в республике Татарстан.

Приоритетным остается проведение популяционного мониторинга состояния и тенденций изменения генетических ресурсов сельскохозяйственных животных (порода, стадо) на национальном, субрегиональном и региональном уровнях. Анализ тенденций увеличения, сокращения или стабильности поголовья за анализируемый временной отрезок помогает предпринять обоснованные действия в отношении изменений стратегии сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных животных [17].

В наших исследованиях при проведении анализа с помощью КИП, в котором были учтены изменения и размер анализируемых группы животных за 2019-2023 гг. и определены тенденции развития поголовья, в том числе коров, составил в Российской Федерации КИП<sub>в</sub> (-0,032) и КИП<sub>к</sub> (-0,017). Аналогичная тенденция отмечалась и в ПФО КИП<sub>в</sub> (-0,010) и КИП<sub>к</sub> (-0,005). В зависимости от размера популяции

в Саратовской, Ульяновской, Оренбургской областях, а также в Республиках Башкортостан КИП<sub>в</sub> и КИП<sub>к</sub> имели различные значения, но хотелось бы отметить, что с отрицательной динамикой КИП<sub>в</sub> (от - 0,006 до - 0,0001) и КИП<sub>к</sub> (от - 0,006 до -0,0001), и только в Республике Мордовия складывалась положительная тенденция по коэффициенту КИП<sub>в</sub> (0,0001) и КИП<sub>к</sub> (0,00001).

Селекция молочного скота по основным хозяйственно-полезным качествам – важный процесс, результатом которого является развитие животных с заданными качествами/ Кронкурентоспособность породы зависит от того, насколько она адаптирована к зональным условиям, и в какой степени реализуется ее генетический потенциал [22].

В 2023 г. и в среднем за 2019-2023 гг. удой симментальской породы по РФ составлял 6089 и 5611,4 кг, что больше на 443 кг – ПФО и 313 кг – и Саратовской области, а вот за пятилетний период разница была в пользу ПФО на – 385,6 кг и Саратовской области на – 319 кг.

Процентное содержание жира и белка в молоке является основным селекционируемым признаком крупного рогатого скота, обязательным к контролю в соответствии с требованиями к племенным организациям [23].

В 2023 г. Республика Мордовия была лидером среди 5 субъектов ПФО, которые разводят симментальскую породу по содержанию жира в молоке – 4,03%, что больше на 0,11% – Республики Башкортостан, 0,13% – Саратовской области, 0,15% – Оренбургской области и 0,20% – Ульяновской области, а вот по содержанию белка в молоке с максимальным показателем 3,29% лидерство за Оренбургской областью, которая превосходит на 0,03; 0,05; 0,10 и 0,17% (Республику Башкортостан, Саратовскую область, Республику Мордовию и Ульяновскую область). За пятилетний анализируемый период максимальная средняя жирность молока была в Саратовской области – 3,99%, а по белку – в Оренбургской области – 3,29%.

Живая масса – наследственно обусловленный признак в селекции каждого вида сельскохозяйственных животных [24].

На основании данных мониторинга за последние пять лет в Российской Федерации живая масса симментальской породы в среднем за пять лет составляла 554,2 кг, что на 0,6 кг меньше, чем в ПФО и на 3,4 кг больше Саратовской области, а на начало 2023 г. РФ и ПФО – 565 кг, а вот Саратовская область по этому признаку имеет меньший показатель – 521 кг.

Среди субъектов ПФО у симменталов в период с 2019 по 2023 гг. максимальная живая масса была в Ульяновской области – 590 кг, а минимальная в Республике Башкортостан – 536,6 кг.

#### **Заключение**

1. По результатам проведенного анализа за период с 2019-2023 гг. установлено, что племенное поголовье симментальской породы сократилось в РФ

всего/коров на 57,47/30,37 тыс. голов, ПФО – 18,3/9,97 тыс. голов, Саратовской области – 2,04/1,23 тыс. голов.

2. На 2023 г. в ПФО занимаются разведением племенных животных симментальской породы в 5 субъектах из 14.

3. Анализ полученных результатов за пятилетний период показал, что коэффициент изменчивости поголовья симментальской породы в РФ, ПФО, Саратовской области был КИП<sub>в</sub> (-0,032) и КИП<sub>к</sub> (-0,017), КИП<sub>в</sub> (-0,010) и КИП<sub>к</sub> (-0,005), КИП<sub>в</sub> (-0,001) и КИП<sub>к</sub> (-0,0006) – динамика отрицательная.

4. По удою племенные животные симментальской породы Саратовской области превышали показатели ПФО в 2023 г. на – 130 кг и в среднем за 5 лет на 66,6 кг и уступали РФ на – 313 и 319 кг соответственно.

5. По массовой доле жира и белка в молоке за 2019-2023 гг. по средним показателям симменталы Саратовской области превышали по жиру на 0,11% – ПФО и 0,03% – РФ, по белку на 0,04% – ПФО и 0,03% – РФ, а по данным за 2023 г. уступали по жиру на 0,1% – РФ и белку 0,02% – ПФО и 0,03% – РФ.

6. В Саратовской области, по показателям живой массы, племенное поголовье крупного рогатого скота симментальской породы уступало во все анализируемые периоды ПФО и РФ на 4,0 и 3,2 кг – за 5 летний период, и 44 кг – за 2023 г.

По результатам проведенного мониторинга можно сказать, что симментальская порода имеет большие возможности по совершенствованию генетического потенциала. Несмотря на снижение численности, симментальский скот в Саратовской области демонстрирует конкурентоспособные показатели молочной продуктивности- стабильно высокое содержание белка и жира в молоке, что подчеркивает селекционную ценность местных популяций для улучшения качественных показателей молока.

Дальнейшая племенная работа по повышению генетического потенциала хозяйственно-полезных признаков симментальской породы должна быть направлена на увеличение поголовья крупного рогатого скота и коров, создание животных, пригодных для условий крупных молочных комплексов, повышение белкомолочности, выявление рекордисток по удою за лактацию и пожизненной продуктивности.

#### **Литература**

1. Абрамова Н. И., Зенкова Н. В., Селимян М. О. Перспективы развития молочного скотоводства в Вологодской области // Вестник НГАУ 2023. 2 (67). С. 133-141. doi: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-133-141.
2. Оценка влияния факторов на динамику распределения поголовья скота по регионам Российской Федерации / Е. Ц. Чимитдоржиева, Д. Ц. Гармаев, Т. Б. Бардаханова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. №

1(73). С. 139-145. doi: 10.12737/2073-0462-2024-139-145

3. Свяженина М. А. Экстерьерная оценка в совершенствовании скота симментальской породы // Известия ОГАУ. 2022. №4 (96). С. 271-273.

4. Игнатьева Л. П., Сермягин А. А. Характеристика современной популяции крупного рогатого скота симментальской породы России с учетом генеалогической принадлежности // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №. 4. С. 67-72.

5. Самарин С. А., Шаравьев П. В. Симментальская порода крупного рогатого скота и ее монбельярдский породный тип // Молодежь и наука. 2019. №. 3. С. 38-38.

6. URL: [https://www.minagro.saratov.gov.ru/development/index.php?ELEMENT\\_ID=9270](https://www.minagro.saratov.gov.ru/development/index.php?ELEMENT_ID=9270) (10.03.2025г.)

7. Карнизенко М. А., Муравьева М. В. Современное состояние скотоводства Саратовской области // Агрофорсайт. 2022. № 1. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.

8. URL: <https://selhozproduzvoditeli.ru/news/selskoe-hozyaystvo-saratovskoy-oblasti?ysclid=m9b09s0hm2820558051> (10.03.2025г.)

9. Дуров А. С., Деева В. С. Оценка селекционных групп полновозрастных коров различных пород, дифференцированных по молочному жиру // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020. № (4). С.73-81. doi: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-73-81

10. Иванова И. П., Троценко И. В. Характеристика популяции красной степной породы крупного рогатого скота в стадах Омской области // Известия ОГАУ. 2021. №2 (88). С. 257-261.

11. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2023 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва, 2024. С. 25-70.

12. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2022 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва, 2023. С. 20-65.

13. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2021 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва, 2022. С. 20-66.

14. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2020 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва, 2021. С. 20-67.

15. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2019 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва, 2020. С. 17-75.

16. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2018 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. Москва, 2019. С. 15-57.

17. Писаренко А. В. Популяционный мониторинг генофондных пород крупного рогатого скота как основа сохранения биоразнообразия // Вестник НГАУ. 2024. № (1). С. 261-270. doi: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-261-270/

18. Паронян И. А. Современное состояние генофонда молочных и молочно-мясных пород крупного рогатого скота отечественной селекции // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 79–83. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10615.

19. Состояние и перспективы молочного скотоводства в Российской Федерации/ И. М. Дунин, Р. К. Мещеров, С. Е. Тяпугин и др. // Зоотехния. 2020. №2. С. 2-5. doi: 10.25708/ZT.2020.23.67.001

20. Влияние генотипа на пожизненные продуктивные и воспроизводительные качества симментальских коров / И. Ф. Юмагузин, М. Т. Сабитов, А. Л. Аминова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 52-55. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10208

21. Чинаров В. И. Породные ресурсы скотоводства России // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 80-85. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10714.

22. Иванова И.П. Селекционно-генетические параметры в селекции молочного скота Молочнохозяйственный вестник. №3 (43). III кв. 2021. С. 59-67. doi:10.52231/2225-4269\_2021\_3\_59

23. Министерство сельского хозяйства РФ приказ от 28 октября 2010 года N 379 Об утверждении Порядка и условий проведения бонитировки племенного крупного рогатого скота молочного и молочно-мясного направлений продуктивности [https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_87930.pdf?ysclid=mi2wzwyrfk829870510](https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_87930.pdf?ysclid=mi2wzwyrfk829870510).

24. Игнатьева Л. П., Нарышкина Е. Н. Моделирование селекционного прогресса по молочной продуктивности в популяции симментальского скота России, основанного на оценке племенной ценности EBV // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 8. С. 33-40. doi:10.53859/02352451\_2024\_38\_8\_33

## References

1. Abramova N.I., Zenkova N.V., Selimyan M.O. "Prospects for development of dairy cattle farming in the Vollogda Region" // Vestnik of NSAU 2023. 2 (67). P. 133-141. doi: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-133-141.

2. Assessment of the influence of factors on the dynamics of livestock distribution by regions of the Russian Federation / E. Chimitdorzhieva, D. Garmaev, T. Bardahanova // Vestnik of Kazan state agrarian university 2024. Vol.. 19. No. 1(73). P. 139-145. doi: 10.12737/2073-0462-2024-139-145

3. Ignatyeva L. P., Sermyagin A. A. Characteristics of the modern population of Simmental cattle in Russia, taking into account genealogical affiliation // Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2019. No. 4. P. 67-72.

4. Samarin S. A., Sharavyev P. V. Simmental cattle breed and its Montbéliarde breed type // Youth and Science. 2019. No. 3. P. 38-38.

5. URL: [https://www.minagro.saratov.gov.ru/development/index.php?ELEMENT\\_ID=9270](https://www.minagro.saratov.gov.ru/development/index.php?ELEMENT_ID=9270) (10.03.2025)
6. Karnizenko M.A., Muravyova M.V. Current state of cattle breeding in the Saratov region // *Agroforsayt*. 2022. No. 1. Saratov: OOO "TseSAin", 2022. - 1 electronic optical disc (CD-ROM). - Title from the disc label.
7. URL: <https://selhozproduzvoditeli.ru/news/selskoe-khozyaystvo-saratovskoy-oblasti?ysclid=m9b09s0hm2820558051> (10.03.2025)
8. Durov A. S., Deeva V. S. Evaluation of breeding groups of full-sized cows of various breeds differentiated by milk fat // *Vestnik of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020. No. (4). P. 73-81. doi: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-73-81
9. Ivanova I. P., Trotsenko I. V. Characteristics of the red steppe cattle population in herds of Omsk Region // *Izvestia of OSAU*. 2021. No. 2 (88). P. 257-261.
10. Yearbook on breeding work in dairy cattle farming on farms of the Russian Federation for 2023. Publishing House of FSBSI All-Russian Research Institute of Breeding. Moscow, 2024. P. 25-70.
11. Yearbook on breeding work in dairy cattle farming on farms of the Russian Federation for 2022. Publishing House of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Breeding. Moscow, 2023. P. 20-65.
12. Yearbook on breeding work in dairy cattle farming on farms of the Russian Federation for 2021. Publishing House of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Breeding. Moscow, 2022. P. 20-66.
13. Yearbook on breeding work in dairy cattle farming on farms of the Russian Federation for 2020. Publishing House of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Breeding. Moscow, 2021. P. 20-67.
14. Yearbook on breeding work in dairy cattle farming on farms of the Russian Federation for 2019. Publishing House of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Breeding. Moscow, 2020. P. 17-75.
15. Yearbook on breeding work in dairy cattle farming on farms of the Russian Federation for 2018. Publishing House of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Breeding. Moscow, 2019. P. 15-57.
16. Pisarenko A. V. Population monitoring of gene pool breeds of cattle as a basis for conserving biodiversity // *Vestnik of NSAU*. 2024. No. (1). P. 261-270. doi: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-261-270/
17. Paronyan I. A. Current state of the gene pool of dairy and dairy-beef cattle breeds of domestic selection // *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2020. Vol. 34. No. 6. P. 79-83. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10615.
18. The state and prospects of dairy cattle farming in the Russian Federation / I. M. Dunin, R. K. Meshcherov, S. E. Tyapugin, et al. // *Zootechnics*. 2020. No. 2. P. 2-5. doi: 10.25708/ZT.2020.23.67.001
19. The influence of genotype on the lifelong productive and reproductive qualities of Simmental cows / I. F. Yumaguzin, M. T. Sabitov, A. L. Aminova, et al. // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2021. Vol. 35. No. 2. P. 52-55. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10208
20. Chinarov V. I. Breed resources of cattle breeding in Russia // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2020. Vol. 34. No. 7. P. 80-85. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10714.
21. Ivanova I. P. Breeding and genetic parameters in selection of dairy cattle // *Dairy Farming Vestnik*. No. 3 (43). Q3 2021. P. 59-67. doi:10.52231/2225-4269\_2021\_3\_59
22. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Order of October 28, 2010, No. 379, On approval of the procedure and conditions for the grading of breeding cattle of dairy and dairy-beef productivity ([https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_87930.pdf?ysclid=mi2wzwyrfk829870510](https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_87930.pdf?ysclid=mi2wzwyrfk829870510)).
23. The effect of feeding ration on milk yield of highly productive cows. / M. B. Kalmagambetov, V. G. Semenov, S. D. Mongush, et al. // *Vestnik of the Tuva State University*. Issue 2. Natural and Agricultural Sciences. 2021. No. 1 (73). P. 66-74.
24. Ignatieva L. P., Naryshkina E. N. Modeling of selection progress for milk productivity in the population of simmental cattle in russia based on estimated breeding value EBV // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2024;38(8):.33-40 Russian. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_8\_33

**Молочная продуктивность коров разных генеалогических линий, отобранных в группу матерей быков**

**Р. В. Лукьянова**, аспирантка кафедры «Морфология и физиология, кормление, разведение и частная зоотехния»

**П. С. Катмаков**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Морфология и физиология, кормление, разведение и частная зоотехния»

**А. В. Бушов**✉, доктор биологических наук, профессор кафедры «Морфология и физиология, кормление, разведение и частная зоотехния»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉ulbiotech@yandex.ru

**Резюме.** В статье представлена характеристика коров-рекордисток, отобранных в группу матерей быков. Исследования проводили в стаде племярепродуктора Ульяновской области, специализированного на разведении крупного рогатого скота черно-пестрой голштинской породы, и ему отведена роль продуцентов и поставщиков высококлассных ремонтных бычков. В работе были использованы данные зоотехнического и племенного учета хозяйства, бонитировки скота и каталоги быков-производителей племпредприятий. Дана характеристика 3 линий голштинской породы (Рефлекшн Соверинг 198998, Вис Бек Айдиал 1013415, Монтвик Чифтейн 95679) по основным селекционным признакам (удой, содержание жира и белка в молоке) и 17 быков, принадлежащих этим линиям, от которых получено высокопродуктивное потомство, отобранное в группу матерей будущих бычков. Средний удой 200 коров-рекордисток, отобранных в группу матерей будущих быков, довольно высокий и составляет 10569 кг с массовой долей жира в молоке 4,09% и белка 3,29%. Исследования показали, что среди коров линии Рефлекшн Соверинга 198998 наиболее высокую продуктивность имеют дочери быка-производителя Бакстерос 9920 (+ 820...1507 кг к сверстницам). Потомки всех быков-производителей этой линии характеризовались высокой жирномолочностью (4,06...4,15%). Среди 59 рекордисток данной линии 22 являются дочерьми быка Бомаз Мана 60609783 и 22 – дочерьми производителя Бума 262395. Дочери быков линии Вис Бек Айдиала 1013415 также отличаются высокими удоями и жирномолочностью. Исключительную племенную ценность представляет производитель Лабель 257297. Средний удой 61 дочери этого быка за 305 дней лактации составил 10664 кг молока жирностью 4,09%. Среди потомков линии МонтвикЧифтейна 95679 более высокопродуктивными оказались дочери быка Виннероса 3498, которые имели превосходство над сверстницами по удою на 602...1097 кг. Из 31 рекордистки этой линии 22 являются дочерьми производителя Виззарда 9373.

**Ключевые слова.** Селекционные признаки, порода, генеалогическая линия, семейство, генофонд, лактация, отбор, подбор, полимерные гены.

**Для цитирования:** Лукьянова Р. В., Катмаков П. С., Бушов А. В. Молочная продуктивность коров разных линий, отобранных в группу матерей быков // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 187-193. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-187-193

**Milk productivity of cows of different pedigree lines selected as bull sires**

**R. V. Lukyanova, P. S. Katmakov, A. V. Bushov**✉

Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, 1

✉ulbiotech@yandex.ru

**Abstract.** This article presents the characteristics of record-breaking cows selected as bull sires. The study was conducted in the herd of a breeding farm in the Ulyanovsk Region specializing in Black-and-White Holstein cattle, which is designated as a producer and supplier of high-quality replacement bulls. The study utilized data from the farm's livestock and breeding records, cattle appraisals, and breeding bull catalogs. The article describes three Holstein lines (Reflection Sovering 198998, Vis Beck Ideal 1013415, Montvik Chieftain 95679) based on their key selection traits (milk yield, milk fat and protein content) and 17 bulls from these lines, which produced highly productive offspring selected to become mothers of future bulls. The average milk yield of 200 record-breaking cows selected to become mothers of future bulls is quite high, amounting to 10,569 kg, with milk fat content of 4.09% and protein content of 3.29%. Research has shown that among the cows of the Reflection Sovering 198998 line, the daughters of the sire Baxteros 9920 have the highest productivity (+ 820-1507 kg compared to their peers). The offspring of all the sires of this line were characterized by high milk fat content (4.06–4.15%). Among the 59 record-breaking females of this line, 22 were the daughters of the bull Bomaz Mana 60609783 and 22 were the daughters of the sire Buma 262395. The daughters of the bulls of the Vis Bek Aidiala 1013415 line were also distinguished by high milk yields and milk fat content. The sire Labelle 257297 is of exceptional breeding value. The average milk yield of the 61 daughters of this bull over 305 days of lactation was 10,664 kg of milk with a fat content of 4.09%. Among



the offspring of the MontvikChiftein 95679 line, the daughters of the bull Vinneros 3498 turned out to be the most productive, having a milk yield superior to their peers by 602–1097 kg. Of the 31 record-breaking females in this line, 22 are daughters of the sire Wizzard 9373.

**Keywords:** Selection traits, breed, genealogical line, family, gene pool, lactation, selection, selection, polymer genes.

**For citation:** Lukyanova R. V., Katmakov P. S., Bushov A. V. Milk productivity of cows of different pedigree lines selected as bull sires // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 187-193 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-187-193

##### Введение

В работе по созданию новых и совершенствованию существующих пород, типов, линий важное значение имеет целенаправленное использование генетических ресурсов высокопродуктивных животных. Исследования показывают [1, 2], что на всех этапах работы по созданию и совершенствованию существующих молочных и мясо-молочных пород скота исключительно широко используются коровы с выдающейся молочной продуктивностью и их потомки. Нередко спермой отдельных быков – сыновей выдающихся коров-рекордисток – ежегодно осеменяют по 4...5 тыс. коров и телок. По мнению авторов «широкое племенное использование таких животных непосредственно способствует улучшению генеалогической структуры породы, накоплению ценного генетического потенциала в последующих поколениях, повышает шансы на получение еще более высокопродуктивных и ценных племенных животных».

Коров-рекордисток по удою специалисты-животноводы не без основания считают ценным заводским материалом, особенно для получения племенных быков. Рекордистки, по их мнению, не самоцель, а одно из важнейших средств улучшения породы в целом путем создания высокопродуктивных семейств и получения в этих семействах ценных быков-улучшателей, в том числе родоначальников и продолжателей линий. Они не ставят знак равенства между разведением по линиям и родственным разведением, а рассматривают первое как определенную систему селекции: разведение по линиям требует выделения животных, дающих наиболее выдающееся потомство, и поддержания в ряду поколений типа последнего разумным применением спаривания в родстве и отбором.

Под племенными линиями понимаются линии крови, в которых закрепились и проявляются заводские и хозяйственные качества. Именно такие линии можно именовать заводским капиталом, накопленным кристаллизованным трудом человека в области животноводства вообще, скотоводства, в частности. Разведение по линиям означает создание высокопродуктивной и наследственно устойчивой группы животных на основе использования при определенной системе отбора и подбора выдающегося производителя и его наиболее ценного потомства, полученного в ряде поколений в условиях, способствующих развитию ценных для данной линии признаков и свойств животных.

Ряд авторов [3, 4] считает, что разведением линий и семейств создается и совершенствуется структура породы, обеспечивается генотипическое разнообразие, необходимое для прогрессивного развития

породы, ее планомерного хозяйственного использования и выведения ценных племенных животных. В работе с заводскими породами решаются две противоположные задачи: первая – создание животных с достаточно высокой наследственной устойчивостью, обусловленной как концентрацией в породе большого числа аддитивных генов, положительно влияющих на развитие хозяйственно полезных признаков, так и возрастанием гомозиготности до уровня, не вызывающего инбредной депрессии, и вторая – сохранение в породе достаточной изменчивости, обуславливающей ее пластичность, что требует или достаточно высокого уровня гетерозиготности, или использования специальных методов работы с породой. Ценность метода разведения по линиям и заключается в том, что он решает эти две, на первый взгляд несовместимые, задачи, обеспечивая быстрые темпы улучшения породы [5, 6].

Цель исследования заключалась в выяснении, из каких племенных линий чаще всего происходят коровы, выдающиеся по своей молочной продуктивности.

Следовательно, основным и эффективным методом селекционной работы с молочным скотом в племенных стадах считается разведение по линиям. Поэтому очень важно выяснить, из каких линий чаще всего происходят коровы, выдающиеся по своей молочной продуктивности.

##### Материалы и методы

Исследования проводили в стаде ООО «Агро-Гулышево» Сурского района Ульяновской области. Хозяйство специализируется на разведении крупного рогатого скота черно-пестрой голштинской породы, и ему отведена роль продуцентов и поставщиков высококлассных ремонтных бычков. С этой целью здесь осуществляется планомерная углубленная селекционная работа по качественному совершенствованию скота данной породы, размножаются перспективные линии путем использования высокоценных быков-улучшателей продуктивности дочерей, ведется работа по созданию нового высокопродуктивного типа животных методами внутрипородной селекции. Племенное хозяйство ведет работу в основном с 3 линиями быков. Залогом успешной его работы является образцовое ведение первичного зоотехнического и племенного учета. Молочную продуктивность коров учитывают ежемесячно по контрольным дойкам. Содержание жира в молоке определяли на приборе «Милко-тестер», белка – на приборе «Лактан - 700». Для контроля за состоянием животных на ферме пользуются компьютерной программой «Селэкс». Основным фоном, на котором изучали молочную продуктивность коров, были одинаковые условия



кормления и содержания. В хозяйстве ежегодно заготавливают корма в расчете на одну корову в год не менее 50,5 ц энергетических кормовых единиц.

В работе были использованы данные зоотехнического и племенного учета хозяйства, бонитировки скота и каталоги быков-производителей племпредприятий. Дана характеристика 3 линий голштинской породы (Рефлекшн Соверинг 198998, Вис Бек Айдиал 1013415, Монтвик Чифтейн 95679) по основным селекционируемым признакам (удой, содержание жира и белка в молоке) и 17 быков, принадлежащих этим линиям, от которых получено высокопродуктивное потомство, отобранное в группу матерей будущих бычков. Цифровые данные, полученные в ходе исследований, обработаны биометрически на персональном компьютере с использованием программы Microsoft Excel по методикам Н.А. Плохинского [7] и Е.К. Меркурьевой [8].

### Результаты

Разведение по линиям в настоящее время рассматривается как высшая форма организации племенной работы со стадом и породой в целом [9-11]. Биологическая сущность разведения по линиям заключается в усилении (закреплении) наследственных свойств и признаков животных, т.е. в повышении консерватизма наследственности. Хозяйственная сущность разведения по линиям выражается в максимальном использовании выдающегося родоначальника и его потомства [12, 13].

Цель разведения по линиям – развитие и закрепление в потомстве ценных особенностей лучших животных для получения молодняка с устойчивой наследственностью, последующее племенное использование которого обеспечит быстрее совершенствование стада или породы в целом. При разведении по линиям отбор направлен на сохранение особенностей родоначальника линии, а, следовательно, и его генотипа в целом, при этом он затрагивает большое число полимерных, аддитивно действующих генов [14-16].

В таблице 1 дана характеристика коров племенной группы по молочной продуктивности в целом по стаду в среднем за три и более лактации.

**Таблица 1. Молочная продуктивность коров племенной группы**

Лактация N = 200	Удой, кг		Массовая доля жира, %		Массовая доля белка, %	
	M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>
1-3 и ст.	10569 ± 60	8,01	4,09 ± 0,02	6,84	3,29 ± 0,01	2,74

Средний удой 200 коров-рекордисток, отобранных в племенную группу матерей будущих бычков, довольно высокий и составляет 10569 кг с массовой долей жира в молоке 4,09% и белка 3,29%. Коэффициенты изменчивости показателей молочной продуктивности соответственно равны 8,01; 6,84 и 2,74%.

Анализ родословных исследуемых нами рекордисток показал, что большинство из них относятся к известным в породе линиям. В таблице 2 приведены средние показатели продуктивности коров-рекордисток в разрезе линий.

**Таблица 2. Распределение коров-рекордисток по линиям и показатели их продуктивности**

Линия	n	Удой, кг		Массовая доля жира, %		Массовая доля белка, %	
		M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>
Рефлекшн Соверинг	72	10504 ± 92	7,4	4,10 ± 0,03	5,61	3,31 ± 0,01	2,72
Вис Айдиал	94	10607 ± 99	9,1	4,09 ± 0,02	5,62	3,30 ± 0,01	2,73
Монтвик Чифтейн	34	10640 ± 104	5,7	4,14 ± 0,04	6,04	3,28 ± 0,02	2,74

Приведенные данные показывают, что рекордистки различных линий по продуктивности почти не отличаются. Между максимальным и минимальным показателями удоя разница составляет всего 136 кг молока. Среди животных более высокая жирность молока отмечается у рекордисток линии Монтвик Чифтейна 95679. Они по данному показателю превосходят сверстниц, принадлежащих линиям Рефлекшн Соверинг 198998 и Вис Бек Айдиал 1013415, на 0,04...0,05%. По массовой доле белка в молоке между представительницами исходных линий значительных различий не выявлено. Коэффициент изменчивости удоя коров-рекордисток варьировал в довольно узких пределах – от 5,7 до 9,1%, а изменчивость массовой доли жира и белка в молоке у коров разных линий была на одинаковом уровне.

Известно, что основная роль в совершенствовании стада отводится производителям [17-19]. Многочисленные исследования показывают, что от быка зависит не менее 70% генетического улучшения животных стада. Это связано с осуществлением строгого отбора среди быков-производителей при одновременном получении от каждого из них многочисленного потомства. Из всех родившихся бычков оставляют на племя не более 2...3% животных. В условиях искусственного осеменения животных и длительного хранения спермы, позволяющих резко сократить количество используемых быков, требования к качеству отбираемых на племя быков исключительно высокие [6].

Характеристика быков-производителей линии Рефлекшн Соверинга 198998 по молочной продуктивности дочерей приведена в таблице 3.

Результаты анализа данных показывают, что среди рекордисток линии Рефлекшн Соверинга 198998 наиболее высокую продуктивность имеют дочери быка Бакстерос 9920. По удою за 305 дней лактации они превосходили своих сверстниц – дочерей других быков на 820...1507 кг. Потомки всех быков-производителей этой линии характеризовались высокой жирномолочностью (4,06...4,15%). Среди них более высокие показатели жирности

#### 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)

молока имели дочери быков Бомаз Мана 60609783, Сенд Хайла 8330 и Чифа 1556379 (4,11...4,15%).

**Таблица 3. Характеристика быков-производителей линии Рефлекшн Соверинга 198998 по продуктивности дочерей**

Линия	n	Удой, кг		Массовая доля жира, %		Массовая доля белка, %	
		M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>
БомазМан 60609783	22	10378 ± 139	6,3	4,15 ± 0,06	6,75	3,30 ± 0,03	3,94
Бум 262395	22	10539 ± 144	6,4	4,07 ± 0,04	4,91	3,30 ± 0,01	2,12
Бакстерос 9920	7	11359 ± 535	12,5	4,06 ± 0,09	6,28	3,31 ± 0,03	2,72
Сенд Хайл 8330	6	10297 ± 388	9,0	4,12 ± 0,10	5,82	3,35 ± 0,02	1,79
Чиф 1556379	2	9852 ± 187	2,7	4,11 ± 0,09	3,16	3,32 ± 0,07	2,95

Следует отметить, что из 59 рекордисток линии Рефлекшн Соверинга 198998 двадцать две являются дочерьми быка Бомаз Мана 60609783 и двадцать две – дочерьми быка Бума 262395. По массовой доле белка в молоке значительных различий между дочерьми использованных быков не установлено. Показатели данного признака варьировали в пределах от 3,30 до 3,35%.

**Таблица 4. Характеристика быков-производителей линии Вис Бек Айдиала 1013415 по продуктивности дочерей**

Линия	n	Удой, кг		Массовая доля жира, %		Массовая доля белка, %	
		M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>
Лабель 257297	61	10664 ± 140	10,3	4,09 ± 0,03	4,89	3,29 ± 0,01	3,04
Шотган 5645	7	10309 ± 84	2,16	4,10 ± 0,08	5,12	3,29 ± 0,02	1,82
Ларго 06	4	9856 ± 86	1,74	4,02 ± 0,07	3,73	3,27 ± 0,02	1,22
Бечелор 5485	4	10489 ± 74	3,32	4,13 ± 0,15	7,26	3,33 ± 0,04	2,40
Селекшн 6471	6	10395 ± 281	6,61	4,17 ± 0,07	4,08	3,32 ± 0,03	2,41
Оторити 0577	4	10656 ± 18	0,34	3,82 ± 0,24	12,6	3,34 ± 0,02	1,20
Фокус 1133	2	10718 ± 80	1,06	4,20 ± 0,17	5,71	3,32 ± 0,07	3,19
Бекер 5714	2	11392 ± 74	0,91	3,94 ± 0,06	2,28	3,28 ± 0,06	2,74

Дочери всех быков линии Вис Бек Айдиала 1013415 отличались высокими удоями и жирномолочностью (табл. 4). Несколько худшие показатели удоя за лактацию имели потомки быка Ларго 06. Они по удою уступали дочерям других быков на 453...1536 кг. Искключительную племенную ценность представляет бык Лабель 257297. Средний удой 61 дочери этого быка за 305 дней лактации составил 10664 кг с массовой долей жира в молоке 4,09%. Более высокими удоями характеризовались дочери быка Бекер 5714. Средний удой двух его

дочерей превысил показатели сверстниц на 674...1536 кг или на 6,5...15,6% при достоверности разницы P < 0,001.

Жирномолочность коров – потомков всех быков-производителей колебалась в довольно широких пределах – от 3,82 до 4,20%. Относительно низкие показатели массовой доли жира отмечены только у дочерей быков Оторити 0577 и Бекер 5714 (3,82...3,94%). Высокие показатели жирномолочности имели дочери быков Фокуса 1133 и Селекшна 6471 (4,17...4,20%). Содержание белка в молоке варьировало от 3,27 до 3,34%.

В линии Вис Бек Айдиала 1013415 в состав лучших коров, отобранных в группу матерей быков, вошли еще 4 коровы, которые являются дочерьми 4 производителей (Манифолд 402, Ланцелот 254210, Марк 261480, Лекси 3158) с удоем за лактацию 9987...13077 кг с массовой долей жира и белка в молоке соответственно 3,98...4,56% и 3,26...3,51%.

Потомки всех использованных в стаде быков линии Монтвик Чифтейна 95679 имеют высокие удои (табл. 5).

**Таблица 5. Характеристика быков-производителей линии Монтвик Чифтейна 95679 по продуктивности дочерей**

Линия	n	Удой, кг		Массовая доля жира, %		Массовая доля белка, %	
		M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>	M ± m	C <sub>v</sub>
Виззард 9373	22	10597 ± 126	5,60	4,16 ± 0,05	6,01	3,27 ± 0,02	2,87
Стэди 2106	3	10534 ± 311	5,12	4,11 ± 0,08	3,41	3,33 ± 0,06	2,94
Виннерос 3498	3	11199 ± 503	7,78	3,83 ± 0,15	7,05	3,29 ± 0,09	4,56
Чип 257050	3	10102 ± 197	3,38	4,35 ± 0,07	3,45	3,25 ± 0,06	3,01

Среди них более высокопродуктивными были дочери быка Виннерос 3498, которые имели превосходство над сверстницами по удою на 602...1097 кг молока. Интересно отметить, что из 31 рекордистки этой линии 22 являются дочерьми производителя Виззарда 9373.

Потомкам быков характерна высокая жирномолочность. Особенно по данному признаку лидирующее положение среди дочерей использованных быков занимают потомки быка Чипа 257050 (4,35%). Дочери этого быка по жирномолочности превосходят своих сверстниц на 0,19...0,52%. Довольно низкие показатели по содержанию жира в молоке у дочерей производителя Виннероса 3498 при самых высоких показателях удоя.

В линии Монтвик Чифтейна 95679 в состав коров, отобранных в группу матерей быков, включена еще одна дочь-рекордистка производителя Лекси 590 с удоем за лактацию 11295 кг и массовой долей жира и белка в молоке 3,90 и 3,31% соответственно.

В селекционной работе по совершенствованию стада наряду с заводскими линиями исключительно большую роль играют семейства. О важном

значении семейств в выведении высокопродуктивных коров и ценных быков-производителей пишут в своих работах многие авторы [12]. Они отмечают, что важность разведения по семействам обуславливается их большой ролью, которую они играют при создании высокопродуктивных коров, консолидированных в отношении желательных качеств, получении быков-производителей с ценной наследственностью по материнской родословной, а также в создании и регулировании генетической структуры стада.

Особая их роль заключается в том, что животные ведущих семейств, обладая сочетанием отдельных ценных генетических факторов, обуславливающих высокую их продуктивность, через своих сыновей передают эти качества потомству и тем самым оказывают огромное влияние на генетический прогресс стада и породу в целом [20]. В стаде ООО «Агро-Гулюшево» в соответствии с принадлежностью к линиям могут быть отобраны лучшие коровы-рекордистки, из числа которых в перспективе могут быть выделены будущие родоначальницы семейств.

### Обсуждение

Продуктивность коров определяется наследственностью, индивидуальными особенностями развития организма, условиями кормления и содержания лактирующих животных на протяжении лактации. Проф. Лебедько Е.Я. [1] отмечает, что способность к высокой продуктивности коров может быть реализована в начале лактации путем организации раздоя. В своей научной статье он утверждает, что одной из главнейших задач селекции и технологии считается получение и использование молочных коров с высокой (рекордной) продуктивностью. В производственных условиях высокопродуктивными считаются коровы, в 2...3 раза превышающие средние показатели стада. Такие животные являются селекционным эталоном по реализации генетического потенциала отдельной коровы, стада, породы. Особую ценность для селекции представляют коровы, имеющие удой за лактацию 10000 кг молока и выше. Автор указывает, что в хозяйствах Брянской области в 2022 г. их насчитывалось 2268 голов. В племзаводе ООО «Нива» от коровы № 1304936119 за 3-лактацию надоено 23794 кг молока жирностью 3,75%. Другие 4 коровы также показали продуктивность от 20807 до 21426 кг с содержанием жира в молоке от 3,80 до 4,38%. В племзаводе ООО «Красный Октябрь» наилучшая корова за лактацию дала 14608 кг молока жирностью 4,05%, в племзаводе ООО «Новый путь» – 14650 кг с содержанием жира 4,53%. Е.Я. Лебедько отмечает, что высокопродуктивные коровы в племенных стадах получены в основном кроссом линий (82,6%), а 17,4% – линейным разведением.

Авторы Е.А. Арзуманян с соавторами [12], Р.П. Васильев, Н.А. Долгоброд [20], Недашковский И.С. с коллегами [21], подчеркивают исключительно важное значение семейств в выведении высокопродуктивных коров и быков-производителей с ценной

наследственностью по материнской родословной. По мнению Е.И. Анисимовой [2] особая роль заключается в том, что животные ведущих семейств, обладая сочетанием отдельных ценных генетических факторов, обуславливающих высокую их продуктивность, через сыновей передают эти качества потомству и тем самым оказывают огромное влияние на генетический прогресс стада и породу в целом.

Нашими исследованиями, проведенными в ООО «Агро-Гулюшево», установлено, что средний удой 200 коров-рекордисток, отобранных в племенную группу матерей будущих быков, довольно высокий и составляет 10569 кг молока с массовой долей жира и белка в молоке 4,09% и 3,29%. Среди рекордисток линии Рефлекшн Соверинга 198998 наиболее высокую продуктивность имеют дочери быка Бакстерос 9920 (+ 820...1507 кг к сверстницам). Из 59 рекордисток этой линии 22 являются дочерьми производителя Бомаз Мана 60609783 и 22 – дочерьми быка Бума 262395. Исключительную племенную ценность представляет бык Лабель 257297, принадлежащий линии Вис Бек Айдиала 1013415. Средний удой 61 дочери данного быка за 305 дней лактации составил 10664 кг молока с жирностью 4,09%. Среди потомков быков линии Монтвик Чифтейна 95679 более высокопродуктивными были дочери быка Виннероса 3498, которые имели превосходство над сверстницами по удою на 602-1097 кг молока. Из 31 рекордистки этой линии 22 являются дочерьми производителя Виззарда 9373.

### Заключение

Полученные результаты исследований позволяют заключить, что правильный выбор родоначальника генеалогической линии и быков-производителей данной линии, широкое их использование, разведение и отбор потомков позволяют более быстрыми темпами увеличивать количество животных с довольно высокой продуктивностью. Среди всех использованных производителей большой племенной ценностью характеризуются быки Бомаз Ман 60609783 и Бум 262395 (линия Р.Соверинга), Лабель 257297 (линия В. Айдиала), Виззард 9373 (линия М.Чифтейна), от которых получено 127 рекордисток с высоким генетическим потенциалом продуктивности.

### Литература

1. Лебедько Е. Я. Получение и рациональное использование голштинских коров с рекордной молочной продуктивностью в племенных хозяйствах Брянской области // Вестник аграрной науки. 2024. №1 (106). С.33-37.
2. Анисимова Е. И. Оценка быков-производителей основных линий симментальского скота по продуктивности дочерей // Аграрный вестник Урала. 2019. №3 (182). С. 22-27.
3. Влияние геномных данных на надежность оценок племенной ценности быков-производителей молочного направления продуктивности / Р. В. Березовик, Н. М. Храмченко, И. Н. Коронец и др. //

Животноводство и ветеринарная медицина. 2023. № 1. С. 7-13.

4. Токова Ф. М., Улимбашев М. Б. Реализация генетического потенциала молочной продуктивности голштинского скота разной линейной принадлежности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. №4 (137). С. 108-111.

5. Молочная продуктивность коров разных экстерьерно – конституционных типов / С. Д. Батанов, Х. А. Амерханов, И. А. Баранов и др. // Известия ТСХА. 2021. Выпуск 2. С.102-113.

6. Горлов И.Ф. Влияние быков – производителей на молочную продуктивность потомства // Издательство Земля и жизнь. 28 апреля 2021 г. <https://zizh.ru/release/8-232-i-16-30-aprelya-2021-goda>. Дата обращения 21 июля 2025 г.

7. Шевелёва О. М., Свяженина М.А. Влияние быков на продуктивные качества потомства // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 40-56. doi:10.33284/2658-3135-106-4-40

8. Гришин А. А. Гришин В. А. Мещеров Ш. Р. Рейтинг племенных быков – производителей голштинской породы по данным оценки в 2024 году // Инновационные достижения науки и техники АПК 2025. № 4. С. 122 – 127.

9. Характеристика лучшего племенного материала на основе изучения перспективных маточных семейств / Н. И. Абрамова, Л. Н. Богданова, Г. С. Власова и др. // Молочнохозяйственный вестник. 2021. № 3. С. 9-21.

10. К вопросу ускорения селекционного прогресса на примере модельного стада скота голштинской породы с использованием процедуры ВШР / Е. Н. Нарышкина, Г. Н. Сингина, Л. П. Игнатьева, и др. // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 8. С. 66-74. doi: 10.53859/02352451\_2025\_39\_8\_66. EDN ULRVUN.

11. Жукова С. С., Гудыменко В. И. Генетические аспекты формирования молочной продуктивности черно-пестрых первотелок разных линий // Известия Оренбургского государственного университета. 2012. №5 (37). С. 100-102.

12. Катмаков П. С, Анисимова Е. И., Бушов А. В. Опыт селекционно-племенной работы с красно-пестрой породой скота // Вестник Ульяновского ГАУ. 2023. №4 (64). С. 198-203. doi:10.18286/1816-4501-2023-4-198-203

13. Целищева О. Н. Влияние кровности и линейной принадлежности на молочную продуктивность коров // Аграрная Россия. 2015. №10. С. 31-33.

14. Стрекозов Н. И. Научные основы повышения эффективности молочного скотоводства // Зоотехния. 2002. №1. С. 2-5.

15. Стрекозов Н. И. Молочное скотоводство России: настоящее и будущее // Зоотехния. 2008. №1. С. 18-21.

16. Вельматов А. П., Шишкина Т. В., Вельматов А. А. Эффективность разведения черно-пестрого скота

в лесостепной зоне Среднего Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 9. С. 51-52.

17. Прохоренко П. Н., Логинов Ж. Г. Оценка быков-производителей – важный вопрос в селекции молочного скота // Молочное и мясное скотоводство. 2005. №5. С. 15-17.

18. Шендаков А. И., Шендакова Т. А. Влияние генетических и средовых факторов на эффективность селекции молочного скота // Зоотехния. 2013. №1. С. 6-8.

19. Шевхужев А. Ф., Виноградова Р. Д., Смакуев Д. Р. Современное состояние молочного скотоводства и его продуктивный потенциал // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. №45. С. 123-128.

20. Соловьева О. И. Крестьянинова Е. И., Халикова Т. Ю. Продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы разного происхождения // Главный зоотехник. 2020. № 12 (209). С. 24-33. doi: 10.33920/sel-03-2012-03. EDN ESEKRP.

21. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Сермягин А. А. Влияние уровня геномного инбридинга голштинских быков-производителей на изменчивость показателей экстерьера и тип телосложения их дочерей // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 6. С. 66-74. doi:10.53859/02352451\_2023\_37\_6\_66.

#### References

1. Lebedko E. Ya. Production and rational use of Holstein cows with record milk productivity in breeding farms of the Bryansk region // Bulletin of agricultural science. 2024. No. 1 (106). P. 33-37.

2. Anisimova E. I. Evaluation of sires of the main lines of Simmental cattle by daughter productivity // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 3 (182). P. 22-27.

3. The influence of genomic data on the reliability of breeding value estimates for sires of dairy productivity / R. V. Berezovik, N. M. Khranchenko, I. N. Koronets, et al. // Animal Husbandry and Veterinary Medicine. 2023. No. 1. P.7-13.

4. Tokova F. M., Ulimbashev M. B. Realization of the genetic potential of dairy productivity of Holstein cattle of different linear affiliation // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2016. No. 4 (137). P. 108-111.

5. Dairy productivity of cows of different exterior and constitutional types / S. D. Batanov, H. A. Amerhanov, I. A. Baranov, et al. // Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2021. Issue 2. P. 102-113.

6. Gorlov I. F. Influence of breeding bulls on dairy productivity of offspring // Zemlya i Zhizn Publishing House. April 28, 2021 <https://zizh.ru/release/8-232-i-16-30-aprelya-2021-goda>. Accessed July 21, 2025.

7. Sheveleva O. M., Svyazhenina M. A. The influence of bulls on the productive qualities of offspring // Animal Husbandry and Forage Production. 2023. Vol. 106. No. 4. P. 40-56. doi:10.33284/2658-3135-106-4-40

8. Grishin, A. A. Grishin, V. A. Meshcherov, Sh. R. Rating of Holstein Breeding Bulls Based on 2024 Assessment Data // Innovative Achievements of Science and

Technology in the Agro-Industrial Complex 2025. No. 4. P. 122–127.

9. Characteristics of the Best Breeding Material Based on the Study of Promising Breeding Families / N. I. Abramova, L. N. Bogdanova, G. S. Vlasova, et al. // Dairy Farming Bulletin. 2021. No. 3. P. 9–21.

10. On the issue of accelerating breeding progress using the example of a model herd of Holstein cattle using the VSR procedure / E. N. Naryshkina, G. N. Syngina, L. P. Ignatyeva, et al. // Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2025. Vol. 39. No. 8. P. 66-74. doi: 10.53859/02352451\_2025\_39\_8\_66. EDN ULRVUN.

11. Zhukova S. S., Gudymenko V. I. Genetic aspects of the formation of milk productivity of black-and-white first-calf heifers of different lines // Bulletin of the Orenburg State University. 2012. No. 5 (37). P.100-102.

12. Katmakov P. S., Anisimova E. I., Bushov A. V. Experience in selection and breeding work with the Red-and-White cattle breed // Bulletin of the Ulyanovsk State Agrarian University. 2023. No. 4 (64). P.198-203. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-198-203

13. Tselishcheva O. N. Influence of blood type and linear affiliation on the milk productivity of cows // Agrarnaya Rossiya. 2015. No. 10. P. 31-33.

14. Strekozov N. I. Scientific basis for improving the efficiency of dairy cattle breeding // Zootechnics. 2002. No. 1. P. 2-5.

15. Strekozov N. I. Dairy cattle breeding in Russia: the present and the future // Zootechnics. 2008. No. 1. P.18-21.

16. Velmatov A. P., Shishkina T. V., Velmatov A. A. Efficiency of breeding black-and-white cattle in the forest-steppe zone of the Middle Volga region // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2009. No. 9. P.51-52.

17. Prokhorenko P. N., Loginov Zh. G. Evaluation of sires – an important issue in dairy cattle breeding // Dairy and meat cattle breeding. 2005. No. 5. pp. 15-17.

18. Shendakov A. I., Shendakova T. A. Influence of genetic and environmental factors on the efficiency of dairy cattle selection // Zootechnics. 2013. No. 1. P.6-8.

19. Shevkhuzhev A. F., Vinogradova R. D., Smakuev D. R. Current state of dairy cattle farming and its productive potential // Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2016. No. 45. P.123-128.

20. Solovieva, O. I. Productivity and reproductive qualities of Holstein cows of different origin / O. I. Solovieva, E. I. Krestyaninova, T. Yu. Khalikova // Chief Livestock Specialist. 2020. No. 12(209). P. 24-33. doi: 10.33920/sel-03-2012-03. EDN ESEKPK.

21. Nedashkovsky I.S., Konte A.F., Sermyagin A.A. Influence of the level of genomic inbreeding holstein and black-and-white sires on genetic variability and evaluation of the estimated breeding value of the body type of their daughters // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. Vol. 37. No. 5. P. 66-74. doi:10.53859/02352451\_2023\_37\_6\_66.

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство  
(биологические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-194-199

УДК 639.512

**Влияние абиотических факторов на темпы роста и выживаемость пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* в условиях аквакультуры**

**Е. В. Свешникова**✉, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биология, экология, паразитология, водные биоресурсы и аквакультура»

**Е. Е. Тураева**, аспирантка кафедры «Биология, экология, паразитология, водные биоресурсы и аквакультура»

**Е. М. Романова**, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Биология, экология, паразитология, водные биоресурсы и аквакультура»

**В. В. Романов**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉sveshnikovae@inbox.ru

**Резюме.** Статья посвящена исследованию особенностей постэмбрионального развития гигантской пресноводной креветки в условиях аквакультуры. В настоящее время в аквакультуру внедряются новые объекты товарного выращивания. Большой интерес на пути развития видового разнообразия в этой отрасли вызывает разведение ракообразных гидробионтов, в частности, гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii*. Опыт выращивания креветки в южных странах выявил высокую чувствительность креветки в раннем онтогенезе к факторам среды обитания. В связи с этим существует необходимость поиска оптимальных условий культивирования десятиногих беспозвоночных для их успешного выращивания. Целью исследований стало изучение динамики постэмбрионального роста гигантской пресноводной креветки под воздействием абиотических факторов разной интенсивности. Исследования по искусственному выращиванию личинок гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* проводили в условиях аквариумного комплекса в Ульяновской области. Объектом исследования послужили личинки гигантской пресноводной креветки с момента их вылупления. Изучали влияние температуры и солености воды на динамику роста и выживаемость личинок креветки. При проведении исследований использовали стандартные гидрологические и морфометрические методы и методы вариационной статистики. Лучшие показатели выживаемости личинок креветки *Macrobrachium rosenbergii* – 86% отмечали при уровне температуры воды 29...30 °С. Уменьшение значений температуры воды понижало выживаемость особей. При температуре 28...27 °С выживаемость составляла 61%, а при снижении температуры до 26...25 °С падала до 35%. При температуре воды выше 32 °С и ниже 24 °С наблюдали массовую гибель личинок (98...100%). При значениях солености воды 13 ‰ личинки *Macrobrachium rosenbergii* росли интенсивнее: к 10-дневному возрасту размер личинок с данной соленостью воды составлял 4,0±0,08 мм, что достоверно выше показателей одновозрастной группы личинок, выращиваемых при солености 10 ‰ Эксперимент показал, что одного и того же размера (7,0±0,10 мм) личинки, выращиваемые при уровне солености 13 ‰, достигли на несколько суток раньше.

**Ключевые слова:** пресноводная креветка, *Macrobrachium rosenbergii*, аквакультура, абиотические факторы, динамика роста, выживаемость.

**Для цитирования:** Влияние абиотических факторов на темпы роста и выживаемость пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* в условиях аквакультуры / Е.В. Свешникова, Е. Е. Тураева, Е. М. Романова и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 194-199. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-194-199

**The influence of abiotic factors on the growth rate and survivability of the *Macrobrachium rosenbergii* freshwater shrimp in aquaculture**

**E. V. Sveshnikova**✉, E. E. Turaeva, E. M. Romanova, V. V. Romanov

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉sveshnikovae@inbox.ru

**Abstract.** This article examines the postembryonic development of giant freshwater prawns in aquaculture. New commercially reared species are currently being introduced into aquaculture. The breeding of aquatic crustaceans, particularly the *Macrobrachium rosenbergii* giant freshwater prawn, is of great interest in enhancing species diversity in this industry. Experience with shrimp rearing in southern countries has revealed the shrimp high sensitivity to environmental factors during early ontogenesis. Therefore, appropriate rearing conditions for decapod invertebrates are needed to ensure their

successful rearing. The aim of this study was to investigate the dynamics of postembryonic growth of giant freshwater prawns exposed to abiotic factors of varying intensity. Research on the artificial rearing of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* larvae was conducted at an aquarium complex in the Ulyanovsk Region. The study examined giant freshwater prawn larvae from the moment of hatching. The influence of water temperature and salinity on the growth dynamics and survivability of shrimp larvae was studied. Standard hydrological, morphometric, and variation statistics methods were used in the research. The best survival rates for *Macrobrachium rosenbergii* shrimp larvae—86%—were observed at water temperatures of 29–30 °C. A decrease in water temperature decreased survival. At a temperature of 28–27 °C, survival was 61%, and with a decrease in temperature to 26–25 °C, the percentage dropped to 35%. At water temperatures above 32 °C and below 24 °C, mass mortality of larvae (98–100%) was observed. At water salinity values of 13 ‰, *Macrobrachium rosenbergii* larvae grew more intensively: by the age of 10 days, the size of larvae at this salinity was  $4.0 \pm 0.08$  mm, which is significantly higher than the same-age group of larvae reared at a salinity of 10 ‰. The experiment showed that larvae reared at a salinity of 13 ‰ reached the same size ( $7.0 \pm 0.10$  mm) several days earlier.

**Keywords:** freshwater shrimp, *Macrobrachium rosenbergii*, aquaculture, abiotic factors, growth dynamics, survival.

**For citation:** The influence of abiotic factors on the growth rate and survivability of the *Macrobrachium rosenbergii* freshwater shrimp in aquaculture / E. V. Sveshnikova, E. E. Turaeva, E. M. Romanova, V. V. Romanov // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 194–199 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-194-199

## Введение

Промысел водных беспозвоночных имеет достаточно перспективное значение для формирования как мировой, так и отечественной сырьевой базы морепродуктов ввиду их ценных пищевых качеств. Наблюдаемое в течение последних десятилетий стойкое сокращение природных ресурсов гидробионтов и возрастающий спрос на высокобелковую рыбную продукцию определили предпосылки развития внутренней индустриальной аквакультуры с элементами марикультуры [1, 2].

Среди выращиваемых в аквакультуре групп гидробионтов повышенный интерес вызывают десятиногие ракообразные. Масштабное воспроизводство подобных гидробионтов долгое время успешно развивалось только в тропических и субтропических климатических зонах. На текущий период времени благодаря бурному развитию высокотехнологичной аквакультуры география искусственного воспроизводства ракообразных расширяется по всему земному шару, а разнообразие их видов в аквакультуре постоянно растет [3, 4, 5].

В мировой аквакультуре наиболее распространенным видом по объему производства является гигантская пресноводная креветка *Macrobrachium rosenbergii*. Этот вид ракообразных культивируется в искусственных условиях, отличается высокими темпами роста и непродолжительным периодом выращивания [6, 7, 8].

Технология разведения представителей данного вида гидробионтов в искусственно созданной экосистеме аквариумного комплекса достаточно сложная и многоступенчатая. К числу биологических особенностей личинок *Macrobrachium rosenbergii* можно отнести их очень маленькие размеры, частые линьки, высокую восприимчивость к абиотическим факторам среды [6]. В процессе выращивания, в раннем онтогенезе, на отдельных стадиях развития креветка требует чередования соленой и пресной воды. [9, 10].

В России, несмотря на имеющийся опыт выращивания беспозвоночных гидробионтов, остаются недостаточно изученными вопросы их адаптации к условиям искусственного разведения, поэтому изучение

раннего онтогенеза ракообразных в искусственной экосистеме в связи с низкой устойчивостью их организма в этот период и высокой конкурентной борьбой является актуальным и имеет большое научное и практическое значение.

Цель исследований – изучение особенностей постэмбрионального роста гигантской пресноводной креветки в условиях аквакультуры при действии абиотических факторов разной интенсивности.

## Материал и методы

Исследования по искусственному выращиванию личинок гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* проводили на базе ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Объектом исследования послужили только что выклюнувшиеся личинки гигантской пресноводной креветки, которых выращивали в аквариумном комплексе с объемом одного резервуара 350 л. Условия содержания включали постоянное обеспечение водной среды воздухом посредством аэрации (концентрацию кислорода поддерживали на уровне 6...8 мг/л) и дополнительное освещение с интенсивностью около 1500 люкс.

Температура поддерживалась круглосуточно на уровне 28...30 °C. На начало выклева и до 20 суток поддерживали соленость воды 13 ‰, с 21 по 25 день 12 ‰, с 25 по 30 день 11 ‰, с 30 по 34 день 10 ‰. Соленость постепенно понижали до периода перехода личинки в постличинку. Нижний порог солености составлял 10 ‰. Для поддержания солености воды в аквариумах использовали морскую соль. Концентрацию соли определяли посредством рефрактометра модели Мереон 72029.

Для выполнения исследовательских работ было использовано следующее оснащение: линейка-микрометр модели JLLSMCMGGX с ценой деления 0,1 мм, оптический прибор Микромед 2 варианта исполнения 3-20, фотокамера Nikon Coolpix P300, ртутный термометр с ценой деления до 0,1 °C. (ГОСТ 13646). Изучение роста и развития молодняка креветок осуществлялось посредством ежедневных замеров (рис. 1). Длину (L) личинок определяли согласно стандартной методике с использованием линейки-микрометра путем измерения расстояния от кончика



рострума до окончания тельсона с точностью до 0,1 мм [10].

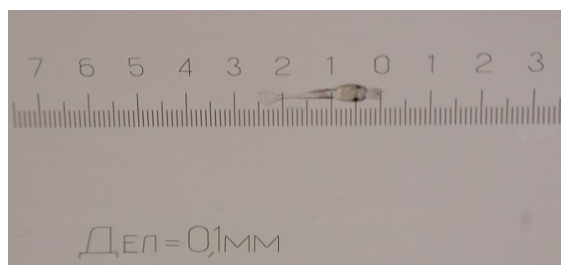


Рис. 1. Измерение личинки креветки с помощью линейки-микрометра

Уровень pH и содержание ионов в аквариумной воде измеряли портативным прибором Hanna HI 9025C, количество растворенного кислорода - с помощью портативного анализатора МАРК 302Э.

Статистический анализ проводили с использованием электронных таблиц Excel, определялись традиционные биометрические показатели.

#### Результаты

На продолжительность постэмбрионального онтогенеза пресноводной гигантской креветки влияют такие факторы среды, как температура воды, соленость, содержание кислорода, pH, гидрохимические показатели и режим питания [11, 12]. Параметры качества воды в аквариумах для выращивания личинок представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры качества воды в аквариумах для выращивания личинок

Показатель	Фактические значения	Предельно-допустимые значения
Температура воды в бассейне, °C	26...30 °C	26,0...32,0
Соленость, ‰	10...13 ‰	8,0...14,0
Содержание кислорода, г/л	7,0 мг/л	6,0...8,0
Значение pH	7,5	7,0...8,0
Нитраты, мг/л	20,0	50,0...70,0
Нитриты, мг/л	0,1	0,1...0,5
Аммонийный азот, мг/л	0,2 мг/л	0,1...1,5

Качество воды в аквариуме с личинками креветок проверяли ежедневно, утром и вечером. В течение всего исследования показатели оставались в рамках установленных норм.

#### Выживаемость личинок креветки в зависимости от температуры среды

Важным этапом при установлении оптимальных параметров воды в процессе выращивания личинок гигантской креветки *Macrobrachium rosenbergii* является температурный диапазон. С целью исследования выживаемости личинок при различных температурных параметрах воды личинок, культивированных от одной самки, поместили в несколько емкостей (объемом 200 л) аквариумного комплекса. Количество особей в каждом аквариуме на старте эксперимента составило 500 шт. Нами установлено: при

значениях температуры воды 29...30 °C личинки активны, хорошо потребляли корма, периодически линяли, их сохранность составляла 86% (430,0±16,1). Рост температуры воды выше 32 °C вызывал массовый падеж личинок, достигающий даже до 100% (рис. 2).

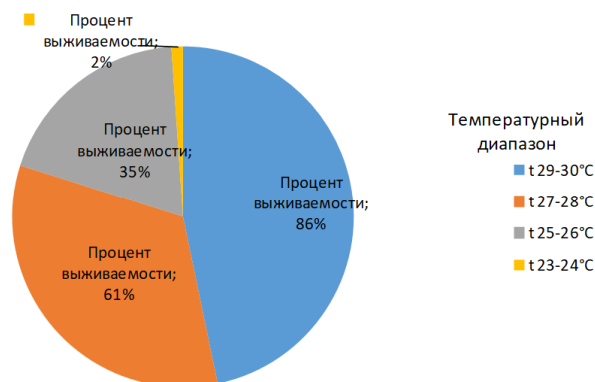


Рис. 2. Процент выживаемости личинок при разном диапазоне температур

При снижении уровня температуры воды до 27...28 °C личинки сохраняли высокую жизнеспособность, но возникали трудности с процессом линьки, приводящие к гибели особей, не сумевших завершить этот этап развития. Уровень смертности достигал 39% (195±1,40) шт.

При значениях температуры +25...26 °C активность личинок снижалась, значительная часть особей испытывала трудности с захватом науплий артемии, дополнительно возникали проблемы с процессом линьки, что вызывало повышенную смертность. Уровень выживания при данных значениях температуры составил всего 35% (175±1,72) экземпляров.

К диапазону температур 23...24 °C личинки плохо адаптировались, были малоактивны, отмечали снижение интереса к кормам, высокий процент естественной гибели составлял 98% (489±2,86).

Наивысший процент выживаемости личинок креветки *Macrobrachium rosenbergii* отмечали при значениях температуры воды 29...30 °C – 86% (430,0±16,1). Со снижением параметров температуры выживаемость особей уменьшается: 27 °C – 61% (290±5,60), 26 °C – 35% (175±1,72) шт. При уровне температуры среды выше 32°C и ниже 24°C наблюдали массовую гибель личинок – 100...98%.

Важным фактором на ранних этапах развития гигантской пресноводной креветки считается уровень солености воды [2]. Нами проведено исследование по влиянию разных значений солености воды на динамику роста личинок.

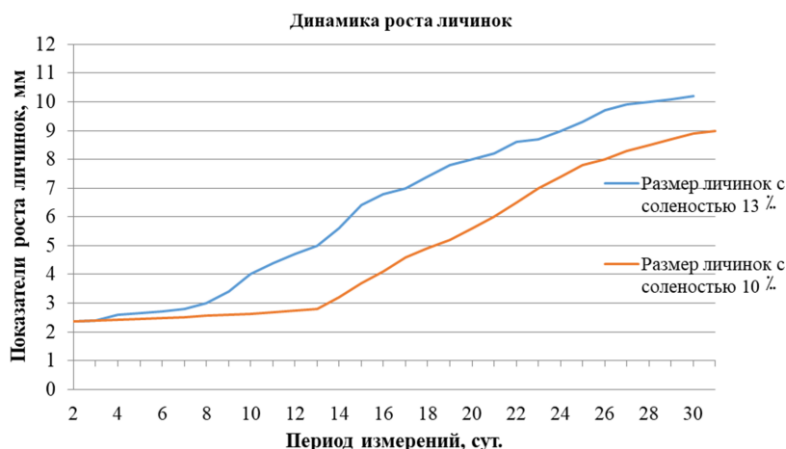
Динамика роста тела личинок гигантской пресноводной креветки при разном уровне солености воды представлена на рис. 3.

Согласно полученным данным была выявлена зависимость динамики роста личинок креветки от разного уровня солености воды. Исследования проводили при значениях солености воды: 13 ‰ и 10 ‰.



При условиях солености воды 13 ‰, личинки *Macrobrachium rosenbergii* растут интенсивнее. Так, к 10-дневному возрасту размер личинок с соленостью воды 13 ‰ составил  $4,0 \pm 0,08$  мм, тогда как

в одновозрастной группе с соленостью 10 ‰ длина тела личинок в этот же период находилась на уровне  $- 2,63 \pm 0,05$  мм.



Пояснение:  $p < 0,05$  сравнение между группами личинок с разным уровнем солености

Рис. 3. Параметры длины личинок креветки при разных значениях солености воды

Данный показатель достоверно выше ( $P > 0,05$ ) размеров тела при меньшей солености. Эксперимент показал, что одного и того же размера ( $7,0 \pm 0,10$  мм) личинки, выращиваемые при значении солености 13 ‰, достигли в возрасте 17 суток, а личинки с уровнем солености 10 ‰ – только на 23 сутки выращивания. Замедление роста личинок при значении солености воды 10 ‰ можно объяснить увеличением сроков линьки при меньшем уровне солености.

Максимальное количество личинок в условиях солености 13 ‰ перешло в стадию постличинки на 29 сутки при длине тела  $10,2 \pm 0,15$  мм. В то же время исследуемые нами личинки при солености 10 ‰ прошли стадию метаморфоза на 31 сутки при размерах  $9,0 \pm 0,10$  мм. Увеличение размеров тела личинок креветки за весь период развития при значениях солености 13 ‰ достигло  $8,1 \pm 0,10$  мм, в другой исследуемой группе при значениях солености 10 ‰ рост личинок составил  $6,65 \pm 0,08$  мм. В условиях солености 13 ‰ личинки достигли в 1,5 раза больших размеров за меньший период времени.

Следовательно, значения солености и температуры среды являются определяющими факторами развития в период личиночного метаморфоза гигантской креветки. Так при снижении температурных показателей воды, стадии личиночного метаморфоза становятся более длительными, а выживаемость личинок снижается. С возрастанием температуры, превышающей оптимальное значение, продолжительность личиночных стадий резко сокращается вплоть до того, что личинка не проходит полностью всех стадий своего развития, что также существенно снижает выживаемость.

Следующим этапом исследований по мере роста личинок был этап опреснения.

#### Этап опреснения

Появление первых постличинок наблюдали на 28 день, массовый метаморфоз которых 80%

( $400 \pm 2,54$ ) произошел на 32 сутки. Через 34 дня все исследуемые особи трансформировались в постличинки, отличительными особенностями которых являлись: донный образ жизни или нахождение на стенках аквариума, передвижения роострумом вперед, совершая движения в разные стороны.

После полного завершения метаморфоза всех личинок на 34-й день проводилось опреснение моллюды. Для этого использовали два разных метода.

Первым методом осуществляли постепенное опреснение постличинок на протяжении четырех часов путем непрерывного добавления пресной воды, плавно снижая концентрацию соли с 10 до 0 промилле. Во время процесса опреснения постличинки оставались подвижными и визуально не проявляли никаких признаков реакции на изменение солевого состава среды.

Второй метод опреснения воды в аквариумах с постличинками заключался в резком снижении солености путём быстрой замены воды с уровня 10 ‰ до нуля. В этом случае наблюдали кратковременную потерю активности. Несмотря на временную потерю активности личинок в процессе опреснения, этот способ не повлиял отрицательно на их выживаемость.

#### Кормление личинок креветки

Одним из главных факторов успешного культивирования и выращивания личинок гигантской пресноводной креветки является сбалансированный по содержанию протеина бесперебойный режим кормления. На первых четырех (I–IV) стадиях необходимым условием роста и развития личинок должны быть живые корма. Высокие показатели выхода постличинок из личинок обусловлены сохранением достаточной концентрации корма в течение полного личиночного периода [13, 14].

С 1 по 20 день кормили личинок суточными науплиями артемии – на 1 мл воды 5 шт. Также в качестве прикорма использовали яичный желток

отваренный и мелко измельченный. С 21 дня основное питание личинок - живые науплии, которые чередовали с кормлением желтком и замороженной дафнией до 30 дня. С 30 дня по 34 день в качестве основного корма скармливали суточных науплий + яйца артемии декапсулированные + дафния замороженная + яичный желток, чередуя их как прикорм.

Наши исследования показали, что личинки на протяжении первых 34 дней активно потребляли науплии артемии. Предпочтительно предлагать личинкам однодневных науплий, поскольку двухдневных и трехдневных особей им трудно ловить. Мы также наблюдали хорошее потребление яичного желтка и дафний личинками *Macrobrachium rosenbergii*. К декапсулированным яйцам артемии личинки проявляли мало интереса.

Ряд авторов отмечают склонность креветок к каннибализму [15], что отчасти подтвердилось и нашими наблюдениями. Мы не зафиксировали случаев нападения личинок на живых особей своего вида, вместе с тем они охотно поедают погибших собратьев.

#### **Обсуждение**

Гигантская пресноводная креветка характеризуется быстрым ростом, что делает её крайне привлекательным объектом для выращивания в аквакультуре, особенно в условиях сокращения природных ресурсов гидробионтов и быстрого развития высокотехнологичного производства [6, 7, 8]. Ввиду сложной, многоступенчатой технологии выращивания креветки *Macrobrachium rosenbergii* на ранних этапах онтогенеза стоит задача детального изучения характера влияния абиотических факторов на динамику роста и развития креветки, а также на ее выживаемость в зависимости от температуры и солености среды [6, 9, 10].

На основании проведенной серии исследований было выявлено, что наибольший процент сохранности личинок креветки Розенберга отмечен при значениях температуры воды 29...30 °С. По данным С.Г. Чикалова, увеличение температуры воды от 33 °С до 35 °С в аквариуме с личинками оказало губительное влияние на всю генерацию личинок [9]. В нашем эксперименте при росте температуры воды выше 32 °С также наблюдали массовый падеж личинок, который составлял 98%.

Согласно результатам исследований Е.В. Овсянниковой, оптимальный уровень солености для личинок креветок Розенберга составляет 12 ‰ [6]. Согласно нашим исследованиям, наибольшая интенсивность роста личинок пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* наблюдалась при уровне солености воды 13 ‰.

#### **Заключение**

Для максимальной выживаемости личинок креветки *Macrobrachium rosenbergii* на уровне 86%, необходимо соблюдать температурный режим 29...30 °С. Снижение температуры до 27 °С вызывало падение выживаемости до 61%, при значениях

температуры 26 °С выживаемость падала до 35%. Использование температурного режима: выше 32 °С и ниже 24 °С вызывало массовую гибель личинок (98...100%).

Наиболее выраженную интенсивность роста личинок наблюдали при уровне солености воды 13 ‰. Метаморфоз в постличинку при уровне солености 13 ‰ осуществлялся на 2 суток быстрее, чем при солености 10 ‰. Общий прирост длины тела личинок за весь период развития при значениях солености 13 ‰ в полтора раза превысил соответствующий показатель при уровне солености 10 ‰ промилей.

#### **Литература**

1. Перспективы культивирования белоногой креветки *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) в различных регионах России с учетом гидрохимических характеристик водоемов и сезонной динамики температурных показателей / Р. Р. Борисов, Н. П. Ковачева, И. Н. Никонова и др. // Рыбное хозяйство. 2021. № 6. С. 97-103.
2. Ковачева Н. П., Жигин А. В., Борисов Р. Р. Аквакультура ракообразных: современное состояние, тенденции развития // Рыбное хозяйство. 2018. № 2. С. 78-83.
3. Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system / E. L. C. Ballester, S. A. Marzarotto, C. S. Castro, et al. // Aquac. Res. 2017. No. 48. P. 4748-4755.
4. Краснощек С. А., Мельник И. В., Зайцев В. Ф. Влияние препарата «плацента денатурированная эмульгированная» на рост и развитие личинок гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2005. № 3 (26). С. 211-214.
5. Статкевич С. В. Опыт и проблемы искусственного воспроизводства гигантской креветки *Macrobrachium rosenbergii* (deMan, 1879) в условиях Крыма // Водные биоресурсы и среда обитания 2018. Том 1. № 1. С. 76-85.
6. Овсянникова Е. В., Крючков В. Н. Влияние абиотических факторов на рост и выживание личинок гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* в условиях ее товарного выращивания // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2004. № 2 (21). С. 181-184.
7. Сальников Н. Е. Пресноводные креветки – перспективный объект аквакультуры Прикаспийского и Северо-Кавказского региона // Зооиндустрия. 2001. № 1. С. 48–52.
8. New M. B., Valenti W. C. Freshwater prawn culture: the farming of *Macrobrachium rosenbergii*. – Oxford, England: Blackwell Science, 2000. 215 p.
9. Чикалова С. Г. Гидрохимия личиночной стадии креветки розенберга в соленой воде // В сборнике: Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации. Сборник статей Всероссийской

научно-практической конференции. Пенза. 2023. С. 373-377.

10. Статкевич С. В. Некоторые проблемы искусственного воспроизводства личинок гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palaemonidae) // «Известия ТИПРО». Владивосток. 2015. Том 183. С. 252-258.

11. Червяков Б. В. Разведение пресноводных креветок // Рыбное хозяйство. 1991. № 3. С. 35–39.

12. К вопросу культивирования гигантской пресноводной креветки (*Macrobrachium rosenbergii*) / Д. В. Шумейко, Е. А. Ключко, Ю. Д. Назина и др. // Генетика и разведение животных 2021. № 2. С. 57-65.

13. Hossain M. A., Lippi P. Low-cost diet for monoculture of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* (De Man)) in Bangladesh // Aquacult. Res. 2007. Vol. 38. P. 232–238.

14. Влияние кормления различными видами кормов при выращивании пресноводной креветки Розенберга (*Macrobrachium rosenbergii*) в установке замкнутого водоснабжения / Ж. Б. Куанчалеев, К. Н. Сыздыков, А. Г. Андрущак и др. // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2024. № 3 (122). С. 46-54.

15. Снижение уровня каннибализма у гигантской пресноводной креветки *macrobrachium rosenbergii* при выращивании в искусственных условиях / А. К. Пономарев, Т. И. Хорева, С. С. Иванов и др. // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2024. № 2. С. 52-59.

#### References

1. Prospects for cultivating whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) in various regions of Russia, taking into account the hydrochemical characteristics of water bodies and seasonal temperature dynamics / R. R. Borisov, N. P. Kovaceva, I. N. Nikonova, et al. // Fisheries. 2021. No. 6. P. 97-103.

2. Kovacheva N. P., Zhigin A. V., Borisov R. R. Aquaculture of crustaceans: current state, development trends // Fisheries. 2018. No. 2. P. 78-83.

3. Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in a biofloc system / E. L. C. Ballester, S. A. Marzarotto, C. S. Castro, et al. // Aquac. Res. 2017. No. 48. P. 4748-4755.

4. Krasnoshchek S. A., Melnik I. V., Zaitsev V. F. Effect of the drug "denatured emulsified placenta" on growth and development of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* larvae // Vestnik of Astrakhan State Technical University. 2005. No. 3 (26). P. 211-214.

5. Statkevich S. V. Experience and problems of artificial reproduction of the giant prawn *Macrobrachium rosenbergii* (deman, 1879) in Crimea // Aquatic bioresources and habitat 2018. Vol. 1. No. 1. P. 76-85.

6. Ovsyannikova E. V., Kryuchkov V. N. Influence of abiotic factors on growth and survival of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* larvae under commercial cultivation // Vestnik of the Astrakhan State Technical University. 2004. No. 2 (21). P. 181-184.

7. Salnikov N. E. Freshwater prawns – a promising aquaculture object in the Caspian and North Caucasus regions // Zooindustry. 2001. No. 1. P. 48-52.

8. New M. B., Valenti W. C. Freshwater prawn culture: the farming of *Macrobrachium rosenbergii*. – Oxford, England: Blackwell Science, 2000. 215 p.

9. Chikalova S. G. Hydrochemistry of the larval stage of Rosenberg's shrimp in salt water // In the collection: Regional problems of sustainable development of the agro-industrial complex in the context of digital transformation. Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. Penza, 2023. P. 373-377.

10. Statkevich S. V. Some problems of artificial reproduction of larvae of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palaemonidae) // Izvestia of TINRO. Vladivostok, 2015. Vol. 183. P. 252-258.

11. Chervyakov B. V. Breeding freshwater shrimp // Fisheries. 1991. No. 3. P. 35-39.

12. On the issue of culturing giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) / D. V. Shumeiko, E. A. Klochko, Yu. D. Nazina, et al. // Genetics and Animal Breeding 2021. No. 2. P. 57-65.

13. Hossain M. A., Lippi P. Low-cost diet for monoculture of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* (De Man)) in Bangladesh // Aquacult. Res. 2007. Vol. 38. P. 232–238.

14. Effect of feeding different types of feed when rearing Rosenberg's freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in a recirculating aquaculture system / Zh. B. Kuanchaleev, K. N. Syzdykov, A. G. Andrushchak, et al. // Science Vestnik of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin. 2024. No. 3 (122). P. 46-54.


15. Reduction of cannibalism in the giant freshwater prawn *macrobrachium rosenbergii* when rearing under artificial conditions / A. K. Ponomarev, T. I. Khoreva, S. S. Ivanov, et al. // Vestnik of the Kerch State Marine Technological University. 2024. No. 2. P. 52-59.

## 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-200-206

УДК 631.331

**Сравнительная оценка энергетической эффективности технологий возделывания сои**


**Е.С. Зыкин** , доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**В.И. Курдюмов**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**С.П. Албутов**, инженер

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

 evg-zykin@yandex.ru

**Резюме.** Работа посвящена изучению энергетической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур с учетом параметров почвенной среды и теоретическому обоснованию факторов, существенно влияющих на оценочный коэффициент. Структурный анализ и анализ технологий, реализуемых набором известных технических средств, позволили выявить не только рациональность используемых технологий и средств, но и выявить недостатки наиболее близких аналогов. В частности, не всегда удается реализовать предлагаемую новую прогрессивную технологию без нарушения отдельных требований, которые соблюдаются в традиционных технологиях. Анализ известных литературных источников позволил выявить и сформировать эвристические идеи и технологии, на основе которых разработаны новые способы гребневой возделывания и соответствующие технические средства. С учетом требований к реализации технологий возделывания выявлена их взаимосвязь, которая обусловлена необходимостью достижения главных целей – увеличению урожайности выращиваемой продукции и снижению ее себестоимости. При этом следует обеспечить уменьшение металлоемкости и тягового сопротивления технических средств, максимально возможное число технологических операций с высоким качеством их выполнения, а также сохранение и повышение плодородия почв. Выявлено, что минимизацию энергетических затрат и повышение энергоэффективности гребневой технологии возделывания с одновременным увеличением урожайности пропашных культур возможно обеспечить при соблюдении ряда факторов, в частности, правильной организации севооборота, оптимизацией количества и вида реализуемых операций, а также режимов их выполнения. Теоретические и практические исследования по выбору необходимого числа и вида технологических операций показали, что использование разработанной методики оценки технологий выращивания сельскохозяйственных культур, основанной на соотношении энергии, полученной в результате производства продукции, и энергии, затраченной на её производство, разработанной с учетом результатов исследований известных учёных, позволили сделать вывод о том, что энергия, расходуемая на выращивание продукции, в основном зависит от количества потребленного жидкого топлива, затраченных трудовых ресурсов, массы семенного материала, удобрений и химических средств защиты растений. Разработанная и запатентованная гребневая технология возделывания пропашных культур позволяет не менее чем на 855 МДж уменьшить энергетические затраты за возделывание сои и не менее чем на 1,09 единиц повысить коэффициент энергетической эффективности этой технологии в сравнении с традиционной технологией возделывания сои.

**Ключевые слова:** гребневая технология, возделывание, прикатывание, посев, пропашные культуры, каток, сеялка


**Для цитирования:** Зыкин Е.С., Курдюмов В.И., Албутов С.П. Сравнительная оценка энергетической эффективности технологий возделывания сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 200-206. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-200-206

**Comparative assessment of the energy efficiency of soybean cultivation technologies**

**E. S. Zykin** , **V. I. Kurdyumov**, **S. P. Albutov**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, 1

 evg-zykin@yandex.ru

**Abstract.** This paper examines the energy efficiency of agricultural crop cultivation technologies, taking into account soil parameters, and provides a theoretical justification for the factors that significantly influence the evaluation coefficient. Structural analysis and analysis of technologies implemented using a range of known technical means allowed us to identify not only the rationale for the technologies and means used but also the shortcomings of their closest analogues. In particular, it is not always possible to implement a proposed new progressive technology without violating certain requirements observed in traditional

technologies. An analysis of known literary sources allowed us to identify heuristic ideas and technologies, based on which new raised-bed cultivation methods and corresponding technical equipment were developed. Taking into account the requirements for implementing cultivation technologies, their interrelationships were identified, which are determined by the need to achieve the main goals—increasing the yield of cultivated products and reducing their cost. At the same time, it is necessary to ensure a reduction in metal consumption and traction resistance of technical equipment, the maximum possible number of technological operations with high quality execution, and the preservation and improvement of soil fertility. It has been established that minimizing energy costs and increasing the energy efficiency of raised-bed cultivation while simultaneously increasing the yield of row crops can be achieved by observing a number of factors, in particular, proper crop rotation, optimization of the number and type of operations performed, and their implementation modes. Theoretical and practical studies on selecting the required number and type of technological operations have shown that the use of the developed methodology for assessing crop cultivation technologies, based on the ratio of energy obtained from product production to the energy expended in its production, developed taking into account the research results of renowned scientists, allowed us to conclude that the energy expended on growing products primarily depends on the amount of liquid fuel consumed, labor expended, the mass of seed material, fertilizers, and chemical plant protection products. The developed and patented ridge technology for cultivating row crops allows for a reduction in energy costs for cultivating soybeans by at least 855 MJ and an increase in the energy efficiency coefficient of this technology by at least 1.09 units compared to traditional soybean cultivation technology.

**Key words:** ridge technology, cultivation, rolling, sowing, row crops, roller, seeder.

**For citation:** Zykin E. S., Kurdyumov V. I., Albutov S. P. Comparative assessment of the energy efficiency of soybean cultivation technologies // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 200-206 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-200-206

### Введение

После 2000-х годов в мировой сельскохозяйственной практике и, в том числе, на территории Российской Федерации, активно пропагандируют не только энерго- и ресурсосбережение при обработке почвы и посеве, применение комбинированных широкозахватных почвообрабатывающе-посевных агрегатов, но и переход на минимальную и нулевую технологии возделывания сельскохозяйственных культур [1, 2, 3].

Кроме того, широко внедряются и рекламируются почвозащитные технологии возделывания культур, направленные на сохранение плодородия почвы.

Практическая реализация нулевой технологии подразумевает замещение операций механического рыхления почвы и уничтожения сорных растений опрыскиванием с использованием химических препаратов [4, 5, 6].

Применение комбинированных широкозахватных почвообрабатывающе-посевных агрегатов в значительной степени позволяет не только уменьшить переуплотнение плодородного слоя почвы и распыление почвы движителями тракторов и сельскохозяйственных машин, но и минимизировать испарение почвенной влаги [7, 8, 9].

В настоящее время не всегда удается реализовать предлагаемую новую прогрессивную технологию без нарушения отдельных требований, которые соблюдаются в традиционных технологиях. Также при реализации гребневых технологий возделывания сельскохозяйственных культур до настоящего времени отсутствуют серийно-выпускаемые специальные машины, позволяющие обеспечить лучшие, по сравнению с массово используемыми технологиями, значения показателей энергосберегающей и почвозащитной технологий возделывания пропашных культур без применения экологически небезопасных химических средств защиты растений. В

частности, гребни почвы формируют как до, так и после посева, но при этом технологические операции осуществляют с разрывом во времени [10, 11, 12].

Цель исследования – изучение и теоретическое обоснование необходимого числа и вида операций разработанной гребневой технологии возделывания пропашных культур и ее энергетическая оценка.

### Материалы и методы

Несомненно, разработка и масштабное внедрение в производство комбинированных машин способствует значительному уменьшению материальных, человеческих и природных ресурсов [13, 14, 15]. Применение зарубежных комбинированных машин, с одной стороны, уменьшает трудоемкость и время выполнения технологических операций, а с другой стороны, - увеличивает эксплуатационные затраты на реализацию технологии из-за высокой стоимости таких машин. Кроме того, такие машины агрегируют с энергонасыщенными тракторами, так как на их раме эшелонировано сосредоточен набор рыхлящих, посевных и заделывающих рабочих органов, заимствованных от однооперационных машин и агрегатов [16, 17].

С учетом начавшегося в 2014 г. масштабного импортозамещения во многих отраслях промышленности на территории Российской Федерации, которое активно продолжилось в 2022 г., можно заключить, что задача разработки, исследования и внедрения в производство отечественных сельскохозяйственных почвообрабатывающих и посевных машин с меньшим набором рабочих органов, но выполняющих большее количество различных технологических операций, приобретает наибольшую актуальность.

Исходя из приведенных выше доводов сформулируем основные требования для разработки эффективных многофункциональных технических средств обработки почвы и посева пропашных культур по гребневой технологии (рис. 1).



Рис. 1. Требования к разработке средств механизации возделывания пропашных культур

Анализ представленных на рис. 1 требований позволил заключить, что их взаимосвязь обусловлена достижением главных целей – увеличением урожайности выращиваемой продукции и снижением ее себестоимости, уменьшением металлоемкости и тягового сопротивления технических средств,

обеспечением максимально возможного числа технологических операций и высокого качества их выполнения, а также сохранением и повышением плодородия почв.

Минимизацию энергетических и материальных затрат и повышение энергоэффективности гребневой технологии возделывания с одновременным увеличением урожайности пропашных культур возможно обеспечить при соблюдении множества факторов, в частности, правильной организации севооборота, оптимизацией количества и вида реализуемых операций, а также режимов их выполнения (рис. 2).

Рациональное осмысление эмпирических фактов и технологий возделывания пропашных культур на постоянных гребнях почвы и гребнях почвы, формируемых до посева, позволило систематизировать полученные ранее данные и гипотезы, а также выявить, что практическая реализация таких технологий требует не только значительного шлейфа специализированных почвообрабатывающих машин, но и широкого применения пестицидов.

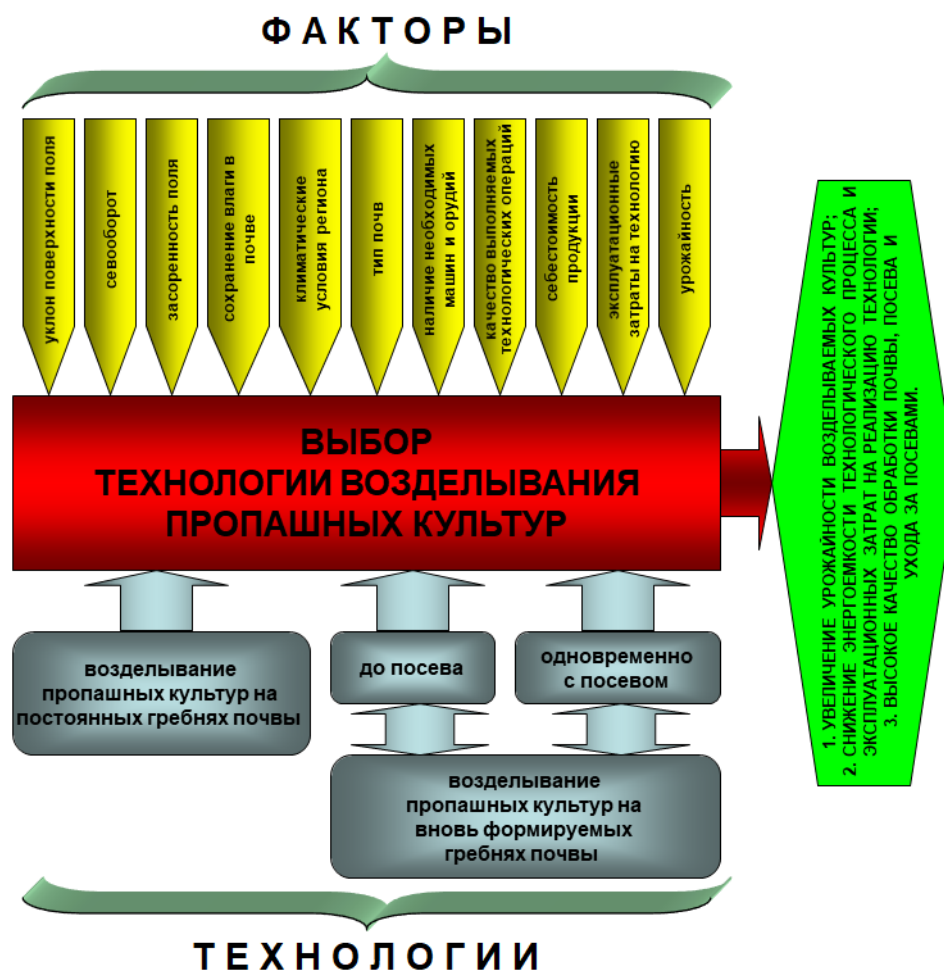


Рис. 2. Технологии и факторы, влияющие энергетическую эффективность технологии возделывания сельскохозяйственных культур

Известно, что типичными операциями по подготовке поля во многих агроклиматических зонах Российской Федерации являются осенняя зяблевая вспашка или дискование почвы в осенний период года и закрытие влаги в почве боронами в весенний

период. В дальнейшем, при необходимости, уничтожают сорняки и рыхлят почву, а посев выполняют пропашными сеялками, оснащенными прикатывающими катками различных конструкций. Уход за посевами при этом выполняют контактно – пропашными



культиваторами и бесконтактно – опрыскивателями [18].

Обеспечить максимальные показатели качества энергосберегающей и почвозащитной технологий возделывания пропашных культур возможно, применяя разработанные на кафедре «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ и запатентованные безгербицидные гребневые технологии возделывания пропашных культур, новизна которых подтверждена патентами Российской Федерации на изобретение № 2716117, № 2762407 и № 2758517 [19, 20, 21]. Их сущность заключается в том, что при достижении влажности почвы в пределах 20...25% после весеннего закрытия влаги боронами разработанным почвообрабатывающе-посевным агрегатом за один проход выполняют операции рыхления почвы, подрезания сорняков, формирования уплотненного посевного ложа и укладки на него семян, создания гребня почвы над строчками посева и уплотнения гребней (рис. 3).

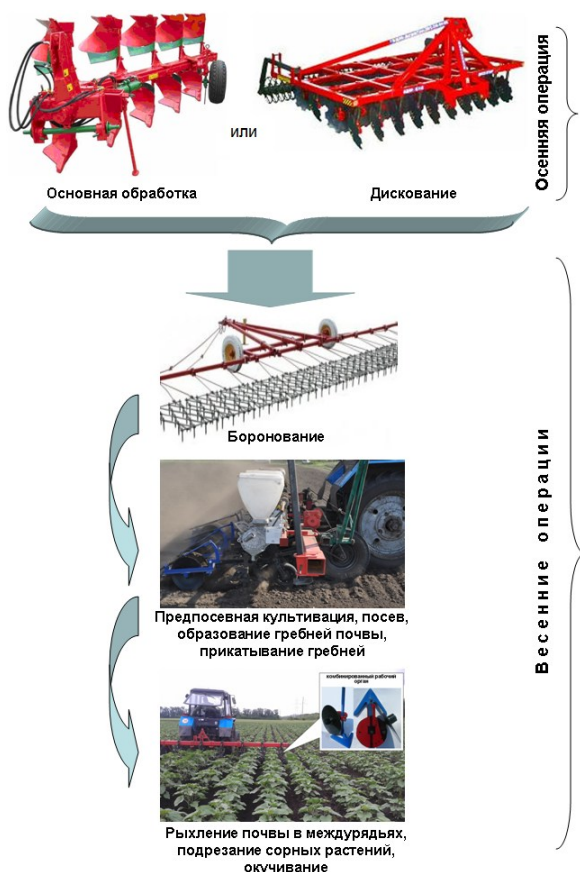


Рис. 3. Предлагаемая технология возделывания пропашных культур

В дальнейшем, при безгербицидном уходе за посевами пропашных культур одновременно специализированными рабочими органами, монтируемыми на грядилках пропашного культиватора, выполняют не только подрезание корневой системы сорняков в основных междурядьях, но и уничтожение сорняков в защитных зонах возделываемой культуры

путем горизонтального смещения в защитные зоны сухой почвы из основных междурядий.

Выполнение посевных операций без разрыва во времени позволило не только минимизировать потери почвенной влаги и улучшить условия для прорастания семян, но и максимально уменьшить число задействованных технических средств, а также затраты материальных и трудовых ресурсов.

Смещение почвы без оборота пласта в горизонтальной плоскости из основных междурядий на сорняки, расположенные в защитных зонах, позволяет предварительно замедлить их рост и в дальнейшем окончательно прекратить их вегетацию. Кроме того, при этом исключается применение дорогостоящих химических средств защиты растений, уменьшаются эксплуатационные издержки и себестоимость продукции.

### Результаты

Выделение существенных связей между исследуемым объектом и внешней средой, обобщение результатов проведенных ранее учеными эмпирических исследований, позволило выявить общие закономерности и формализовать параметры, по которым можно адекватно оценить энергетическую эффективность той или иной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Основным оценочным показателем служит коэффициент энергетической эффективности  $k_{\text{ээ}}$ . Его определяют как отношение энергии  $\mathcal{E}_{\text{п}}$ , накопленной в урожае готовой продукции, к суммарной энергии  $\mathcal{E}_{\text{ппр}}$ , затраченной на его производство [18]:

$$k_{\text{ээ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{п}}}{\mathcal{E}_{\text{ппр}}} \quad (1)$$

где « $\mathcal{E}_{\text{п}}$  – энергия готовой продукции растениеводства, МДж;  $\mathcal{E}_{\text{ппр}}$  – энергия на производство продукции растениеводства, МДж» [18].

В случае, когда  $k_{\text{ээ}}$  превышает единицу, технологию можно считать энергетически эффективной.

Общее содержание энергии, накопленной в урожае,

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = \mathcal{E}_{\text{оп}} + \mathcal{E}_{\text{пп}} = Y_{\text{оп}} k_{\text{оп}} q_{\text{оп}} + Y_{\text{пп}} k_{\text{пп}} q_{\text{пп}}, \quad (2)$$

где « $Y_{\text{оп}}$  – урожайность основной продукции, кг/га;  $k_{\text{оп}}$  – коэффициент пересчета основной продукции на сухое вещество;  $q_{\text{оп}}$  – содержание энергии в 1 кг сухого вещества основной продукции, МДж/кг;  $Y_{\text{пп}}$  – урожайность побочной продукции, кг/га;  $k_{\text{пп}}$  – коэффициент пересчета побочной продукции на сухое вещество;  $q_{\text{пп}}$  – содержание энергии в 1 кг сухого вещества побочной продукции, МДж/кг» [18].

Выявим показатели, оказывающие основное влияние на энергозатраты при реализации технологий в растениеводстве:

$$\mathcal{E}_{\text{ппр}} = \sum_{i=1}^n (H_{\text{Тго}} \alpha_{\text{Т}}) + \sum_{i=1}^n (H_{\text{Трт}} \alpha_{\text{Т}}) + \sum_{i=1}^n (e T_{\text{р}}) + \alpha_{\text{с}} H_{\text{с}} + \frac{\alpha_{\text{у}} H_{\text{у}} k_{\text{исп}}}{T_{\text{у}}} + \frac{\alpha_{\text{х}} H_{\text{х}} k_{\text{исп}}}{T_{\text{х}}} \quad (3)$$

где  $i$  – число технологических операций;  $H_{то}$  – количество израсходованного топлива, кг/га;  $\alpha_T$  – энергосодержание топлива, МДж/кг;  $H_{тт}$  – количество топлива, затраченного при переездах, кг/га;  $e$  – энергетический эквивалент человеческого труда, МДж/(чел.ч);  $T_p$  – трудоемкость технологической операции, чел.ч/га;  $\alpha_c$  – энергетический эквивалент семенного материала, МДж/кг;  $H_c$  – норма высева семян, кг/га;  $\alpha_y$  – энергетический эквивалент удобрений, МДж/кг;  $H_y$  – норма внесения удобрений, кг/га;  $k_{исп}$  – коэффициент использования вещества культурными растениями;  $T_y$  – период действия удобрений (последствие), лет;  $\alpha_x$  – энергетический эквивалент химических средств защиты растений, МДж/кг;  $H_x$  – норма внесения химических средств защиты растений, кг/га;  $T_x$  – период действия химических средств защиты растений, лет» [18].

Практическая реализация разработанной методики позволила адекватно оценить энергетическую эффективность предлагаемой гребневой технологии возделывания сои с учетом всех обоснованных выше факторов (таблица).

**Таблица. Энергетическая эффективность технологии возделывания сои**

Энергозатраты при существующей технологии		Энергозатраты при предлагаемой технологии		Коэффициент энергетической эффективности $k_{эз}$	
$\mathcal{E}_{гп}$ , МДж/га	$\mathcal{E}_{ппр}$ , МДж/га	$\mathcal{E}_{гп}$ , МДж/га	$\mathcal{E}_{ппр}$ , МДж/га	существующая технология	гребневая технология
16812	6753	21115	5898	2,49	3,58

Проанализировав приведенные в таблице данные, можно заключить, что разработанная и запатентованная гребневая технология возделывания пропашных культур позволяет на 855 МДж уменьшить энергетические затраты за возделывание сои и на 1,09 единицы повысить коэффициент энергетической эффективности технологии.

#### Обсуждение

Предварительные поисковые теоретические и практические исследования, основанные также на известных научных трудах ученых [22] по выбору необходимого числа и вида технологических операций предпосевной подготовки поля, гребневого посева и ухода за посевами пропашных культур показали, что экономически целесообразно посев выполнять на вновь формируемых гребнях почвы одновременно с заделкой семян в почву, а уход за посевами выполнить механизировано. Это позволит значительно уменьшить материальные затраты и себестоимость продукции, а также повысить энергетическую эффективность технологии.

Использование разработанной методики оценки технологии выращивания сельскохозяйственных

культур, основанной на соотношении энергии, полученной в результате производства продукции, и энергии, затраченной на её производство, а также учитывающей результаты исследований известных учёных [22], позволило сделать вывод о том, что энергия, расходуемая на выращивание продукции, в основном зависит от затрат энергии на жидкое топливо, трудовые ресурсы, семенной материал, удобрения и химические средства защиты растений.

#### Заключение

Приведенные теоретические выкладки по определению коэффициента энергетической эффективности возделывания сои при выполнении операций серийными орудиями – осенней зяблевой вспашки и весеннего закрытия влаги, а также весенних и летних операций разработанными орудиями – рыхления почвы, подрезания сорняков, высева семян на предварительно сформированное плотное посевное ложе с одновременным образованием почвенного гребня над сточками посева, а также безгербицидного уничтожения сорняков в основных междурядьях и в защитных зонах растений сои позволили установить, что разработанная и запатентованная гребневая технология возделывания пропашных культур позволяет не менее, чем на 855 МДж уменьшить энергетические затраты за возделывание сои и не менее, чем на 1,09 единиц повысить коэффициент энергетической эффективности предлагаемой технологии в сравнении с традиционной технологией возделывания сои.

#### Литература

1. Милюткин В. А. Буксман В. Э. The highly efficient unit for in-soil fertilizer application xtender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC «Evrotehnika») technology No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XIV Международной научной конференции. 2017. С. 488-493.
2. Bogus A. E., Kuzmenko A. D. Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of sub-surface dense sowing / A.E. Bogus, // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. P. 00040. doi: 10.1051/e3sconf/201912600040
3. Обеспеченность рынка специализированной техники гидравлическими распределителями российского производства / С.Б. Карякин, Е.А. Максимов, А.В. Коломейченко и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 1(69). С. 68 – 74. doi:10.12737/2073-0462-2023-68-74
4. Babitskiy, L. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines / L. Babitskiy, V. Moskalevich, A. Belov // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042
5. Некоторые вопросы о теплообеспеченности в системе «почва – растение – воздух» / И. И. Максимов, А. Р. Валиев, Е. П. Алексеев и др. // Вестник



Казанского ГАУ. 2024. № 4 (76). С. 81–87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87

6. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A.K. Subaeva, A.A. Zamaidinov, V.I. Kurdyumov et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. 9(15). P. 1945–1955

7. Результаты сравнительных испытаний блочно-модульных культиваторов / Н. К. Мазитов, Л. З. Шарифиев, Р. Л. Сахапов и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 3. С. 54–56.

8. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43–47.

9. Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Нурмиев А.А.. Анализ влияния энергоёмкости технологической операции на оптимальные значения основных параметров трактора «БЕЛАРУСЬ» // Вестник Казанского ГАУ. 2025. № 2(78). С. 113–124. doi: 10.12737/2073-0462-2025-113-124

10. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.

11. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12–20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303

12. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 121–126.

13. Strekalov, S. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system / S. Strekalov, L. Strekalova // E3S Web of Conferences. - ICMTMTE, 2019. – Vol. 126. P. 00018. doi: 10.1051/e3sconf/201912600018

14. Мазур В. В. Оценка эффективности применения комбинаций рабочих органов культиватора для возделывания кукурузы // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 37–41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41

15. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н.В. Степных, Е.В. Нестерова, А.М. Заргарян и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 97–102. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_3\_97

16. Belousov S.V., Samurganov E.E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. - ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01062. doi: 10.1051/e3sconf/202019301062

17. Совершенствование методики проектирования почвозащитных технологий на склоновых агроландшафтах / С. И. Чучкалов, В. В. Алексеев, И. И.

Максимов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 3 (71). С. 111–116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

18. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. 320 с.

19. Патент 2716117 Российская Федерация, МПК А01С7/00. Способ гребневого посева пропашных культур / В. И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.П. Албутов, О. А. Дмитриев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2019127620; заявл. 30.08.2019; опубл. 05.03.2020, Бюл. № 7.

20. Патент 2762407 Российская Федерация, МПК А01С7/04, А01С21/00. Способ гребневого посева пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина, С.П. Албутов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2021102018; заявл. 28.01.2021; опубл. 21.12.2021, Бюл. № 36.

21. Патент 2758517 Российская Федерация, МПК А01В79/02, А01В49/02. Способ гребневого возделывания пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина, С.П. Албутов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2021104874; заявл. 25.02.2021; опубл. 29.10.2021, Бюл. № 31.

22. Гордеев А.С., Огородников Д. Д., Юдаев И.В. Энергосбережение в сельском хозяйстве. СПб.: Издательство «Лань». 2014. 400 с.

## References

1. V. A. Milyutkin, V. E. Buksman. “The highly efficient unit for in-soil fertilizer application xtender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC “Evrotekhnik”) technology: No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge.” Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex: Proceedings of the XIV International Scientific Conference. 2017. pp. 488–493.

2. A. E. Bogus, A. D. Kuzmenko. “Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of subsurface dense sowing.” E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. R. 00040. doi: 10.1051/e3sconf/201912600040

3. Availability of the specialized equipment market with Russian-made hydraulic distributors / S. B. Karyakin, E. A. Maksimov, A. V. Kolomeichenko, et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2023. No. 1 (69). P. 68–74. doi: 10.12737/2073-0462-2023-68-74

4. Babitskiy, L. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines / L. Babitskiy, V. Moskalevich, A. Belov // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042

5. Some issues on heat supply in the soil-plant-air system / I. I. Maksimov, A. R. Valiev, E. P. Alekseev, et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2024. No. 4 (76). P. 81–87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87

6. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I.

Kurdyumov et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. 9(1S). P. 1945-1955

7. Results of comparative tests of block-modular cultivators / N. K. Mazitov, L. Z. Sharafiev, R. L. Sakhapov, et al. // Tractors and agricultural machinery. 2013. No. 3. P. 54-56.

8. Modern technologies and special equipment for potato growing / A. Yu. Izmailov, N. N. Kolchin, Ya. P. Lobachevsky, et al. // Agricultural machinery and technology. 2015. No. 3. P. 43-47.

9. Khafizov K. A., Khafizov R. N., Nurmiev A. A. Analysis of the influence of the energy intensity of the technological operation on the optimal values of the main parameters of the BELARUS tractor // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2025. No. 2 (78). P. 113-124. doi: 10.12737/2073-0462-2025-113-124

10. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.

11. Actual problems and priority directions for the development of potato growing / A. V. Korshunov, E. A. Simakov, Yu. N. Lysenko, et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. No. 3. P. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303

12. Review of working bodies of row-crop cultivators and development of new ones in the concept of ecological farming / A.I. Filippov, E.V. Zayats, S.V. Stukanov, et al. // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 4. P. 121-126.

13. Strekalov, S. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system / S. Strekalov, L. Strekalova // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. R. 00018. doi: 10.1051/e3sconf/201912600018

14. Mazur V. V. Evaluation of the efficiency of using combinations of cultivator working bodies for cultivating corn // Agroinzheneriya. 2022. Vol. 24. No. 4. P. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41

15. Use of digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data / N.V. Stepnykh, E.V. Nesterova, A.M. Zargaryan, et al. // Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36. No. 3. P. 97-102. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_3\_97

16. Belousov S.V., Samurganov E.E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01062. doi: 10.1051/e3sconf/202019301062

17. Improving the methodology for designing soil conservation technologies on slope agricultural landscapes / S. I. Chuchkalov, V. V. Alekseev, I. I. Maksimov et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2023. No. 3 (71). P. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

18. Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Technology and means of mechanization of ridge cultivation of row crops: monograph. Ulyanovsk: Vega-MC, 2017. 320 p.

19. Patent 2716117 Russian Federation, IPC A01C7/00. Method of ridge sowing of row crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.P. Albutov, O.A. Dmitriev; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2019127620; appl. 30.08.2019; published 05.03.2020, Bulletin No. 7.

20. Patent 2762407 Russian Federation, IPC A01C7/04, A01C21/00. Method for ridge sowing of row crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.A. Lazutkina, S.P. Albutov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2021102018; declared 28.01.2021; published 21.12.2021, Bulletin. No. 36.

21. Patent 2758517 Russian Federation, IPC A01B79/02, A01B49/02. Method for ridge cultivation of row crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.A. Lazutkina, S.P. Albutov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2021104874; declared 25.02.2021; published 29.10.2021, Bulletin No. 31.

22. Gordeev A.S., Ogorodnikov D.D., Yudaev I.V. Energy saving in agriculture. St. Petersburg: Lan Publishing House. 2014. 400 p.

### Напряженно-деформированное состояние при несвободном объемном электромеханическом дорновании тонкостенных бронзовых втулок

**А. В. Морозов<sup>1</sup>**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология производства и ремонт машин»

**А. Н. Еремеев<sup>1✉</sup>**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология производства и ремонт машин»

**А. А. Болтенков<sup>2</sup>**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета заочного обучения

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉erem.an@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ

656049, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Красноармейский, 98

**Резюме.** В работе рассмотрено влияние натяга между инструментом (дорном) и обрабатываемой поверхностью на величину остаточных напряжений при несвободном объемном электромеханическом дорновании (ОЭМД) тонкостенных бронзовых втулок. Существующие технологии по замене изношенных бронзовых втулок имеют большую трудоемкость процесса и не решают задачи повышения долговечности соединений «вал-втулка» и «корпус – втулка». Для устранения данных недостатков предлагается выполнять ОЭМД бронзовых втулок, предварительно установленных в корпус с переходной посадкой. Остаточные напряжения в бронзовой втулке, возникающие при реализации ОЭМД зависят от многих параметров: режимов ОЭМД, геометрических размеров инструмента и детали, свойств материала втулки, свойств материала инструмента и т.д. Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на долговечность как подвижных, так и неподвижных соединений. С целью определения влияния режимов ОЭМД на величину остаточных напряжений тонкостенных бронзовых втулок было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния при ОЭМД бронзовых втулок марки Бр ОЦС 4-4-2,5, установленных в обоймы из стали марки 40Х. При моделировании были получены следующие результаты: с увеличением натяга от  $i = 0,3$  мм до  $i = 0,5$  мм при ОЭМД бронзовых втулок наблюдается увеличение напряжений на обрабатываемой поверхности с 1325 МПа до 1526 МПа. Также при ОЭМД происходит равномерное распределение осевых усилий, возрастающих при увеличении натяга. Было определено, что при увеличении натяга от  $i = 0,3$  мм до  $i = 0,5$  мм осевые усилия возрастают на 28%, а остаточные напряжения на поверхности втулок увеличиваются с 24 МПа до 49 МПа.

**Ключевые слова:** тонкостенные бронзовые втулки, объемное электромеханическое дорнование, напряженно-деформированное состояние, натяг, остаточные напряжения, моделирование.

**Для цитирования:** Морозов А.В., Еремеев А.Н., Болтенков А. А. Напряженно-деформированное состояние при несвободном объемном электромеханическом дорновании тонкостенных бронзовых втулок // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 207-213. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-207-213

### Stress-strain state during constrained volume electromechanical mandling of thin-walled bronze bushings

**A. V. Morozov<sup>1</sup>, A. N. Eremeev<sup>1✉</sup>, A. A. Boltenkov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉erem.an@mail.ru

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Altai State Agrarian University

656049, Altai Krai, Barnaul, Krasnoarmeysky Ave, 98

**Abstract.** This paper examines the effect of interference between the tool (mandrel) and the workpiece on the magnitude of residual stresses during constrained volume electromechanical mandling (VEMM) of thin-walled bronze bushings. Existing technologies for replacing worn bronze bushings are labor-intensive and fail to improve the durability of shaft-to-bushing and housing-to-bushing connections. To address these shortcomings, it is proposed to perform VEMM on bronze bushings pre-installed in a housing with a transition fit. Residual stresses in a bronze bushing arising during VEMM depend on many parameters, including VEMM modes, the geometric dimensions of the tool and part, the properties of the bushing material, the properties of the tool material, etc. Residual stresses have a significant impact on the durability of both sliding and fixed connections. To determine the effect of VEMM modes on the residual stresses of thin-walled bronze bushings, a stress-strain state simulation was conducted for VEMM on Br OTSS 4-4-2.5 bronze bushings installed in 40X steel cages. The following results were obtained during modeling: with increasing interference from  $i = 0.3$  mm to  $i = 0.5$  mm during electromechanical mandrel boring of bronze bushings, stresses on the machined surface increase from 1325 MPa to 1526

MPa. Also, with electromechanical mandrel boring, axial forces are uniformly distributed, rising with increasing interference. It was determined that with increasing interference from  $i = 0.3$  mm to  $i = 0.5$  mm, axial forces increase by 28%, and residual stresses on the bushing surface increase from 24 MPa to 49 MPa.

**Keywords:** thin-walled bronze bushings, volumetric electromechanical mandrel boring, stress-strain state, interference, residual stresses, modeling.

**For citation:** Morozov A. V., Ereemeev A. N., Boltenev A. A. Stress-strain state during constrained volume electromechanical mandrel boring of thin-walled bronze bushings // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 207-213 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-207-213

##### Введение

Бронзовые втулки нашли широкое применение в конструкциях машин и механизмов благодаря своим свойствам, а именно высоким показателям механической прочности, пластичности, износостойкости, хорошей теплопроводности и теплоемкости. Благодаря хорошим антифрикционным свойствам бронзовые втулки широко применяются в подшипниках скольжения, например, в таких агрегатах, как: редукторы, насосы, электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, генераторы, турбины и т.д. В процессе эксплуатации бронзовые втулки подвергаются воздействию ударных и знакопеременных нагрузок, и в силу высокой пластичности металла деформируются, тем самым компенсируя их разрушительное воздействие. Исходя из своего функционального предназначения, бронзовые втулки выполняют функцию расходного материала.

При ремонте агрегатов изношенную бронзовую втулку меняют на новую. Как правило, при этом изготавливают ремонтную втулку и запрессовывают в отверстие корпусной детали. Для обеспечения необходимого размера и шероховатости внутреннюю поверхность втулки растачивают и развертывают или раскатывают многороликовой раскаткой под номинальный размер. При такой технологии приходится выполнять большое количество операций и, соответственно, операция замены втулки является трудоемкой. Вместе с тем данная технология восстановления не обеспечивает необходимую долговечность соединений «вал – втулка» и «корпус – втулка».

Для повышения долговечности данных соединений предлагается выполнять ОЭМД бронзовых втулок, предварительно установленных в корпус с переходной посадкой [1, 2, 3].

При несвободном ОЭМД отверстий тонкостенных бронзовых втулок ( $1,1 \leq D/d \leq 1,2$ ) охватывающая поверхность корпусной детали ограничивает радиальные перемещения по наружной поверхности втулки. В результате этого деформации происходят относительно равномерно по всему объему втулки, обеспечивая образование больших контактных давлений в зоне деформации при ограниченной поперечной жесткости детали, что способствует достижению повышенной точности внутренних поверхностей втулки, снижению шероховатости и получению качественного поперечно-прессового соединения втулки с корпусом. Нагрев в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью бронзовой втулки в совокупности с радиальным давлением способствует повышению твердости вследствие горячего наклепа

и выдавливанию свинца на поверхность (если он присутствует в составе бронзы), что повышает антифрикционные свойства внутренней поверхности втулки [4, 5, 6].

Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на долговечность как подвижных, так и неподвижных соединений.

Остаточные напряжения в бронзовой втулке, возникающие при реализации ОЭМД зависят от многих параметров: режимов ОЭМД, геометрических размеров инструмента и детали, свойств материала втулки, свойств материала инструмента и т.д. Для получения благоприятных остаточных напряжений и определения рациональных режимов ОЭМД необходимо установить обобщенные зависимости остаточных напряжений от этих параметров.

Цель работы – исследование влияния режимов ОЭМД на величину остаточных напряжений тонкостенных бронзовых втулок для определения области рациональных режимов и повышения долговечности соединений «тонкостенная бронзовая втулка – поверхность вала» и «тонкостенная бронзовая втулка – корпус».

##### Материалы и методы

Исследования проводились на базе кафедры «Технология производства и ремонт машин» и центра коллективного пользования научным оборудованием «Научно-исследовательская лаборатория технологии металлов» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ.

При использовании ОЭМД для втулок, установленных в обойму (корпус), возникает ограничение увеличения внешнего диаметра втулки, при этом возрастают нормальные напряжения на внутренней поверхности втулки в месте контакта ее с инструментом. При этом применяют схему сжатия или растяжения, если направление течения металла при пластической деформации совпадает с направлением движения дорна, то используют схему растяжения, если металл перемещается в обратном направлении по отношению к движению дорна, то применяют схему сжатия [7, 8, 9].

Геометрия пластической деформации и её размеры существенно влияют на параметры и итоговые свойства технологического процесса ОЭМД тонкостенных бронзовых втулок.

Предполагается, что область деформации при ОЭМД представляет собой совокупность взаимосвязанных деформируемых участков. Эта совокупность включает в себя как зоны непосредственного взаимодействия деформируемой поверхности с инструментом, так и области, где такой контакт отсутствует,

причём между этими зонами наблюдается плавный переход.

При изучении контактных трехмерных задач и анализа напряженно-деформированного состояния тел сложной формы с ограниченными размерами наиболее эффективным подходом является применение численных методов. Данные методы строятся на дискретном представлении с последующей аппроксимацией непрерывных функций, описывающих характеристики перемещений, напряжений и деформаций. Среди разнообразных численных подходов, относящихся к этой категории, метод конечных элементов является одним из наиболее часто используемых [10, 11, 12].

В рамках этого способа твердое тело представляется в виде набора дискретных конечных элементов, полученных в результате его разделения на части. Этот способ дает возможность преобразовать исходные дифференциальные уравнения в систему алгебраических уравнений, которые определяют искомые параметры, тем самым приводя задачу к установлению уравнений, описывающих характеристики этих параметров.

Расчет проводили в программе ANSYS 14.5.7 в среде Workbench в двухмерном виде в осесимметричной постановке.

Для расчета была определена следующая модель: в качестве инструмента применялся дорн, в обойму устанавливали втулку. Рабочая часть дорна выполнена в виде конуса со сферическим пояском диаметром 30 мм. Размеры дорна и втулки соотносили таким образом, чтобы возникал натяг при их соединении. Длина отверстия втулки составляет 30 мм. Для расчетов был установлен временной промежуток в 1 сек, что соответствует примерно 800 итерациям.

При проведении моделирования были установлены граничные условия: нагрев обеспечивался посредством подвода тепловой энергии к внешней стороне цилиндрической части втулки; внешняя цилиндрическая поверхность втулки была зафиксирована неподвижно; перемещение граней втулки в направлении, перпендикулярном к их поверхности, исключалось; дорн перемещался вдоль оси втулки на расстояние 30 мм; любое смещение дорна в направлении, отличном от осевого исключалось; исходная температура упрочняющего инструмента составляла 22 °С.

При проведении моделирования использовались следующие материалы: бронзовая втулка – Бр ОЦС 4-4-2,5; инструмент (дорн) – твердый сплав ВК8; корпус (обойма) – сталь 40Х.

При выполнении вычислений принималось во внимание изменение модуля упругости (модуля Юнга) и термодинамических характеристик, возникающие при увеличении температуры.

В расчетах пренебрегали влиянием температуры, образующейся из-за трения между инструментом и втулкой, так как её величина незначительна по

сравнению с тепловой энергией, выделяющейся при прохождении электричества. Учитывалось лишь давление, действующее на точки контакта поверхностей, и относительная скорость перемещения. Влияние микронеровностей и изменения фазового состояния материала не рассматривалось. Было сделано предположение о полном преобразовании механической работы в тепловую и о равномерном распределении тепла между взаимодействующими телами.

Расчеты ОЭМД тонкостенных бронзовых втулок выполняли по схеме сжатия (рис. 1).

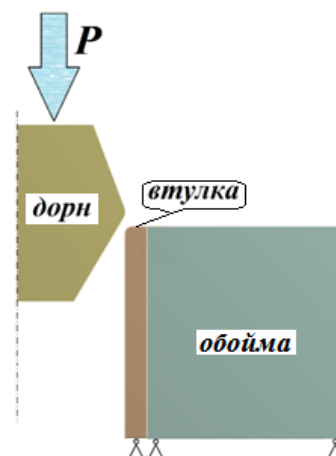


Рис. 1. Схема для расчета процесса ОЭМД тонкостенных бронзовых втулок (по схеме сжатия)

Для оценки напряжений, деформаций и тепловых нагрузок, обусловленных процессом ОЭМД, при моделировании использовали элемент PLANE 223. Этот выбор дал возможность эффективно решать задачи по двумерным моделям и неравномерным нагрузкам, возникающим из-за механического и теплового воздействия.

Зависимость механических напряжений можно представить следующим образом [13, 14, 15]:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon^{el}\}$$

где  $\varepsilon$  – линейная деформация.

Распределение механических напряжений в каждом конечном элементе можно представить в виде схемы (рис. 2).

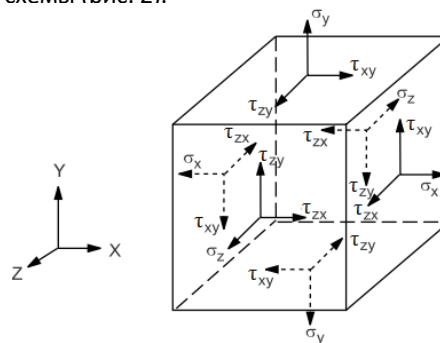


Рис. 2. Расчетная схема девятиатора напряжений

Тогда в соответствие с рис. 2 матрица жесткости примет следующий вид:

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix}$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коэффициент Пуассона

Так как в нашем случае задача осесимметричная, то расчетная схема будет иметь вид (рис. 3).

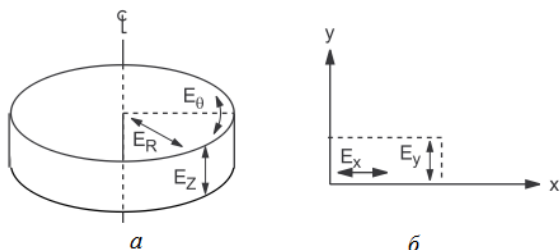


Рис. 3. Расчетные схемы: а – полярная система координат для 3-D тел; б – аксиально-симметричный элемент

С целью вычисления напряжений, связанных с изменением формы тела при деформации, с учетом расчетной схемы, представленной на рис. 3, был разработан девиатор напряжений:

$$[D_{R-\theta-z}]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_R & -\nu_{RZ}/E_R & -\nu_{R\theta}/E_R \\ -\nu_{ZR}/E_Z & 1/E_Z & -\nu_{Z\theta}/E_Z \\ -\nu_{\theta R}/E_\theta & -\nu_{\theta Z}/E_\theta & 1/E_\theta \end{bmatrix}$$

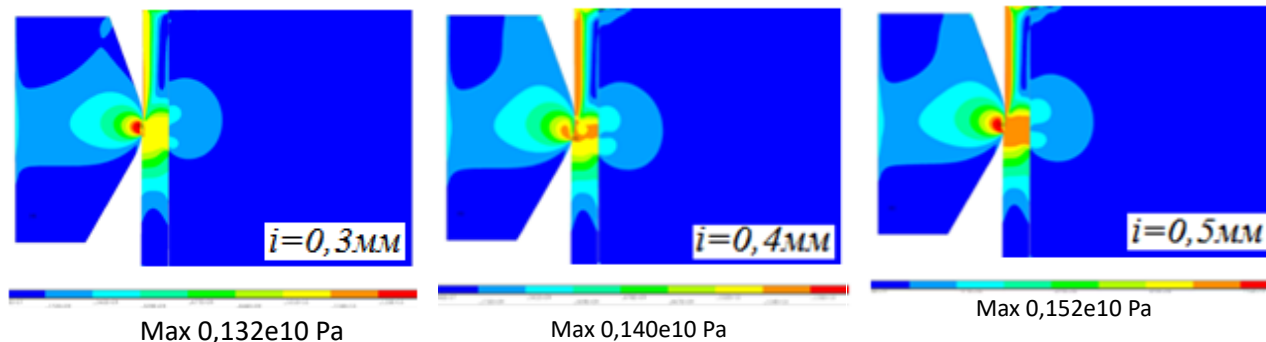


Рис. 5. Распределение механических напряжений при ОЭМД от величины натяга  $i$ :  $I = 5300$  А;  $u = 66$  мм/мин

Анализ результатов моделирования позволил построить диаграммы, отображающие динамику изменения осевого усилия по всей протяженности втулки (рис. 6).

В результате исследования выяснилось, что при обработке бронзовых втулок методом ОЭМД пиковое значение осевого усилия, воздействующего на инструмент, увеличилось с 1,38 кН до 1,92 кН при увеличении величины натяга от 0,3 мм до 0,5 мм (рис. 6).

Определяются эквивалентные напряжения:

$$\sigma_e = \left( \frac{1}{2} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right] \right)^{\frac{1}{2}}$$

Для решения поставленной задачи моделирования напряженно-деформируемого состояния строится неструктурированная расчетная сетка (рис. 4).

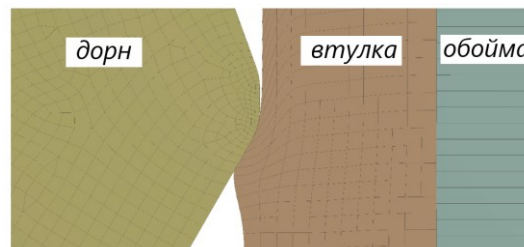


Рис. 4. Конечноэлементная модель процесса ОЭМД тонкостенных бронзовых втулок

### Результаты

При определении зависимости влияния величины натяга на величину напряжений при ОЭМД установлено, что при натяге  $i = 0,3$  мм напряжения составили 1325 МПа, а при увеличении натяга  $i = 0,5$  мм напряжения увеличились до 1526 МПа (рис. 5).

Полученные результаты позволят рационально подбирать технологическое оборудование и проектировать технологическую оснастку для реализации процесса ОЭМД бронзовых втулок.

В ходе моделирования были выявлены зависимости распределения остаточных напряжений после ОЭМД, возникающих на наружной поверхности тонкостенных бронзовых втулок, установленных в стальной обойме, от величины натяга инструмента и внутренней поверхности втулки (рис. 7).

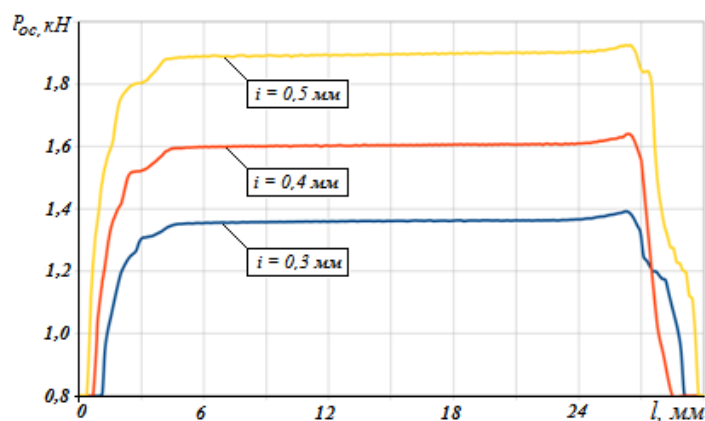


Рис. 6. Влияние натяга на осевые усилия при ОЭМД тонкостенной бронзовой втулки из Бр ОЦС 4-4-2,5 в стальной обойме по схеме сжатия при  $I = 5300$  А;  $u = 66$  мм/мин

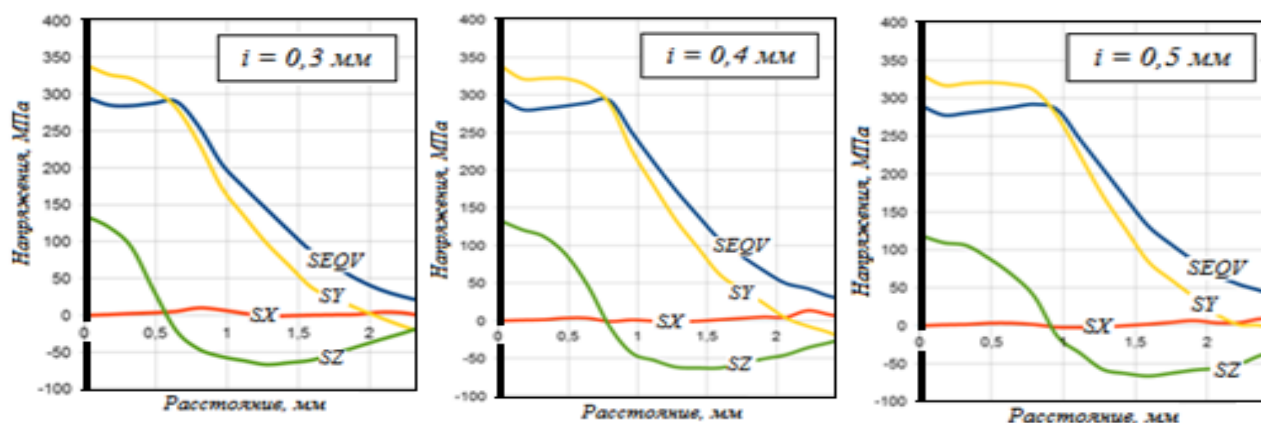


Рис. 7. Влияние натяга ОЭМД на величину остаточных напряжений: SX – поперечная составляющая; SY – продольная составляющая; SZ – окружная составляющая и SEQV – эквивалентные напряжения

### Обсуждение

В результате моделирования напряженно-деформированного состояния тонкостенных бронзовых втулок после ОЭМД в обойме методом конечных элементов установлено, что увеличение натяга с 0,3 до 0,5 мм приводит к повышению остаточных напряжений на поверхности втулок с 24 МПа до 49 МПа.

Также можно отметить, что нагрев контактируемой кольцевой поверхности при ОЭМД существенно влияет на снижение контактных напряжений и осевых усилий на инструмент и их стабилизацию в сравнении с традиционным процессом дорнования [16, 17, 18], что способствует при прочих равных условиях повышению долговечности технологического оборудования и стойкости инструмента (дорна).

### Заключение

Получены модели влияния натяга  $i$  на напряженно-деформированное состояние тонкостенных бронзовых втулок в процессе и после (остаточные напряжения) ОЭМД. Установлено, что с увеличением натяга от 0,3 мм до 0,5 мм осевые усилия увеличиваются в 1,4 раза, а остаточные напряжения на поверхности втулок – в 2 раза.

Полученные результаты позволят при практической реализации процесса рационально выбирать режимы с целью повышения долговечности как подвижного соединения «тонкостенная бронзовая

втулка – поверхность вала», так и неподвижного соединения «тонкостенная бронзовая втулка – корпус».

### Литература

1. Морозов А. В., Кундротас К. Р. Повышение качества ремонта верхней головки шатуна двигателей ЯМЗ 236 - 240 применением объемного электромеханического дорнования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 10. С. 219-225.
2. Морозов А. В., Абрамов А. Е., Байгулов А. В. Качество прессового соединения, полученного объемным электромеханическим дорнованием бронзовых втулок в замкнутом объеме // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 91-97.
3. Исследование конструкций прессовых соединений "втулка-обойма" и "вал-втулка-обойма" образованных методом дорнования отверстий / А. Н. Исаев, С. В. Лесняк, О. В. Лесняк и др. // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Сборник статей 9-й международной научно-практической конференции в рамках 19-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2016", Ростов-на-Дону, 02–04 марта 2016 года. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2016. С. 213-215.



4. Морозов А. В., Байгулов А. В. Рентгеноструктурный анализ поверхности втулки, изготовленной из бронзы Бр ОЦС 5-5-5, обработанной объемным электромеханическим дорнованием // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ. № 2. Москва 2011. С 31-33.

5. Григорян А. С. Экспериментальное исследование шероховатости наружной поверхности втулок в процессе дорнования корпуса с одновременной запрессовкой втулки // Молодежь - Барнаул: Материалы XVI научно-практической конференции молодых ученых. Барнаул, 17–25 ноября 2014 года. – Барнаул: Алтайский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2014. С. 426-428.

6. Рябичева Л. А., Белозир И. И. Экспериментальные и теоретические исследования процесса дорнования заготовок втулок из различных материалов // Заготовительные производства в машиностроении. 2025. Т. 23. № 1. С. 48-51. doi: 10.36652/1684-1107-2025-23-1-48-51.

7. Лебедев А. Р., Исаев А. Н., Власкин С. В. Моделирование геометрических параметров очага деформирования при дорновании отверстий // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Сборник статей 11-й международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш - 2018", Ростов-на-Дону, 28 февраля – 02 2018 года. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2018. С. 186-189.

8. Лысак И. А., Лю Ю., Лысак Г. В. Численное исследование остаточных напряжений в цилиндрических образцах, подвергнутых одноцикловому дорнованию по схеме сжатия // Ползуновский альманах. 2021. № 4. С. 33-35.

9. Кулеш С. Г., Лысак И. А. Численное исследование деформированного состояния толстостенных втулок, подвергнутых одноцикловому поверхностному дорнованию по схеме сжатия // Ползуновский альманах. 2021. № 4. С. 49-51.

10. Мальнев А. С., Оглукова К. Д. Метод конечных элементов // Будущее науки: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: сборник научных статей Всероссийской молодежной научной конференции: в 3 т., Курск, 30 мая 2023 года. Том 3. Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. С. 233-234.

11. Яковлев С. С., Галкин Ю. С., Грибачев Я. В. Анализ программного обеспечения для компьютерного моделирования процессов обработки металлов давлением // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 2. С. 314-316. doi: 10.24412/2071-6168-2024-2-314-315.

12. Донева О. В., Нигорожина Е. С. Использование численных методов при решении инженерных задач // Университетская наука. 2020. № 2(10). С. 171-173.

13. Шишкин С. В. К расчету концентрации контактной нагрузки в соединениях с натягом

тонкостенных деталей // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22, № 3. С. 79-91. doi: 10.26467/2079-0619-2019-22-3-79-91.

14. Буланов В. Б., Семенов-Ежов И. Е., Ширшов А. А. Концентрация напряжений в прессовых соединениях деталей // Машиностроение и инженерное образование. 2014. № 2(39). С. 53-58.

15. Тутанов С. К., Даненова Г. Т., Коккоз М. М. Компьютерное моделирование контактных напряжений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 36-39.

16. Рябичева Л. А., Решетняк Д. В. Анализ напряженно-деформированного состояния при дорновании втулки // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. 2020. № 4 (33). С. 10-20.

17. Лю Ю., Лысак И. А. Влияние натяга дорнования и геометрических параметров втулок на величину остаточных напряжений // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов: Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26–28 апреля 2022 года. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. С. 511-514.

18. Бузинаева Е. М., Зайдес С. А. Определение напряженного состояния при дорновании толстостенной втулки // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры технологии машиностроения ЛГТУ, Липецк, 17–19 мая 2012 года / Под общей редакцией А.М. Козлова. Том Часть 1. Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2012. С. 69-73.

#### References

1. Morozov A. V., Kundrotas K. R. Improving the quality of repair of the upper end of the connecting rod of YaMZ 236-240 engines using volume electromechanical mandrel burnishing // Vestnik of Tula State University. Engineering Sciences. 2018. No. 10. P. 219-225.

2. Morozov A. V., Abramov A. E., Baigulov A. V. Quality of a pressed joint obtained by volume electromechanical mandrel burnishing of bronze bushings in a confined volume // Scientific Review. 2013. No. 1. P. 91-97.

3. Study of the designs of "bushing-cage" and "shaft-bushing-cage" press joints formed by the method of hole burning / A. N. Isaev, S. V. Lesnyak, O. V. Lesnyak et al. // State and prospects of the development of agricultural engineering: Collection of articles of the 9th international scientific and practical conference within the framework of the 19th international agro-industrial exhibition "Interagromash-2016", Rostov-on-Don, March 2-4, 2016. Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2016. P. 213-215.

4. Morozov A. V., Baigulov A. V. X-ray structural analysis of the surface of a bushing made of Br OTsS 5-5-5 bronze processed by volumetric electromechanical



mandrel burning // Vestnik of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Moscow State Agrarian University. No. 2. Moscow 2011. P. 31-33.

5. Grigoryan A. S. Experimental study of the roughness of the outer surface of bushings in the process of mandrel burning of the housing with simultaneous pressing in of the bushing // Youth to Barnaul: Proceedings of the XVI scientific and practical conference of young scientists. Barnaul, November 17-25, 2014. Barnaul: Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2014. P. 426-428.

6. Ryabicheva L. A., Belozir I. I. Experimental and theoretical studies of the process of mandrel burning of bushing blanks from various materials // Blank production in mechanical engineering. 2025. Vol. 23. No. 1. P. 48-51. doi: 10.36652/1684-1107-2025-23-1-48-51

7. Lebedev A. R., Isaev A. N., Vlaskin S. V. Modeling the geometric parameters of the deformation zone during mandrel boring // State and prospects of development of agricultural engineering: Collection of articles of the 11th international scientific and practical conference within the framework of the 21st international agro-industrial exhibition "Interagromash - 2018", Rostov-on-Don, February 28 2018. Rostov-on-Don: Limited Liability Company "DSTU-PRINT". 2018. P. 186-189.

8. Lysak I. A., Liu Yu., Lysak G. V. Numerical study of residual stresses in cylindrical specimens subjected to single-cycle mandrel pressing under compression // Polzunovsky Almanac. 2021. No. 4. P. 33-35.

9. Kulesh S. G., Lysak I. A. Numerical study of the deformed state of thick-walled bushings subjected to single-cycle surface mandrel burning according to the compression scheme // Polzunovsky Almanac. 2021. No. 4. P. 49-51.

10. Malnev A. S., Oglukova K. D. Finite element method // The Future of Science: Young scientists' view of the innovative development of society: collection of scientific articles of the All-Russian youth scientific conference: in 3 volumes, Kursk, May 30. 2023. Volume 3. Kursk: Closed Joint-Stock Company "University Book". 2023. P. 233-234.

11. Yakovlev S. S., Galkin Yu. S., Gribachev Ya. V. Analysis of software for computer modeling of metal forming processes // Vestnik of Tula State University. Technical sciences. 2024. No. 2. P. 314-316. doi: 10.24412/2071-6168-2024-2-314-315

12. Doneva O. V., Nigorzhina E. S. Using numerical methods in solving engineering problems // University Science. 2020. No. 2(10). P. 171-173.

13. Shishkin S. V. On the calculation of contact load concentration in interference joints of thin-walled parts // Scientific Vestnik of Moscow State Technical University of Civil Aviation. 2019. Vol. 22. No. 3. P. 79-91. doi: 10.26467/2079-0619-2019-22-3-79-91

14. Bulanov V.B., Semenov-Ezhov I.E., Shirshov A.A. Stress concentration in press joints of parts // Mechanical Engineering and Engineering Education. 2014. No. 2 (39). P. 53-58.

15. Tutanov S. K., Danenova G. T., Kokkoz M. M. Computer modeling of contact stresses // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2014. No. 4. P. 36-39.

16. Ryabicheva L. A., Reshetnyak D. V. Analysis of the stress-strain state during mandrel pressing of a bushing // Resource-saving technologies for the production and pressure processing of materials in mechanical engineering. 2020. No. 4 (33). P. 10-20.

17. Liu Yu., Lysak I. A. Influence of mandrel interference and geometric parameters of bushings on the magnitude of residual stresses // Scientific initiative of foreign students and postgraduates: Collection of reports of the II International scientific and practical conference, Tomsk, April 26-28, 2022. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University. 2022. P. 511-514.

18. Buzinaeva E. M., Zaides S. A. Specification of the stress state during mandrel burning of a thick-walled bushing // Fundamental and applied problems of modernization of modern mechanical engineering and metallurgy: Collection of scientific papers of the international scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of the Department of Mechanical Engineering Technology of LSTU, Lipetsk, May 17-19. 2012. Under the general editorship of A. M. Kozlov. Vol. Part 1. Lipetsk: Lipetsk State Technical University. 2012. P. 69-73.

### Производственные исследования планчато-волнового катка

**В. Е. Прошкин**✉, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**В. И. Курдюмов**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**Р. В. Богатский**, студент 5 курса инженерного факультета Ульяновского ГАУ

**Е. Н. Прошкин**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1

✉veproshkin1993@gmail.com

**Резюме.** В условиях современного сельского хозяйства актуальна задача повышения эффективности энерго- и ресурсосберегающих технологий почвообработки. В статье описывается разработанный планчато-волновой каток, конструкция которого представляет собой чередование перфорированных желобов с отверстиями, расположенными в шахматном порядке, соответствующих максимальному размеру почвенного комка (до 50 мм), и планок. Такие особенности конструкции позволяют улучшить крошение, уплотнение и выравнивание поверхности почвы, сохранив ее структуру. Исследования проводились в реальных условиях на полях Ульяновской области. Качество обработки оценивали при рекомендуемой влажности почвы (19...22%), по гребнистости поверхности (не более  $\pm 0,04$  м), плотности и агрегатному составу почвы. Разработанный каток обеспечил лучшие, по сравнению с планчатым катком культиватора «Твист-8», показатели: плотность почвы находилась в допустимых пределах, агрегатный состав соответствовал стандарту - ГОСТу 26244-84 «Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения». При этом критерий оптимизации процесса прикатывания  $k_{\text{св}}$  составил 0,94, что на 37% выше, чем у указанного выше планчатого катка. Таким образом, каток новой конструкции повышает качество предпосевной подготовки почвы, а также способствует росту урожайности ячменя на 11,3%.

**Ключевые слова:** энерго- и ресурсосберегающие технологии, почвообрабатывающие машины, планчато-волновой каток, урожайность, плотность, структура, гребнистость, почва, почвенные комки, критерий оптимизации

**Для цитирования:** Производственные исследования планчато-волнового катка / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Р. В. Богатский, Е. Н. Прошкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 213-220. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-213-220

### Industrial research of a slatted-wave roller

**V. E. Proshkin**✉, **V. I. Kurdyumov**, **R. V. Bogatsky**, **E. N. Proshkin**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, Building 1

veproshkin1993@gmail.com

**Abstract.** Increasing the efficiency of energy- and resource-saving soil cultivation technologies is a pressing issue in modern agriculture. This article describes a newly developed slatted-wave roller, the design of which consists of alternating perforated troughs with staggered holes corresponding to the maximum size of a soil clod (up to 50 mm) and slats. These design features improve the crumbling, compaction, and leveling of the soil surface while preserving its structure. Research was conducted under real conditions in the fields of the Ulyanovsk Region. Tillage quality was assessed at the recommended soil moisture content (19–22%) based on surface ridgeness (no more than  $\pm 0.04$  m), soil density, and soil aggregate composition. The developed roller provided better performance compared to the slatted roller of the Twist-8 cultivator: soil density was within acceptable limits, and the aggregate composition complied with the state standard GOST 26244-84 "Pre-sowing soil cultivation. Quality requirements and determination methods." Moreover, the compaction improvement criterion ( $k_{\text{se}}$ ) was 0.94, which is 37% higher than that of the mentioned slatted roller. Thus, the new roller design improves the quality of pre-sowing soil preparation and also contributes to an 11.3% increase in barley yield.

**Keywords:** energy- and resource-saving technologies, tillage machines, slatted-wave roller, yield, density, structure, ridge, soil, soil clods, improvement criterion.

**For citation:** Industrial research of a slatted-wave roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, R. V. Bogatsky, E. N. Proshkin // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 213-220 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-213-220

Работа выполняется в рамках гранта «Студенческий стартап 2025», заявка СтС – 501262

### Введение

В современных условиях развития сельского хозяйства всё более остро возникает задача совершенствования и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки почвы. Рациональное использование почвообрабатывающих машин и орудий не только обеспечивает повышение урожайности за счет более тщательной подготовки посевного слоя, но и содействует сохранению плодородия почвы. Среди широкого разнообразия машин для предпосевной и основной обработки почвы особое место занимают комбинированные агрегаты, позволяющие выполнять несколько операций за один проход, что значительно ускоряет и оптимизирует технологический процесс, позволяя значительно снизить эксплуатационные затраты [1-3].

Одним из примеров таких машин является культиватор паровой «Твист-8», включающий в свою конструкцию планчатый каток, основная функция которого - крошение больших комков почвы, однако при этом не обеспечивается требуемая плотность почвы, вследствие несовершенства конструкции катка.

Исходя из имеющихся недостатков широко распространённых катков, нами разработан планчато-волновой почвообрабатывающий каток, способный повысить крошение комков почвы и обеспечить лучшее выравнивание ее поверхности, сохраняя при этом структуру и оптимальную плотность обрабатываемого слоя [4-7].

Главная особенность планчато-волнового катка заключается в установке между соседними ребрами

перфорированных желобов. Отверстия в желобах выполнены в шахматном порядке, причем диаметр этих отверстий равен максимально допустимому агротехническими требованиями размеру комка почвы. Это необходимо для обеспечения более качественного дробления крупных почвенных комков, уплотнения почвы и выравнивания её поверхности.

Цель исследований – повышение качества поверхностной обработки почвы на основе разработки планчато-волнового катка, обеспечивающего выполнение агротехнических требований, а также повышение урожайности возделываемых культур.

### Материалы и методы

Для качественной оценки работы планчато-волнового катка нами проведены исследования непосредственно в условиях реального производства в ИПГКФХ Казаков Владимир Павлович Павловского района Ульяновской области. Предлагаемый каток был установлен вместо одной секции планчатого катка, входящего в состав комбинированного сельскохозяйственного агрегата, оснащенного культиватором «Твист-8». Благодаря этому обеспечивалась сравнительная база для исследования, поскольку почва прикатывалась катками различных типов, а именно, предлагаемым планчато-волновым катком (рис. 1) и серийно выпускаемым планчатым катком. После обработки почвы комбинированным агрегатом с исследуемыми катками нами оценено качество этого технологического процесса.



Рис. 1. Производственные исследования сравниваемых катков

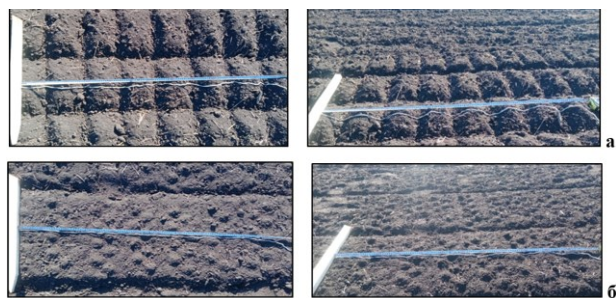
В ходе исследований сравнивали качество обработки почвы предлагаемым катком в сравнении с серийными катками, входящими в состав культиватора «Твист-8», по таким показателям, как влажность, гребнистость, плотность почвы и ее агрегатный состав.

Представленные свойства почвы оказывают влияние как на качество посева сельскохозяйственных культур, так и на эффективность их дальнейшего роста и развития.

### Результаты

Влажность варьировалась в агротехнически заданных пределах и составляла 18...23%. При такой влажности можно проводить все агротехнические операции, начиная от основной обработки почвы и заканчивая посевом и прикатыванием. Обработка почвы с влажностью, превышающей допустимые пределы, заданные агротехническими требованиями, влияет как на работу агрегата, так и на урожайность культур.

После прикатывания почвы исследуемыми катками проводили оценку гребнистости ее поверхности (рис. 2).



**Рис. 2. Гребнистость почвы после прикатывания катками: а) серийным планчатым; б) планчато-волновым**

На рисунках видно, что гребнистость почвы при обработке предлагаемым катком ниже в сравнении с планчатым катком на 9,4%, что подтверждают приведенные в таблице данные. Следовательно, поверхность почвы после прохода планчато-волнового катка более выровнена, что имеет значение для яровых культур.

**Таблица. Результаты исследования гребнистости поверхности почвы**

Каток	Длина шнура на один погонный метр, см/м					
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_{cp}$
Планчатый каток	117,6	119,4	115,7	117,7	116,8	117,44
Планчато-волновой каток	105,2	108,3	107,3	106,7	104,4	106,38

Одним из важных показателей качества обработки почвы является её плотность, которая

существенно влияет на урожайность выращиваемых культур. От плотности почвы напрямую зависит развитие корневой системы растений: при чрезмерном уплотнении корням становится трудно проникать в нижние слои почвы. Этот показатель оценивали с помощью устройства для послойного определения плотности почвы, которое позволяет определить плотность на глубину до 90 мм от поверхности почвы [8].

Помимо плотности на качество подготовки почвы к посеву оказывает влияние и её структура. Согласно агротехническим рекомендациям при предпосевной обработке почвы размер комков не должен превышать 50 мм, при этом наибольшую ценность представляют частицы размером более 0,25 мм.

Для оценки структурного состава почвы на исследуемых участках была применена следующая методика: на диагоналях участков с помощью деревянной рамки размером 0,5×0,5 м брали пробы почвы. Рамку располагали на поверхности почвы, из неё на глубину заделки семян (60 мм) извлекали образцы почвы, сначала крупные комки, затем мелкие [9, 10].

Для повышения достоверности результатов пробы почвы брали в десяти повторностях (рис. 3). После отбора образцы помещали в сушильный шкаф на 6 часов и более до достижения воздушно-сухого состояния. Затем пробы просеивали через лабораторные контрольные сита с виброприводом. Взвешивание всех фракций, полученных после просеивания, проводили на высокоточных весах OHAUS ITEM PA213 с точностью до  $\pm 0,01$  г.



**Рис. 3. Оценка структуры почвы после прикатывания катками: а) планчато-волновым; б) планчатым**

Результаты исследования структурного состава почвы на контрольных и опытных участках предоставили ценную информацию о качестве ее подготовки и влиянии разработанного почвообрабатывающего катка на структуру почв. После внесения результатов

измерений в электронную таблицу программного пакета Microsoft Excel с помощью данного инструментария выполняли расчеты для получения плотности почвы  $\rho_n$  по слоям (рис. 4).



№ замера	Фракции										Масса пробы почвы на плотность, г		
	Содержание, г												
	более 50 мм	50...10 мм	10...7 мм	7...5 мм	5...3 мм	3...1 мм	1...0,5 мм	0,5...0,25 мм	менее 0,25 мм	S	0...3 см	3...6 см	6...9 см
1		93	52,7	49,5	89,3	315,5	173,9	48,8	9,4	832,1	76,8	111,9	132,9
2		116,2	28,3	21,7	41,6	174,7	105,2	42,3	11,1	541,1	59,3	103,1	141,9
3		250,2	66,8	54,3	95,5	249,7	115,2	31,9	5,4	869,0	112,5	117,5	140,8
4		106,5	32,8	35,4	70,8	309,6	166,6	64	13,7	799,4	81,5	120,7	158,6
5		173,6	72,8	56,8	135,2	345,1	123,1	27,9	9,3	943,8	76,1	123,6	151,8
6		26,3	24,3	61	42	166,3	121,1	51,8	14,7	507,5	91,7	113,6	149,6
7		105,5	37,8	33,5	84,3	200,6	129,3	35,5	3,3	629,8	94,0	123,8	129,3
8		122,9	27,5	93,8	73	241,5	433	26,6	2,2	1020,5	74,5	122,9	160,2
9		123,6	13,4	26,2	73,6	225,5	121,8	21,4	8,1	613,6	80,1	128,3	144,2
10		262,4	33,8	34,1	62,5	271,7	162,3	14,4	5	846,2	80,4	118,9	143,4

Рис. 4. Плотность и агрегатный состав перед посевом

Для оценки качества работы катка нами предложен критерий оптимизации  $k_{сз}$ , который объединяет два основных критерия: по плотности почвы и ее агрегатному составу.

Анализ плотности почвы, прикатанной катком предлагаемой нами конструкции, показал, что она соответствует агротехническим требованиям. Качество обработки почвы после прохода по ней серийного планчатого катка было ниже, поскольку у него расстояние между соседними планками составляет 110 мм, вследствие чего на поверхности почвы оставалось значительное количество комков почвы размером 50...70 мм. При этом создаваемые планками в почве напряжения распределялись неравномерно в ее поверхностном слое, что приводило к большому разбросу значений плотности проб, взятых в различных участках поля.

Количество планок предлагаемого катка определяли из условия, что процессе работы как минимум одна планка должна находиться в контакте с почвой:

$$n \geq \frac{2\pi}{\arccos \cos \frac{R_k - h_{заг}}{R_k}}, \quad (1)$$

где  $R_k$  – радиус катка, мм;  $h_{заг}$  – высота заглубления катка в почву, мм.

Следовательно, количество ребер катка зависит от его радиуса и степени заглубления катка в почву. Путем вычислений нами было установлено, что количество ребер должно быть не менее 8.

По результатам исследования плотности почвы, прикатанной исследуемыми катками, была построена диаграмма, наглядно демонстрирующая положительную разницу по качеству обработки предлагаемым почвообрабатывающим катком в сравнении с серийным (рис. 5).



Рис. 5. Результаты замеров плотности почвы после прохода исследуемых катков

Исследования структуры почвы показало, что прикатывание планчато-волновым катком обеспечивает её необходимые показатели на всех участках поля. У серийного катка структура почвы после обработки не соответствует агротехническим требованиям, поскольку у него расстояние между планками в 2,2 раза превышает максимально допустимый размер почвенного комка. Рисунок 6 явно указывает на то, что у планчато-волнового катка фракционный состав почвы больше приближен к эталонным значениям, что также подтверждается рисунком 7, на котором представлены данные, выраженные в процентах, по соответствию и несоответствию структуры почвы агротехническим требованиям [11-13].

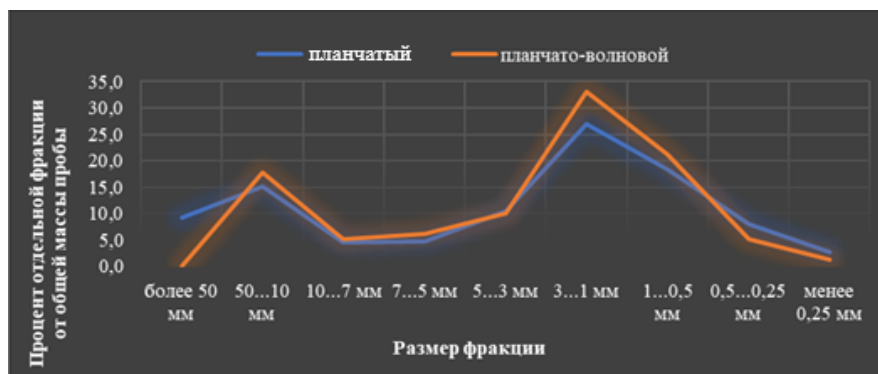


Рис. 6. Фракционный состав почвы после прохода исследуемых катков



Рис. 7. Процент соответствия структуры почвы агротехническим требованиям после ее прикатывания

### Обсуждение

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что при обработке почвы предлагаемым планчато-волновым катком критерий оптимизации  $k_{сз}$  достигает значения 0,94. При таком показателе, как плотностные характеристики, так и агрегатный состав почвы на исследуемых участках полностью соответствуют предъявляемым агротребованиям [14-17].

На участках поля, обработанных планчатым катком, критерий оптимизации составил лишь  $k_{сз} = 0,686$ , что существенно ниже показателя, полученного при использовании катка усовершенствованной конструкции. Кроме того, на поверхности почвы были обнаружены почвенные агрегаты размером свыше 50 мм, что не удовлетворяет установленным агротехническим требованиям к качеству прикатывания [18-20].

За счет качественного прикатывания посевов ячменя предлагаемым планчато-волновым катком его урожайность повысилась на 2,4 ц/га, достигнув 23,6 ц/га, а относительный прирост урожайности составил 11,3% в сравнении с планчатым катком серийного производства.

### Заключение

Выполненные производственные исследования планчато-волнового катка наглядно демонстрируют, что при его использовании обеспечивается высокое качество предпосевной обработки почвы, соответствующее агротехническим требованиям. При влажности почвы в диапазоне от 19% до 22% гребнистость

обработанной поверхности не превышает  $\pm 0,064$  м, плотность почвы находится в оптимальных пределах, а агрегатный состав почвы имеет фракции, приближенные к эталонным значениям. Это свидетельствует о преимуществе разработанного катка над серийным планчатым катком.

Планчато-волновой каток эффективно измельчает комки и выравнивает поверхность поля после прохода культиватора «Твист-8», что положительно сказывается на структуре почвы и плотности. Критерий оптимизации  $k_{сз}$  для планчато-волнового катка составил 0,94, что значительно выше, чем у планчатого катка ( $k_{сз} = 0,686$ ) культиватора. Это указывает на более высокое качество обработки почвы катком предлагаемой конструкции. Благодаря этому урожайность ячменя повысилась на 11,3% в сравнении с участками поля, обработанными аналогичным культиватором, оснащенным планчатым катком серийного производства.

### Литература

1. Леденев В. В., Однолько В. Г., Нгуен З. Х. Теоретические основы механики деформирования и разрушения: монография. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 312 с. ISBN 978-5-8265-1208-1.
2. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины М.: Колос. 1994. 751 с.
3. Обоснование рациональных параметров прикатывающего катка комбинированного сошника при посеве зерновых культур / Д. Н. Раднаев, С. С.

Калашников, Д. Ц. Б. Бадмацыренов и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2 (62). С. 158-167. doi: 10.22450/19996837\_2022\_2\_158

4. Семенихина Ю. А. Исследование вязкоупругого состояния почвы под воздействием активной поверхности почвообрабатывающего катка // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 7. С. 32-36. doi: 10.17816/0321-4443-66333

5. Кузьминых А. Н. Система предпосевной обработки почвы и урожайность ярового ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020. Т. 6. № 1 (21). С. 32-39. doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38

6. Петров М. В. Изменение агрофизических свойств почвы в зависимости от основной обработки почвы в различных типах агроландшафта Ульяновской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2022. Т. 1. № 2 (2). С. 67-70. doi: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-67-70

7. Оценка состояния водно-физических свойств на участках с различными системами обработки почвы / С. А. Линков, А. В. Ширяев, А. В. Акинчин и др. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 4 (40). С. 117-124.

8. Патент № 149 064 U1 Российская Федерация, МПК G01N 33/24 (2006.01) Устройство для определения плотности почвы / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. А. Шаронов, В. В. Курушин, В. Е. Прошкин, А. С. Егоров патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2014130351/15; заявл. 22.07.2014; опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35.

9. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных почвообрабатывающих агрегатов / С. И. Камбулов, Г. Г. Пархоменко, Ю. А. Семенихина и др. // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 113-121. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

10. Петровец В. Р., Гайдуков В. А. Влияние прикапывающих катков сошников на плотность почвы семенного ложа // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 5-9.

11. Исследования пружинно-волнового катка в полевых условиях / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Е. Н. Прошкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 224-229. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-224-229

12. Анализ результатов полевых исследований пружинно-волнового катка / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Е. Н. Прошкин и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90. № 5. С. 405-412. doi: 10.17816/0321-4443-567933

13. Результаты полевых исследований прутково-дискового катка / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, И. А. Шаронов и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4

(64). С. 229-234. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

14. Обоснование параметров модернизированного планчатого почворежущего катка комбинированного агрегата / И. В. Соболевский, В. А. Куклин, И. И. Калафатов и др. // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1 (37). С. 149-157. doi: 10.5281/zenodo.10930842

15. Рыжков А. В., Мачкарин А. В. Каток-измельчитель растительных остатков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 1 (37). С. 32-40.

16. Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. Обоснование конструктивных параметров и расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2 (34). С. 102-109. doi: 10.5281/zenodo.8272005

17. Шапарь М. С., Шишлов А. Н., Шишлов С. А. Виброкаток для предпосевного прикапывания // Сельский механизатор. 2021. № 9. С. 18-19. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

18. Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шапарь М. С. Предпосевная подготовка почвы под сою виброкатком в условиях Приморского края // Аграрный вестник Приморья. 2017. № 3 (7). С. 57-59. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

19. Экспериментальные исследования универсального катка-гребнеобразователя / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. А. Шаронов и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 4 (16). С. 107-112.

20. Оптимизация параметров почвообрабатывающего катка по результатам исследований в полевых условиях / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Р. В. Богатский и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91. № 6. С. 793-800. doi: 10.17816/0321-4443-631576

## References

1. Ledenev V. V., Odnolko V. G., Nguyen Z. H. Theoretical foundations of deformation and fracture mechanics: Monograph. Tambov: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "TSTU", 2013. 312 p. ISBN 978-5-8265-1208-1.

2. Klenin N. I., Sakun V. A. Agricultural and melioration machines Moscow: Kolos. 1994. 751 p.

3. Justification of rational parameters of the packing roller of a combined coulter when sowing grain crops / D. N. Radnaev, S. S. Kalashnikov, D. Ts. B. Badmatyrenov, et al. // Far Eastern Agrarian Vestnik. 2022. No. 2 (62). P. 158-167. doi: 10.22450/19996837\_2022\_2\_158

4. Semikhina Yu. A. Study of the viscoelastic state of the soil under the influence of the active surface of a tillage roller // Tractors and agricultural machinery. 2017. No. 7. P. 32-36. doi: 10.17816/0321-4443-66333

5. Kuzminykh A. N. Pre-sowing tillage system and spring barley yield // Vestnik of the Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic sciences. 2020.

Vol. 6. No. 1 (21). P. 32-39. doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38

6. Petrov M. V. Changes in soil agrophysical properties depending on primary tillage in different types of agricultural landscapes of Ulyanovsk region // Vestnik of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Agricultural sciences. 2022. Vol. 1. No. 2 (2). P. 67-70. doi: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-67-70

7. Assessment of the state of water-physical properties in areas with different tillage systems / S. A. Linkov, A. V. Shiryaev, A. V. Akinchin, et al. // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2023. No. 4 (40). P. 117-124.

8. Patent No. 149 064 U1 Russian Federation, IPC G01N 33/24 (2006.01) Device for determining soil density / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, I. A. Sharonov, V. V. Kurushin, V. Ye. Proshkin, A. S. Egorov patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University. No. 2014130351/15; applied 22.07.2014; published 20.12.2014, Bull. No. 35.

9. Use of mulching rollers in the design of combined tillage units / S. I. Kambulov, G. G. Parkhomenko, Yu. A. Semenikhina, et al. // Tavrichesky Vestnik of Agrarian Science. 2020. No. 3 (23). P. 113-121. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

10. Petrovets V. R., Gaidukov V. A. Influence of coulter press rollers on the soil density of the seedbed // Design, use and reliability of agricultural machinery. 2022. No. 1 (21). P. 5-9.

11. Field Research of a Spring-Wave Roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, E. N. Proshkin, et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 3 (63). P. 224-229. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-224-229

12. Analysis of the results of field research of a spring-wave roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, E. N. Proshkin, et al. // Tractors and agricultural machinery.

2023. Vol. 90. No. 5. P. 405-412. doi: 10.17816/0321-4443-567933

13. Results of field studies of a rod-disc roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov, et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 4 (64). P. 229-234. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

14. Justification of the parameters of the modernized slatted soil-cutting roller of the combined unit / I. V. Sobolevsky, V. A. Kuklin, I. I. Kalafatov, et al. // Tavricheskiy Vestnik of Agrarian Science. 2024. No. 1 (37). P. 149-157. doi: 10.5281/zenodo.10930842

15. Ryzhkov A. V., Machkarin A. V. Roller-crusher of plant residues // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2023. No. 1 (37). P. 32-40.

16. Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. Justification of the design parameters and arrangement of the working bodies of a combined tillage unit // Tavricheskiy Vestnik of Agrarian Science. 2023. No. 2 (34). P. 102-109. doi: 10.5281/zenodo.8272005

17. Shapar M. S., Shishlov A. N., Shishlov S. A. Vibratory roller for pre-sowing rolling // Rural mechanic. 2021. No. 9. P. 18-19. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

18. Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shapar M. S. Pre-sowing preparation of soil for soybeans with a vibratory roller in the conditions of Primorsky Krai // Agrarian Vestnik of Primorye. 2017. No. 3 (7). P. 57-59. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

19. Experimental studies of a universal ridge former roller / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, I. A. Sharonov et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2011. No. 4 (16). P. 107-112.

20. Improvement of the parameters of a soil-cultivating roller based on the results of field studies / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, R. V. Bogatsky et al. // Tractors and agricultural machinery. 2024. Vol. 91. No. 6. P. 793-800. doi: 10.17816/0321-4443-631576



## Определение коэффициента влагопроводности вторичного растительного сырья решением обратной задачи массопроводности

**Р. Г. Сафин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка древесных материалов»

**А. С. Родионов**✉, аспирант кафедры «Переработка древесных материалов»

**Н. Ф. Тимербаев**, доктор технических наук, профессор кафедры «Переработка древесных материалов»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул. К. Маркса, 68

✉ rodionov2014@bk.ru

**Резюме.** Представлены результаты аналитических и экспериментальных исследований по определению коэффициента влагопроводности растительного сырья. Исследован вопрос использования нестационарного потока влаги для определения коэффициента влагопроводности костры льна методом решения обратной задачи дифференциального уравнения массопроводности. Исходными данными для этого служат кривые сушки высушиваемого и контрольного образца, полученные на экспериментальной установке при различной температуре сушильного агента: 50, 75, 95 °С. На этих кривых отчетливо можно выделить периоды постоянной и падающей скорости сушки, коэффициент влагопроводности в которых будет отличаться. Путем аналитической обработки кривых сушки в языковой среде программирования Python с поддержкой модуля matplotlib были получены динамические кривые сушки, отражающие локальное влагосодержание по толщине в каждый момент времени. При решении обратной задачи дифференциального уравнения массопроводности по данным динамических кривых рассчитывается коэффициент влагопроводности. Выяснено, что коэффициент влагопроводности экспоненциально зависит от влажности и температуры. Данные, полученные нестационарным дифференциальным методом, были сопоставлены с данными, полученными стационарным методом. Расхождения двух методов не превышает 15%. Для повышения точности была предложена модификация существующей методики стационарного метода определения коэффициента влагопроводности. Существенный недостаток известных методов заключается в необходимости извлечения образца из установки для взвешивания, что вносит значительную погрешность в результаты исследования. Показана возможность определения зависимости коэффициента влагопроводности от влагосодержания путем решения обратной задачи дифференциального уравнения массопроводности. Это позволяет выполнять более точные расчеты конвективных сушилок, тем самым повысить энергоэффективность процесса.

**Ключевые слова:** коэффициент влагопроводности, сушка, массопроводность, кривые сушки, вторичное растительное сырье, закон Фика.

**Для цитирования:** Сафин Р. Г., Родионов А. С., Тимербаев Н. Ф. Определение коэффициента влагопроводности вторичного растительного сырья решением обратной задачи массопроводности // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 221-228. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-221-228

## Determining the moisture conductivity coefficient of secondary plant materials by solving the inverse problem of mass conductivity

**R. G. Safin, A. S. Rodionov, N. F. Timerbaev**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (KNRTU)

420015, Russian Federation, Republic of Tatarstan, Kazan, K. Marksa St., 68

rodionov2014@bk.ru

**Abstract.** This paper presents the results of analytical and experimental studies to determine the moisture conductivity coefficient of plant materials. The use of a transient moisture flow to determine the moisture conductivity coefficient of flax shives by solving the inverse problem of the differential equation of mass conductivity is explored. The initial data for this study are the drying curves of the dried and control samples, obtained on an experimental setup at various drying agent temperatures: 50, 75, and 95°C. These curves clearly show periods of constant and decreasing drying rates, during which the moisture conductivity coefficient differs. By analytically processing the drying curves in the Python programming language environment with the matplotlib module, dynamic drying curves were obtained, reflecting local moisture content across the thickness at each moment in time. By solving the inverse problem of the differential equation of mass conductivity, the moisture conductivity coefficient is calculated from the dynamic curves. It was found that the moisture conductivity coefficient depends exponentially on humidity and temperature. Data obtained by the non-stationary differential method were compared with data obtained by the stationary method. The discrepancy between the two methods does not exceed 15%. To improve accuracy, a modification of the existing stationary method for determining the moisture

conductivity coefficient was proposed. A significant drawback of known methods is the need to remove the sample from the weighing system, which introduces significant error into the study results. The possibility of determining the dependence of the moisture conductivity coefficient on moisture content by solving the inverse problem of the differential equation of mass conductivity is demonstrated. This allows for more accurate calculations of convective dryers, thereby increasing the energy efficiency of the process.

**Keywords:** moisture conductivity coefficient, drying, mass conductivity, drying curves, secondary plant materials, Fick's law.

**For citation:** Safin R. G., Rodionov A. S., Timerbaev N. F. Determining the moisture conductivity coefficient of secondary plant materials by solving the inverse problem of mass conductivity // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 221-228 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-221-228

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00036,  
<https://rscf.ru/project/23-26-00036/>

### Введение

Процесс переработки вторичного растительного сырья сопровождается массообменными процессами сушки, пропитки и промывки. Повышение энергоэффективности этих процессов путем улучшения технических показателей возможно при использовании математического моделирования. Центральное значение при математическом моделировании занимает коэффициент влагопроводности, характеризующий скорость движения влаги в материале и интенсивность процесса [1]. Изучением этого вопроса занимались многие исследователи Рудобашта С.П. [2], Stamm A. J. [3], Martley I. E. [4], Stilwell S.T. [5], Ludwig K. [6], Egner K. [7], Лыков А.В. [8] и др. В их научных работах были определены коэффициенты влагопроводности для различных видов растительного сырья при различных режимах. На данном этапе развития научных исследований не проработан вопрос расчета коэффициента влагопроводности применительно ко вторичному растительному сельскохозяйственному сырью, образующемуся на предприятиях агропромышленного комплекса.

Коэффициент влагопроводности можно определить методами стационарного и нестационарного потока влаги.

Нестационарный режим характеризуется неравномерным удельным потоком влаги по сечению материала, а стационарный - равномерным и постоянным потоком влаги по сечению материала.

Метод стационарного потока основан на установлении в материале постоянного переноса влаги за счет создания постоянной разности влажностей ( $\phi_0 - \phi_n$ ) среды на противоположных торцах испытуемого материала, где  $\phi_0$  — относительная влажность воздуха на одной стороне образца (обычно более влажной), а  $\phi_n$  — относительная влажность воздуха на противоположной стороне (обычно менее влажной) (Шубин Г.С. *Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М.: Лесная промышленность, 1973. 248 с.*)

В литературе [9, 10] приведены описания установок для определения коэффициента влагопроводности стационарным методом. Существенный недостаток известных методов заключается в необходимости извлечения образца из установки для

взвешивания, что вносит значительную погрешность в результаты исследований.

К нестационарным методам относятся методы определения темпа регулярного режима влагопереноса и исследуемый метод решения обратной задачи дифференциального уравнения массопроводности, который базируется на обработке кривых сушки.

Метод регулярного режима влагопереноса считается аналогом метода определения коэффициента температуропроводности [11]. В этом методе на основании кинетических кривых сушки строится кривая натурального логарифма влагосодержания по времени, которая носит линейный характер. Угол наклона логарифмической кривой является темпом регулярного режима влагопереноса "m", на основании которого определяется коэффициент влагопроводности  $a_m$ , по соотношению:

$$a_m = Km, \quad (1)$$

где  $m$  — темп регулярного режима влагопереноса,  $1/с$ ;  $K$  — коэффициент формы для одномерной частицы,  $м^2$ ,

$$K = \frac{a^2}{\pi^2}, \quad (2)$$

где  $a$  — размер частицы, м.

Недостатком этого метода является то, что им возможно определить только среднее значение коэффициента влагопроводности.

В исследуемом методе решения обратной задачи дифференциального уравнения массопроводности процесс влагопереноса при нестационарном режиме описывается дифференциальными уравнениями Лыкова, которые для бесконечной пластины имеют вид:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_m \beta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_\tau \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (4)$$

При создании краевых условий первого рода начальные и граничные условия записывают соотношениями:

$$U(x, 0) = U_n; \quad (5)$$

$$U(0, \tau) = U_p; \quad (6)$$

$$T(x, 0) = T_n; \quad (7)$$

$$T(0, \tau) = T_c. \quad (8)$$

где  $T$ ,  $T_n$ ,  $T_c$  – соответственно, локальная, начальная температура высушиваемого материала и температура сушильного агента, °C;  $U$ ,  $U_n$ ,  $U_p$  – соответственно локальное, начальное влагосодержание высушиваемого материала и равновесное влагосодержание поверхности, кг/кг;  $a_T$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $\beta$  – термоградиентный коэффициент, кг/(кг · K) [12].

Если создать условия минимального  $\text{grad}(T)$ , то уравнения 3, 4 можно свести ко второму закону Фика:

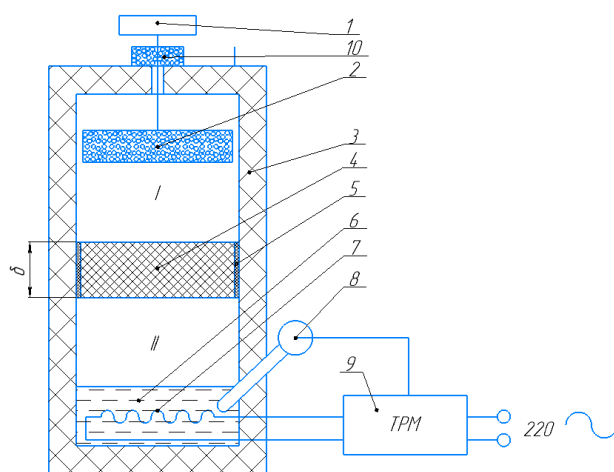
$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}. \quad (9)$$

Построив на основе кинетических кривых сушки динамические кривые и решив обратную задачу при определенных условиях, можно рассчитать коэффициент влагопроводности при нестационарном потоке влаги [13].

Цель исследований – разработка метода определения коэффициента влагопроводности с учетом градиента влагосодержания по сечению высушиваемого материала. Это позволяет адекватно моделировать процессы сушки и учитывать нелинейную зависимость коэффициента влагопроводности от влажности сырья.

#### Материалы и методы

На рис. 1 показана экспериментальная установка для определения коэффициента влагопроводности при стационарном режиме.



**Рис. 1. Экспериментальная установка для определения коэффициента влагопроводности:** 1 – весы; 2 – силикагель; 3 – теплоизолированный корпус; 4 – испытуемый образец; 5 – уплотнитель; 6 – дистиллированная вода; 7 – нагреватель; 8 – термопара; 9 – терморегулятор; 10 – влагоизолятор; I – зона нулевой влажности; II – зона с максимальной влажностью

Экспериментальная установка работает следующим образом: испытуемый образец 4 с уплотнителем 5 помещают в теплоизолированный корпус 3, создавая две зоны. В нижней зоне II находится дистиллированная вода 6, подогреваемая нагревателем 7. Температура дистиллированной воды поддерживается на заданном уровне терморегулятором 9

и термопарой 8. В верхней зоне I находится емкость с силикагелем 2, масса которой измеряется весами 1. Влагоизолятор 10, состоящий из силикагеля, препятствует проникновению окружающей влаги в изолированную зону I.

Физическая картина эксперимента: нагретая дистиллированная вода 6, испаряясь в зоне II, создает 100%-ную влажность воздушной среды. Влага, проходя через испытуемый материал 4, в зоне I поглощается силикагелем 2. Масса поглощенной влаги фиксируется весами 1 [14].

Измерения фиксируют с наступлением стационарного потока влаги через материал, характеризующимся равномерным увеличением массы силикагеля. В зависимости от температуры продолжительность установления стационарного потока менялась от 32 до 90,5 ч [9].

Коэффициент влагопроводности для стационарного режима рассчитывают, исходя из первого закона Фика:

$$J = -a_m \text{grad}(U) \approx -a_m \frac{\Delta U}{\delta}, \quad (10)$$

где  $J$  – удельный поток влаги, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\delta$  – толщина образца, м;  $\Delta U$  – разность влагосодержаний на гранях образца, расположенных во влажной нижней зоне II и в сухой верхней зоне I, % [15].

$$\Delta U = U_{II} - U_I. \quad (11)$$

С другой стороны, удельный поток  $J$  определяют как количество вещества  $\Delta m$ , пройденного через единицу площади  $S$  в единицу времени  $\Delta \tau$ .

$$J = \frac{\Delta m}{S \Delta \tau}. \quad (12)$$

Из совместного решения (10) и (12) получаем соотношение для расчета коэффициента влагопроводности:

$$a_m = \frac{\Delta m \delta}{S \Delta \tau (U_{II} - U_I)} \quad (13)$$

Влагосодержание поверхности образца в нижней зоне  $U_{II}$  определяется максимальным гигроскопическим влагосодержанием  $U_r$ .

Влагосодержание поверхности образца в верхней зоне  $U_I$  рассчитывают по уравнению Фрейндлиха [16]:

$$U_I = a \varphi_I^n, \quad (14)$$

где  $a$ ,  $n$  – экспериментальные коэффициенты;  $\varphi_I$  – относительная влажность воздуха в сухой зоне I, %.

Среднее влагосодержание образца определяли соотношением:

$$\bar{U} = \frac{U_{II} + U_I}{2} \quad (15)$$

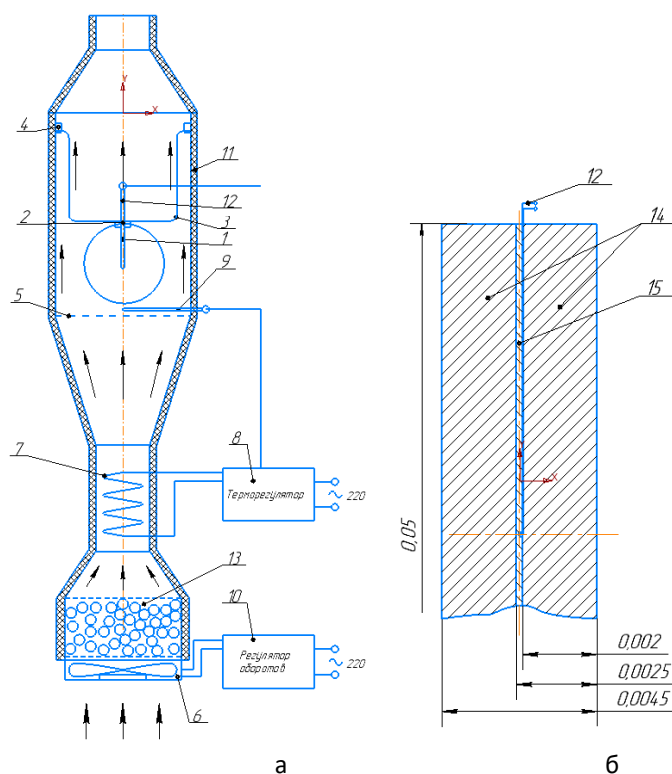
Если влажность воздуха в первой зоне равна нулю, что достигается установкой в зону I силикагеля, то  $U_I$  будет равно нулю, и среднее влагосодержание образца будет равно:

$$\bar{U} = \frac{U_{II}}{2}. \quad (16)$$

Образцы для исследования получены прессованием отходов костры льна при давлении 52,5 МПа. В результате прессования получены образцы диаметром 60 мм и толщиной 2 мм и 0,5 мм. После

размещения образцов на длительное время в 100%-ной влажной среде определяли их максимальное гигроскопичное влагосодержание, которое составило  $\approx 60\%$ . Определение коэффициента влагопроводности происходило при температурах 50, 75, 95 °C [17].

Для определения коэффициента влагопроводности при нестационарном режиме была создана опытная установка. На рис. 2 изображены принципиальная схема установки (а) и опытный образец толщиной 0,0045 м (б).



**Рис. 2. Опытная установка:** 1 – исследуемый материал; 2 – держатель; 3 – прутки; 4 – захваты; 5 – перфорированное дно; 6 – вентилятор; 7 – электронагреватель; 8 – терморегулятор; 9, 12 – термопары; 10 – регулятор частоты вращения лопастей вентилятора; 11 – теплоизоляция; 13 – зона осушения; 14 – высушиваемые слои; 15 – контрольный слой

Для создания низкой влажности сушильного агента в экспериментальную установку внедрена зона осушения воздуха 13, состоящая из насыпного слоя силикагеля. Для исключения влияния градиента температуры испытываемые образцы перед сушкой оборачивали фольгой и нагревали до температуры сушильного агента [12].

Исходные данные эксперимента: температура сушильного агента  $T_c$  – 50, 75 и 90 °C; относительную влажность сушильного агента  $\varphi_c$  принимали равной нулю; скорость потока сушильного агента – 2 м/с. Испытуемый образец прессованной костры льна состоит из двух пластин толщиной  $b = 2$  мм и контрольного слоя из прессованной костры льна толщиной 0,5 мм между ними.

Используя теорию подобия, дифференциальное уравнение (9) можно заменить соотношением [18]:

$$\frac{\Delta U_x}{\Delta \tau} = a_m \frac{\Delta U_x}{\Delta x^2} \quad (17)$$

Используя метод конечных разностей, можно получить соотношение для расчета локального значения влагосодержания  $U_x^t$ :

$$U_x^t = U_x^{t-1} + a_m \frac{U_{x=0}^{t-1} - 2U_x^{t-1} + U_{x=b}^{t-1}}{\Delta x^2} \Delta \tau, \quad (18)$$

из которого можно выразить коэффициент влагопроводности  $a_m$ :

$$a_m = \frac{(U_x^t - U_x^{t-1}) \Delta x^2}{(U_{x=0}^{t-1} - 2U_x^{t-1} + U_{x=b}^{t-1}) \Delta \tau} \quad (19)$$

Для вычисления коэффициента влагопроводности  $a_m$  предлагаемым методом необходимо знать влагосодержание материала в трёх точках на поверхности материала  $U_{x=0}^{t-1}$ , в глубине  $U_x^{t-1}$ , и в центре материала  $U_{x=b}^{t-1}$ , где  $x$  – текущая координата, а  $\tau$  – текущее время. Эти значения вычисляют при аналитической обработке кривых сушки, построенных по результатам экспериментальных исследований на опытной установке [19, 20].

#### Результаты

Коэффициент влагопроводности прямо пропорционально зависит от температуры (табл.).

**Таблица. Коэффициенты влагопроводности, определенные стационарным методом**

Температура образца, °C	50	75	90
Коэффициент влагопроводности, м <sup>2</sup> /с	$6,45 \cdot 10^{-9}$	$7,7 \cdot 10^{-9}$	$1,07 \cdot 10^{-8}$

Это связано со скоростью фазовых превращений на поверхности материала в верхней зоне и увеличением кинетической энергии молекул воды.

На рис. 3 приведены экспериментальные кривые сушки высушиваемых образцов при температурах теплоносителя: 50, 75 и 95 °С.

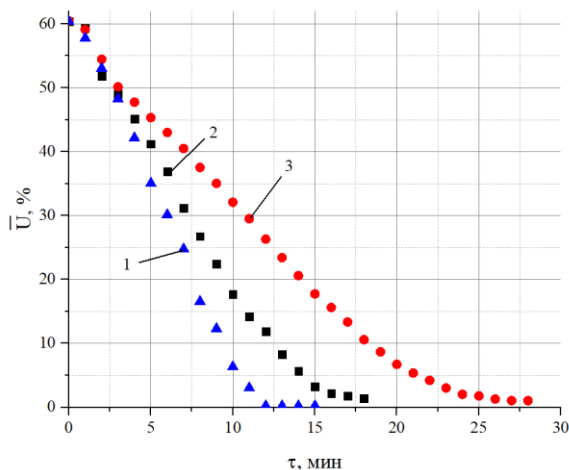


Рис. 3. Экспериментальные кривые сушки высушиваемых образцов при температурах  $T_c = 95$  °С; 2 -  $T_c = 75$  °С; 3 -  $T_c = 50$  °С

Проанализировав рис. 3, отчетливо можно выделить периоды постоянной и падающей скорости сушки. Соответственно, для каждого из этих участков коэффициент влагопроводности будет отличаться.

На рис. 4 приведены кинетические данные процесса сушки контрольных слоев, отражающие локальные влагосодержания в центре образца  $U_{x=b}$ . Влагосодержание на поверхности образца  $U_{x=0}$

принимается равной нулю. Для построения динамических кривых мы имеем локальные значения влагосодержания:  $U_{x=0}$ ,  $U_{x=b}$  и среднее влагосодержание в любой момент времени.

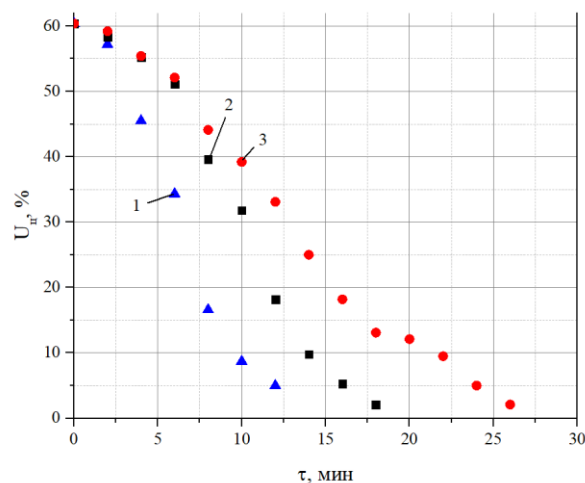


Рис. 4. Кинетические данные по влагосодержанию контрольных образцов при температурах  $T_c = 95$  °С; 2 -  $T_c = 75$  °С; 3 -  $T_c = 50$  °С

Путем аналитической обработки полученных экспериментальных данных в языковой среде программирования Python с поддержкой модуля matplotlib были получены динамические кривые сушки, отражающие локальные влагосодержание высушиваемого материала по толщине в каждый момент времени (рис 5).

Значения влагосодержания, представленные на рис. 4, подставляли как влагосодержание в центре моделируемой частицы в каждый момент времени (рис. 5).

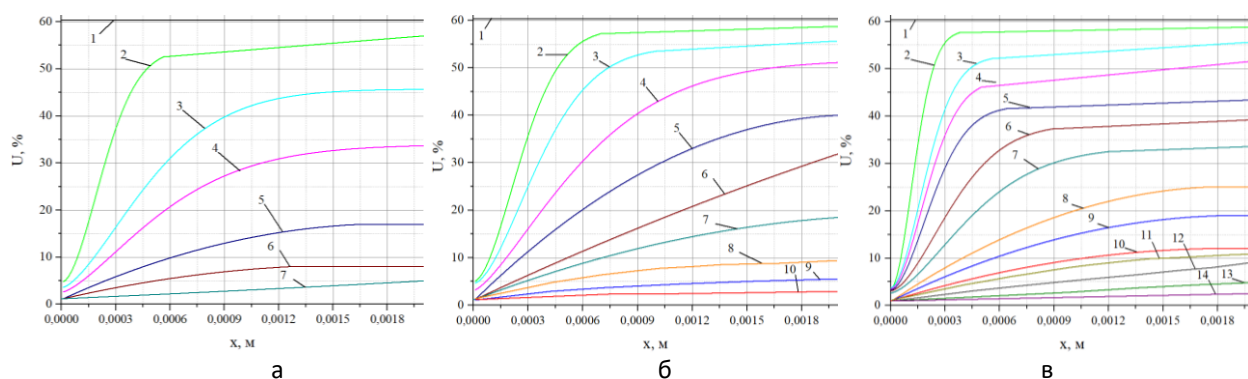


Рис 5. Динамическая кривая сушки по глубине слоя материала при температуре сушильного агента  $T_c$ : а - 95 °С; б - 75 °С; в - 50 °С. Текущее время, мин.: 1 -  $\tau = 0$ ; 2 -  $\tau = 2$ ; 3 -  $\tau = 4$ ; 4 -  $\tau = 6$ ; 5 -  $\tau = 8$ ; 6 -  $\tau = 10$ ; 7 -  $\tau = 12$ ; 8 -  $\tau = 14$ ; 9 -  $\tau = 16$ ; 10 -  $\tau = 18$ ; 11 -  $\tau = 20$ ; 12 -  $\tau = 22$ ; 13 -  $\tau = 24$ ; 14 -  $\tau = 26$ .

При подстановке локальных значений влагосодержания  $U_x^t$  в уравнение (19) были получены зависимости коэффициента влагопроводности от влагосодержания при различных температурах (рис. 6).

Анализ кривых показал, что зависимости носят экспоненциальный характер, и со снижением влагосодержания коэффициент влагопроводности

уменьшается. Из этого можно сделать вывод, что коэффициент влагопроводности зависит от формы связи влаги с материалом. Полученные значения коэффициента влагопроводности не противоречат литературным данным [22].

После обработки динамических кривых (рис. 5) при различных температурах получены зависимости

коэффициента влагопроводности от температуры при различных значениях среднего влагосодержания (рис. 7).

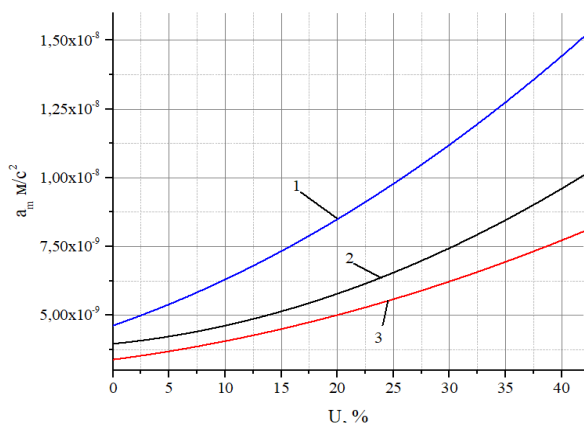


Рис. 6. Зависимость коэффициента влагопроводности от влагосодержания при разных температурах сушильного агента: 1 -  $T_c = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 -  $T_c = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 3 -  $T_c = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

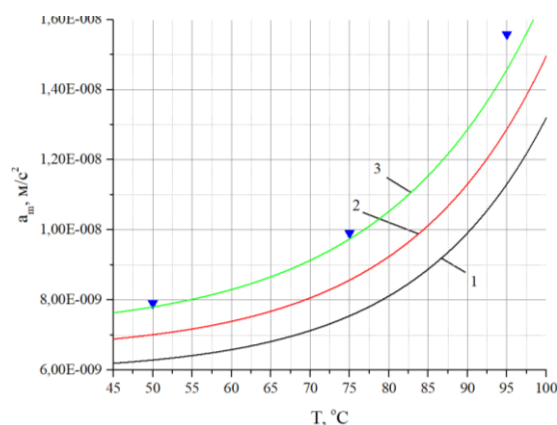


Рис. 7. Зависимость коэффициента влагопроводности от температуры при различных влагосодержаниях: 1 -  $\bar{U} - 30\%$ ; 2 -  $\bar{U} - 35\%$ ; 3 -  $\bar{U} - 45\%$

На рис. 7 линиями показаны значения коэффициента влагопроводности, рассчитанные исследуемым методом решения обратной задачи дифференциального уравнения массопроводности, а точками — экспериментальные данные из таблицы, полученные стационарным методом. Результаты расходятся не более, чем на 15%. Таким образом можно говорить о возможности определения коэффициента влагопроводности предложенным методом — решением обратной задачи уравнения Фика.

#### Обсуждение

Рудак О. Г., Платонов А. Д. и Сапожников И.В. [10, 11, 21] в своих исследованиях определили коэффициент влагопроводности для таких распространенных древесных пород, как сосна и берёза. Согласно их данным, этот коэффициент варьируется в диапазоне от  $0,65 \cdot 10^{-10}$  до  $3,5 \cdot 10^{-9}$  м²/с, что обусловлено различиями в анатомическом строении древесины, её плотности, начальной влажности, а также условиями

проведения экспериментов (температура, градиент влажности и др.).

Получены значения коэффициента влагопроводности для прессованной костры льна, которые находятся в пределах от  $3,45 \cdot 10^{-9}$  до  $1,5 \cdot 10^{-8}$  м²/с. Эти результаты свидетельствуют о том, что прессованная костра льна обладает более высокой способностью к переносу влаги, чем исследованные образцы древесины. Такое различие можно объяснить рядом факторов:

- пористой и волокнистой структурой костры льна, которая, особенно после прессования, формирует развитую капиллярную систему, способствующую интенсивному движению влаги;
- более низкой плотностью по сравнению с древесиной, что снижает сопротивление диффузионному и капиллярному переносу влаги.

Более высокий коэффициент влагопроводности напрямую указывает и на более высокую скорость сушки прессованной костры льна по сравнению с древесиной сосны и берёзы при сопоставимых условиях. Это имеет важное практическое значение: сокращается продолжительность сушки, снижаются энергозатраты, уменьшается риск возникновения внутренних напряжений и дефектов, связанных с неравномерным удалением влаги.

#### Заключение

Разработанный метод определения коэффициента влагопроводности учитывает не только общий темп снижения влагосодержания, но и максимальный градиент концентрации в перерабатываемом сырье.

В результате аналитического и экспериментального исследования показана возможность определения зависимости коэффициента влагопроводности от влагосодержания путем решения обратной задачи уравнения Фика. Это позволит выполнять более точные расчеты конвективных сушилок, тем самым повысить энергоэффективность процесса.

Определенные численные значения коэффициента влагопроводности прессованной костры льна, которые составили от  $3,45 \cdot 10^{-9}$  до  $1,5 \cdot 10^{-8}$  м²/с в диапазоне влажности 0...40%, температуре 45...100 °C, и сравнение их с данными, полученными по классическому стационарному методу, показало, что расхождение результатов не превышает 12...15%, что подтверждает достоверность разработанного подхода. Это позволяет рекомендовать разработанный метод для оценки влагопроводности волокнистых растительных материалов, а также использовать полученные значения коэффициента влагопроводности при моделировании и оптимизации технологических процессов сушки, хранения и термовлажностной обработки костры льна.

#### Литература

1. Автоматизация технологических процессов при переработке сырья растительного происхождения / Ю. А. Максименко, Э. П. Дяченко, Ю. С.



Феклунова и др. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 3. С. 21-29. doi:10.24143/2073-5529

2. Рудобашта С. П. Современное состояние и направления развития теории и практики сушки // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ - 2020: Сборник научных трудов Седьмой Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Академика А.В. Лыкова, Москва, 13–15 октября 2020 года. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис". 2020. С. 13-22.

3. Water in wood: A review of current understanding and knowledge gaps / E. E. Thybring, M. Fredriksson, S. L. Zelinka, et al. // Forests. 2022. Vol. 13. No. 12. P. 2051. doi:10.3390/f13122051.

4. Keey R. B., Langrish T. A. G., Walker J. C. F. Kiln-drying of Lumber // Springer Science & Business Media. 2012. Berlin. P. 325. doi:10.1007/978-3-642-59653-7.

5. Hameury S. Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study // Building and Environment. 2005. Vol. 40. No. 10. P. 1400-1412. doi:10.1016/j.buildenv.2004.10.017

6. Egner K. Ermittlung von Wasserabgabe und Wasseraufnahme, Schwinden und Quellen der Hölzer // Die Prüfung nichtmetallischer Baustoffe. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. P. 38-42. doi:10.1007/978-3-642-90989-4\_5

7. Kollmann F. Härte und Abnutzungswiderstand // Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: Erster Band: Anatomie und Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität und Festigkeit. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. P. 909–935. doi:10.1007/978-3-642-49758-2\_27

8. Лыков А.В. Теория сушки. М., «Энергия», 1968. 472 с.

9. Рудак О.Г., Снопков В.Б. Исследование влагопроводности древесины сосны в различных структурных направлениях // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2010. №. 2. С. 180-183.

10. Влагопроводность ядровой древесины сосны, поврежденной сильным низовым и беглым верховым пожаром / А. Д. Платонов, С. Н. Снегирева, Е. В. Кантиева и др. // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13. № 4.1(52). С. 191-208. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/12. EDN DKAPGJ.

11. Патент № 2649082 С1 Российская Федерация, МПК G01N 15/08. Способ определения коэффициента диффузии жидкости в капиллярно-пористом теле при воздействии ультразвуком: № 2016150288: заявл. 20.12.2016: опубл. 29.03.2018 / В. Н. Ковальногов, Т. В. Карпухина, Р. В. Федоров и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ульяновский государственный технический университет".

12. Моделирование процесса сушки вторичного сырья в технологической линии производства активированного угля / Р. Г. Сафин, А. С. Родионов, В. Г. Сотников и др. // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27. № 4. С. 117-127.

13. Шадманов И. У. Математическая модель и эффективный численный алгоритм для исследования процессов тепло-влажноперевода в пористых средах // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2021. № 2(32). С. 117-134. EDN BFKMIR

14. Патент № 2152966 С1 Российская Федерация, МПК C08L 97/02, B27K 9/00, B27N 3/04. Пресс-композиция, способ ее получения и способ получения композиционных материалов на ее основе / Б.Н. Салин, О.В. Старцев, Ю.Г. Скурыдин: № 99102827/04: заявл. 15.02.1999: опубл. 20.07.2000.

15. Скуратов Н. В., Усов Д. В., Сергеев И. Г. Паропроницаемость и влагопроводность термически модифицированной древесины ясеня // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2021 г.: Материалы конференции, Мытищи, Московская обл., 31 января 02 2022 года / Под общей редакцией В.Г. Санаева. Красноярск: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-инновационный центр", 2022. С. 113-115. EDN NJKCDJ.

16. Архинчеев В. Е. Обобщенный закон Фика для аномальной диффузии в многомерной гребешковой модели // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2007. Т. 86, № 7-8. С. 580–583.

17. Смирнова О. Е., Пичугин А. П. Технологические закономерности формирования гранулированного лигносодержащего заполнителя // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2025. № 4(796). С. 71-80. doi: 10.32683/0536-1052-2025-796-4-71-80. EDN NAICRV

18. Моделирование процесса термохимического разложения растительных отходов в технологической линии производства активированного угля / Р. Г. Сафин, А. С. Родионов, В. Г. Сотников и др. // Вестник Технологического университета. 2023. Т. 26. № 6. С. 50-56. doi: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_6\_50

19. Усков И. А. Сравнение метода конечных разностей и метода коллокаций по определению критических сил стержней переменного сечения // Colloquium-Journal. Голопристанский мисьяркий центр зайнятості = Голопристанский районный центр занятости, 2019. № 16-2. С. 99-101.

20. Горбунов А. Д., Уклеина С. В. Решение задачи конвективно-радиационного нагрева (охлаждения) тел простой геометрической формы методом конечных разностей // Математическое моделирование. 2017. № 1. С. 40-43.

21. Определение коэффициентов влагопроводности при низкотемпературной сушке древесины / И. В. Сапожников, Н. В. Скуратов, И. И. Алексеева и др.

// Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 4. С. 34-39. EDN WRJTCF. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/12

#### References

1. Automation of technological processes in processing of plant-based raw materials / Yu. A. Maksimenko, E. P. Dyachenko, Yu. S. Fekunova, et al. // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Control, Computer Engineering, and Informatics. 2014. No. 3. P. 21-29. doi:10.24143/2073-5529
2. Rudobashta S. P. Current state and directions of development of the theory and practice of drying // Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal processes) SETT - 2020: Collection of scientific papers of the Seventh International scientific and practical conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician A.V. Lykov, Moscow, October 13-15, 2020. Moscow: OOO "Megapolis", 2020. P. 13-22.
3. Water in wood: A review of current understanding and knowledge gaps / E. E. Thybring, M. Fredriksson, S. L. Zelinka, et al. // Forests. 2022. Vol. 13. No. 12. P. 2051. doi:10.3390/f13122051.
4. Keey R. B., Langrish T. A. G., Walker J. C. F. Kiln-drying of Lumber // Springer Science & Business Media. 2012. Berlin. P. 325. doi:10.1007/978-3-642-59653-7.
5. Hameury S. Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study // Building and Environment. 2005. Vol. 40. No. 10. P. 1400-1412. doi: 10.1016/j.buildenv.2004.10.017
6. Egner K. Ermittlung von Wasserabgabe und Wasseraufnahme, Schwinden und Quellen der Hölzer // Die Prüfung nichtmetallischer Baustoffe. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, P. 38-42. doi:10.1007/978-3-642-90989-4\_5
7. Kollmann F. Härte und Abnutzungswiderstand // Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: Erster Band: Anatomie und Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität und Festigkeit. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. P. 909-935. doi:10.1007/978-3-642-49758-2\_27
8. Lykov A.V. Drying Theory. Moscow, Energia, 1968. 472 p.
9. Rudak O.G., Snopkov V.B. Study of pine wood moisture conductivity in different structural directions // Proceedings of BSTU. Forestry and Woodworking Industry. 2010. No. 2. P. 180-183.
10. Moisture conductivity of pine heartwood damaged by severe ground and fleeting crown fires / A. D. Platonov, S. N. Snegireva, E. V. Kantieva, et al. // Forest Engineering Journal. 2023. Vol. 13. No. 4.1(52). P. 191-208. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/12. EDN DKAPGJ.
11. Patent No. 2649082 C1 Russian Federation, IPC G01N 15/08. Method for specification of the diffusion coefficient of a liquid in a capillary-pore body when exposed to ultrasound: No. 2016150288: applied 20.12.2016: published 29.03.2018 / V. N. Kovalnogov, T. V. Karpushina, R. V. Fedorov, et al.; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ulyanovsk State Technical University".
12. Modeling the drying process of secondary raw materials in an activated carbon production line / R. G. Safin, A. S. Rodionov, V. G. Sotnikov, et al. // Forestry Vestnik. 2023. Vol. 27. No. 4. P. 117-127.
13. Shadmanov I. U. Mathematical model and efficient numerical algorithm for studying heat and moisture transfer processes in porous media // Problems of Computational and Applied Mathematics. 2021. No. 2 (32). P. 117-134. EDN BFKMIR
14. Patent No. 2152966 C1 Russian Federation, IPC C08L 97/02, B27K 9/00, B27N 3/04. Press composition, method for producing it and method for producing composite materials based on it / B. N. Salin, O. V. Startsev, Yu. G. Skurydin: No. 99102827/04: applied 15.02.1999: published 20.07.2000.
15. Skuratov N. V., Usov D. V., Sergeev I. G. Vapor permeability and moisture conductivity of thermally modified ash wood // Annual national scientific and technical conference of the faculty, graduate students and students of the Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University on the results of research work for 2021: Conference Proceedings, Mytishchi, Moscow region, January 31, 2022 / General editor V. G. Sanaev. Krasnoyarsk: OOO "Scientific Innovation Center", 2022. P. 113-115. EDN NJKCDJ.
16. Arkhincheev V. E. Generalized Fick's law for anomalous diffusion in a multidimensional comb model // Letters to the Journal of Experimental and Theoretical Physics. 2007. Vol. 86. No. 7-8. P. 580-583.
17. Smirnova O. E., Pichugin A. P. Technological patterns of formation of granulated lignin-containing filler // Vestnik of higher educational institutions. Construction. 2025. No. 4(796). P. 71-80. doi: 10.32683/0536-1052-2025-796-4-71-80. EDN NAICRV
18. Modeling of the process of thermochemical decomposition of plant waste in the technological line for the production of activated carbon / R. G. Safin, A. S. Rodionov, V. G. Sotnikov et al. // Vestnik of the Technological University. 2023. Vol. 26, No. 6. P. 50-56. doi: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_6\_50
19. Uskov I. A. Comparison of the finite difference method and the collocation method for determining the critical forces of rods with variable cross-section // Colloquium-Journal. Golopristsansky municipal employment center -Golopristsansky district employment center, 2019. No. 16-2. P. 99-101.
20. Gorbunov A. D., Ukleya S. V. Solution of the problem of convective-radiation heating (cooling) of bodies of simple geometric shape by the finite difference method // Mathematical modeling. 2017. No. 1. P. 40-43.
21. Determination of moisture conductivity coefficients during low-temperature wood drying / I. V. Sapozhnikov, N. V. Skuratov, I. I. Alekseeva, et al. // Vestnik of Moscow State Forest University - Forest Vestnik. 2016. Vol. 20, No. 4. P. 34-39. EDN WRJTCF. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/12



**Определение кинематической вязкости и плотности дизельного смесового топлива**

**А. А. Хохлов**<sup>✉</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

**А. Л. Хохлов**, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

**А. А. Цыбин**, аспирант

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

<sup>✉</sup>khokhlov.73@mail.ru

**Резюме.** В статье представлены оборудование, методика и результаты экспериментального исследования физико-химических свойств дизельного смесового топлива с различным содержанием биоконпонента – рыжикового масла. Целью работы являлось определение кинематической вязкости и плотности топливных смесей в зависимости от температуры (-10 °С... +80 °С). Измерения кинематической вязкости проводились на капиллярных вискозиметрах Пинкевича в соответствии с ГОСТ 33-2016, а плотность определялась с помощью ареометра АНТ-1 по ГОСТ 51069-97. Для обеспечения точности измерений кинематической вязкости и плотности топливных смесей в зависимости от температуры использовался криотермостат LOIPLT-912, позволяющий поддерживать заданную температуру. С ростом процентного содержания рыжикового масла в топливной смеси значения вязкости и плотности закономерно увеличиваются, причем наиболее резко — при отрицательных температурах. Критическим порогом для практического применения является температура +60 °С: при ее достижении топливные смеси с содержанием биоконпонента до 50% по своим вязкостно-плотностным характеристикам приближаются к стандартным требованиям для обычного дизельного топлива. Нагрев до +60 °С позволяет использовать смеси с содержанием RmO до 50% (вязкость 4,5 мм<sup>2</sup>/с), которые попадают в диапазон, установленный для летнего дизельного топлива (3,0...6,0 мм<sup>2</sup>/с). Полученные данные необходимы для оценки пригодности и эксплуатационных характеристик смесовых дизельных топлив с повышенным содержанием биоконпонентов. Полученные результаты имеют существенную практическую ценность для сельскохозяйственных предприятий, рассматривающих возможность использования возобновляемых топливных ресурсов, а также для конструкторов и инженеров, занимающихся адаптацией дизельной техники под альтернативные виды топлива.

**Ключевые слова:** дизельное смесовое топливо, биотопливо, рыжиковое масло, кинематическая вязкость, плотность, вискозиметр, ареометр, температурная зависимость.

**Для цитирования:** Хохлов А. А., Хохлов А. Л., Цыбин А. А. Определение кинематической вязкости и плотности дизельного смесового топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 229-234. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-229-234

**Specification of the kinematic viscosity and density of diesel blend fuel**

**A. A. Khokhlov**<sup>✉</sup>, A. L. Khokhlov, A. A. Tsybin

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

<sup>✉</sup>khokhlov.73@mail.ru

**Abstract.** This article presents the equipment, methodology, and results of an experimental study of the physicochemical properties of diesel blend fuel with varying contents of camelina oil as a biocomponent. The aim of the study was to determine the kinematic viscosity and density of fuel blends depending on temperature (-10°C to +80°C). Kinematic viscosity measurements were performed using Pinkevich capillary viscometers in accordance with the state standard GOST 33-2016, and density was determined using an ANT-1 hydrometer in accordance with the state standard GOST 51069-97. To ensure accurate measurements of kinematic viscosity and density of fuel mixtures depending on temperature, an LOIPLT-912 cryothermostat was used to maintain a preset temperature. As the percentage of camelina oil in the fuel mixture increases, viscosity and density values increase predictably, with the most dramatic increase at sub-zero temperatures. The critical threshold for practical use is +60°C: at this temperature, fuel mixtures containing up to 50% of the biocomponent approach the viscosity and density characteristics of standard diesel fuel. Heating to +60°C allows the use of blends with RmO content of up to 50% (viscosity 4.5 mm<sup>2</sup>/s), which falls within the range established for summer diesel fuel (3.0–6.0 mm<sup>2</sup>/s). The obtained data are necessary for assessing the suitability and performance characteristics of blended diesel fuels with an increased content of biocomponents. The obtained results have significant practical value for agricultural enterprises considering the use of renewable fuel resources, as well as for designers and engineers adapting diesel equipment to alternative fuels.

**Keywords:** diesel blended fuel, biofuel, camelina oil, kinematic viscosity, density, viscometer, hydrometer, temperature dependence.

**For citation:** Khokhlov A. A., Khokhlov A. L., Tsybin A. A. Specification of the kinematic viscosity and density of diesel blend fuel // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 229-234 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-229-234

### Введение

Развитие биоэнергетики и поиск альтернативных видов моторного топлива является стратегическим направлением для обеспечения энергетической безопасности и снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду [1-3]. Одним из наиболее доступных и перспективных видов сырья для производства биотоплива в России является рыжик посевной (*Camelina sativa*), масло которого может использоваться в качестве биокомпонента для дизельных смесевых топлив (ДСТ) [4-6].

Внедрение биотоплив в практику энергоустановок требует всестороннего изучения их физико-химических свойств [7-9], которые непосредственно влияют на работоспособность топливной аппаратуры и процессы смесеобразования и сгорания в двигателе [10-12].

К числу наиболее важных эксплуатационных характеристик относятся кинематическая вязкость и плотность [13]. Вязкость определяет качество распыления топлива форсунками, а от плотности зависят энергетические показатели и корректность работы топливopодкачивающих насосов [14-16].

Для чистых растительных масел и топливных смесей на их основе эти параметры существенно отличаются от стандартных нефтяных дизельных топлив (ДТ) и имеют выраженную температурную зависимость, что является критичным для применения в условиях сезонного изменения климата [17].

Несмотря на имеющиеся исследования в области биотоплив [18-20], системных данных по изменению вязкости и плотности ДСТ с рыжиковым маслом (RmO) в широком диапазоне температур, включая отрицательные, в доступной литературе представлено недостаточно.

Цель исследования – экспериментально определить кинематическую вязкость и плотность дизельных смесевых топлив с различным процентным содержанием рыжикового масла (от 0 до 100%) в температурном диапазоне от минус 10 °С до плюс 80 °С и установление границ их применимости в дизельных двигателях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

Приготовить серию образцов дизельного смесевых топлива с варьируемым содержанием рыжикового масла.

Экспериментально определить кинематическую вязкость и плотность полученных образцов при заданных температурах с использованием стандартизованных методов и оборудования.

Проанализировать влияние температуры и концентрации биокомпонента на исследуемые параметры.

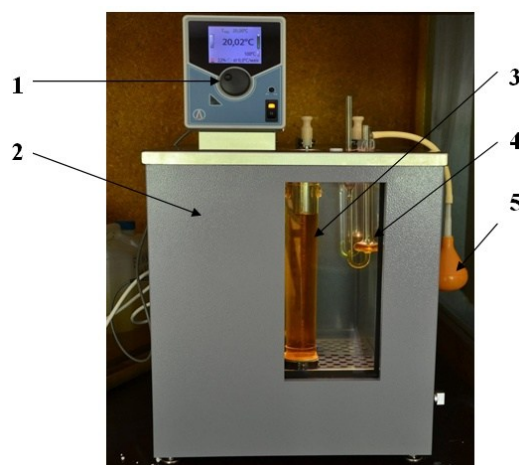
### Материалы и методы

Для дизельного топлива с различным процентным содержанием рыжикового масла были

проведены исследования вязкости в зависимости от температуры согласно стандарту ГОСТ 33-2016.

Вязкость измеряли капиллярными вискозиметрами Пинкевича ВПЖ-4. Вискозиметры подбирали с определенным диаметром капилляра, позволяющим охватить диапазон вязкостей от 0,6 до 1000 сСт, осуществляли из условия, чтобы время истечения жидкости составляло от 20 до 200 сек.

Для поддержания заданной температуры с точностью  $\pm 0,01$  °С вискозиметр помещали в криотермостат LOIPLT-912 (рис. 1) и выдерживали в течение 5 минут. Конструкция данного криотермостата включает модуль терморегулирования и кожух со встроенной ванной.



**Рис. 1. Комплекс для измерения кинематической вязкости и плотности смесевых минерально-рыжикового топлива:** 1 – модуль терморегулирования LOIPLT-912; 2 – модуль охлаждения; 3 – мерный стакан с ареометром АНТ; 4 – вискозиметр ВПЖ-4; 5 – груша

Модуль терморегулирования оснащен: лопастной мешалкой с электрорегулятором, нагревательным элементом, датчиками температуры и уровня жидкости, а также элементами управления и индикации. Термостатирующая ванна выполнена из нержавеющей стали и имеет два прозрачных смотровых окна. В защитном кожухе выполнена теплоизоляция ванны. Для обеспечения стабильной заданной температуры исследуемой топливной смеси использовалась емкость, которая в зависимости от заданной температуры заполнялась дистиллированной водой или охлаждающей жидкостью ОЖ-40 в соответствии с ГОСТ 28084-89.

Кинематическую вязкость  $\nu$  рассчитывали по формуле

$$\nu = C \cdot t, \text{ мм}^2/\text{с}, \quad (1)$$

где  $C$  – калибровочная постоянная мм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>;  $t$  – среднее арифметическое значение времени истечения, с.

Плотность исследуемых топливных смесей определялась по ГОСТ 51069-97 с помощью наборов ареометров АНТ-1 в соответствии ГОСТ 18481-81 (рис. 1).

Мерный стакан с исследуемой топливной смесью погружали в ванну криотермостата LOIPLT-912, заполненную дистиллированной водой при положительных температурах и охлаждающей жидкостью при отрицательных температурах, затем задавали необходимую температуру на блоке терморегулирования. Медленно погружали ареометр в исследуемый

образец, не допуская намочения стержня выше уровня погружения ареометра в жидкость. Когда ареометр находился в состоянии покоя, «плавал», не соприкасаясь со стенками мерного стакана, считывали и записывали показания шкалы ареометра.

Данные результатов исследований по определению кинематической вязкости при разной температуре нефтяного ДТ, рыжикового масла и дизельного смесевое топлива с различным процентным содержанием компонентов представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Вязкость товарного нефтяного дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесевое топлива**

Показатель	Вязкость исследуемых топлив, мм <sup>2</sup> /с										
Температура исследуемых топлив, °С	100% ДТ	90%ДТ +10% RmO	80%ДТ +20% RmO	70%ДТ +30% RmO	60%ДТ +40% RmO	50% ДТ +50% RmO	40% ДТ +60% RmO	30% ДТ +70% RmO	20% ДТ +80% RmO	10% ДТ +90% RmO	100% RmO
-10	10,83	14,82	30,81	43,94	61,61	116,30	104,80	111,10	310,30	398,61	598,31
-5	8,82	11,73	16,63	23,12	30,91	40,22	54,52	69,01	107,71	144,61	233,72
0	7,54	9,72	13,72	18,91	25,33	32,04	48,03	53,42	88,92	106,12	142,32
10	4,91	6,53	8,72	12,23	14,82	18,21	23,43	27,53	41,41	62,83	78,61
20	3,83	4,91	6,51	8,82	10,74	13,02	16,54	19,14	28,04	40,62	49,83
30	3,02	3,81	5,04	6,24	7,51	9,74	12,11	13,90	20,12	28,13	33,71
40	2,51	3,13	4,02	4,93	5,83	6,91	9,31	10,54	14,82	20,41	24,01
50	2,14	2,62	3,31	4,01	4,71	5,53	6,02	8,21	11,31	15,54	17,92
60	1,72	2,23	2,72	3,32	3,82	4,50	4,90	6,70	9,00	12,00	13,83
70	1,43	1,91	2,52	2,91	3,54	4,11	4,53	6,12	8,22	10,51	13,21
80	1,31	1,72	2,13	2,52	3,21	3,82	4,23	5,62	6,72	8,62	11,22

Вязкость дизельного смесевое топлива с увеличением процентного содержания RmO повышается, но при нагреве до температуры 60 °С приближается к стандартным показателям вязкости летнего нефтяного дизельного топлива (3,0...6,0 мм<sup>2</sup>/с), так например, у дизельного смесевое топлива 50%RmO+50%ДТ кинематическая вязкость равна 4,5 мм<sup>2</sup>/с и только с увеличением процентного содержания RM до 80% и 90% становится 9,0 мм<sup>2</sup>/с

и 12,0 мм<sup>2</sup>/с, что соответственно превышает в 1,5 и 2 раза кинематическую вязкость товарного нефтяного ДТ.

Данные результатов исследований по определению плотности при разной температуре нефтяного ДТ, рыжикового масла и ДСТ с различным процентным содержанием компонентов представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Плотность товарного нефтяного дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесевое топлива**

Показатель	Плотность исследуемых топлив, кг/м <sup>3</sup>										
Температура исследуемых топлив, °С	100% ДТ	90%ДТ +10% RmO	80%ДТ +20% RmO	70%ДТ +30% RmO	60%ДТ +40% RmO	50% ДТ +50% RmO	40% ДТ +60% RmO	30% ДТ +70% RmO	20% ДТ +80% RmO	10% ДТ +90% RmO	100% RmO
-10	850,2	858,3	869,1	876,4	884,1	892,0	904,1	912,0	922,3	931,1	940,2
-5	847,1	855,2	865,4	874,1	882,3	890,2	901,1	909,4	920,1	928,0	938,0
0	844,3	852,1	861,2	870,1	878,3	885,2	896,0	904,1	916,1	925,1	934,1
10	836,0	844,3	854,2	861,3	866,1	873,1	881,1	889,2	896,0	904,2	927,1
20	830,1	838,0	847,3	854,2	860,2	867,2	875,2	883,0	889,2	899,1	923,1
30	822,2	831,1	840,3	847,4	853,2	860,3	868,3	875,2	882,2	892,3	916,2
40	816,2	825,1	834,1	841,1	847,1	852,0	861,0	869,2	876,1	885,1	910,2
50	809,3	818,2	826,0	831,1	839,4	846,4	854,1	861,3	868,0	879,1	903,2
60	802,4	810,2	819,4	827,3	833,1	839,0	850,2	856,1	865,1	876,2	896,0
70	795,0	804,3	814,2	823,3	830,0	835,3	847,2	854,2	862,2	872,2	888,1
80	788,1	797,2	807,2	812,2	823,1	832,2	843,2	850,1	860,3	870,1	881,2

С увеличением процентного содержания RmO плотность повышается и при нагреве смесевое топлива до температуры плюс 60 °С становится близкой стандартным значениям плотности нефтяного ДТ (830...850 кг/м<sup>3</sup>), так, например, у ДСТ 50%RmO + 50%ДТ при температуре плюс 60 °С плотность равна 839 кг/м<sup>3</sup>.

#### **Обсуждение**

Полученные в ходе исследования результаты демонстрируют четкую зависимость физических свойств (ДСТ) от двух ключевых факторов: массовой доли биокomпонента и температуры. Анализ экспериментальных данных позволяет не только констатировать эти зависимости, но и выявить ряд важных закономерностей, имеющих практическое значение для применения ДСТ.

Влияние состава смеси и температуры на вязкость. Как и следовало ожидать, рост процентного содержания рыжикового масла в смеси с нефтяным дизельным топливом приводит к значительному увеличению кинематической вязкости. Это объясняется более высокой молекулярной массой и наличием полярных групп в молекулах триглицеридов, составляющих основу растительного масла, что приводит к усилению межмолекулярного взаимодействия [7-9].

Однако наиболее важным результатом является нелинейный характер этого роста, особенно выраженный при низких температурах. Например, при -10 °С вязкость смеси 20% ДТ / 80% RmO (310,3 мм<sup>2</sup>/с) на порядок превышает вязкость чистого ДТ (10,8 мм<sup>2</sup>/с) и почти в три раза выше вязкости смеси 30% ДТ / 70% RmO (111,1 мм<sup>2</sup>/с). Это свидетельствует о том, что после превышения определенного порога процентного содержания (в данном случае 70...80% RmO) вязкостные свойства смеси начинают определяться в основном структурой растительного масла, что критично для работы топливной аппаратуры [10-12].

С другой стороны, продемонстрирована высокая эффективность термомодификации для приведения вязкости ДСТ к приемлемым значениям. Нагрев до +60 °С позволяет использовать смеси с содержанием RmO до 50% (вязкость 4,5 мм<sup>2</sup>/с), которые попадают в диапазон, установленный для летнего дизельного топлива (3,0...6,0 мм<sup>2</sup>/с). Это согласуется с данными других исследований, посвященных биотопливам [14-16], и подтверждает универсальность подхода с подогревом для снижения вязкости растительных масел.

Аналогичная тенденция наблюдается и для плотности. Увеличение доли RmO закономерно повышает плотность топливной смеси, что связано с более высокой плотностью самого растительного масла по сравнению с нефтяным ДТ. Важно отметить, что даже для смесей с высоким содержанием биокomпонента (50% RmO) при +60 °С плотность (839 кг/м<sup>3</sup>) соответствует нормам для зимних сортов дизельного топлива. Это указывает на то, что с точки данного

параметра смеси, даже высоко содержащие биокomпонент (RmO), не вызовут существенных проблем с энергоэффективностью или работой топливopодкачивающего насоса при условии их подогрева.

#### **Заключение**

Проведенное исследование количественно подтвердило возможность использования рыжикового масла в качестве биокomпонента дизельного смесевop топлива. Установлены конкретные границы применимости дизельных смесевop топлив на основе рыжикового масла в зависимости от температуры и процентного содержания биокomпонента. Регулярный мониторинг вязкостно-температурных свойств и плотности дизельного смесевop топлива позволяет гарантировать его соответствие техническим требованиям, что напрямую влияет на надежность, экономичность и экологичность работы дизельных двигателей.

Полученные результаты имеют существенную практическую ценность для производителей и потребителей топлива, сельскохозяйственных предприятий, рассматривающих возможность использования возобновляемых топливных ресурсов, а также для конструкторов и инженеров, занимающихся адаптацией дизельной техники для работы на альтернативных видах топлива.

#### **Литература**

1. Мировые тенденции в области использования биодизельного топлива / С. А. Нагорнов, А. Н. Зазуля, И. Г. Голубев и др. // Техника и оборудование для села. 2023. № 10(316). С. 2-5. doi: 10.33267/2072-9642-2023-10-2-5
2. Marchuk A., Likhanov V. A., Lopatin O. P. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 3. P. 80-86. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-080-086
3. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Определение оптимального состава биотоплива для использования в дизельных ДВС // Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 1(67). С. 62-68.
4. Уханов А.П., Хохлов А.А. Биотопливо из рыжика: монография. Пенза: Пензенский ГАУ. 2020. 192 с.
5. Техническое обеспечение дизеля для работы на дизельном смесевом топливе / А. Л. Хохлов, Д. Е. Молочников, А. А. Хохлов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № 3(54). С. 122-127. doi: 10.12737/article\_5db96fe742de44.29083985
6. Уханов Д. А., Уханов А. П., Хохлов А. А. Методология определения параметров электродозаторов смесителя компонентов бионефтяного топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1(61). С. 203-209. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-203-209
7. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевop топлив / А. В.

Чернышева, А. Д. Черепанова, Б. И. Колобков и др. // Наука в центральной России. 2022. № 5(59). С. 120-133.

8. Изменение физико-химических характеристик биодизельного топлива и его композиций при хранении / С. В. Романцова, И. В. Гладышева, Н. В. Вервекина и др. // Наука в центральной России. 2022. № 3(57). С. 129-137. doi: 10.35887/2305-2538-2022-3-129-137

9. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив / А. В. Чернышева, А. Д. Черепанова, Б. И. Колобков и др. // Наука в центральной России. 2022. № 5(59). С. 120-133. doi: 10.35887/2305-2538-2022-5-120-133

10. Исследование топливоподачи дизеля, работающего на биотопливе / С. А. Нагорнов, В. А. Марков, Ю. В. Мещерякова и др. // Автомобильная промышленность. 2023. № 4. С. 7-11.

11. Исследование влияния биодизельного топлива на работу топливной аппаратуры / В. А. Марков, А. Г. Мещеряков, Ю. В. Мещерякова и др. // Грузовик. 2022. № 2. С. 17-25. doi: 10.36652/1684-1298-2022-2-17-25

12. Результаты стендовых испытаний смесевых топлив на основе возобновляемого сырья / А. Ю. Корнев, С. А. Нагорнов, А. П. Ликсутина и др. // Наука в центральной России. 2025. № 1(73). С. 123-133. doi: 10.35887/2305-2538-2025-1-123-133

13. Влияние состава биодизельного топлива на величину его плотности и вязкости / И. В. Гладышева, Н. В. Вервекина, Е. А. Поторыкина и др. // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 сентября 2021 года. Тамбов: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве". 2021. С. 202-205.

14. Эффективность работы дизельных двигателей тракторов на топливе с биодобавками растительного происхождения: аналитический обзор / И. Г. Голубев, С. А. Нагорнов, А. Н. Зазуля и др.. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса. 2021. 72 с. ISBN 978-5-7367-1627-2.

15. Лиханов В. А., Козлов А. Н., Арасланов М. И. Работа дизеля на этаноле и рапсовом масле: монография. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. 172 с. ISBN 978-5-6040852-5-7.

16. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Применение рапсового масла и этанола в дизельном двигателе //

Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 373-389. doi:10.15507/2658-4123.032.202203.373-389

17. Особенности использования смесевых биотоплив с добавками метилового эфира подсолнечного масла в автотракторном дизеле / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. А. Нагорнов и др. // Автомобильная промышленность. 2022. № 4. С. 28-33.

18. Уханов Д. А., Черепанова А. Д., Уханов А. П. Исследование автомобильного дизеля при работе на биокеросине // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1(65). С. 192-202. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-192-202

19. Уханов А. П., Уханов Д. А., Володько О. С. Показатели тракторного безнаддувного дизеля при работе на минерально-льняном топливе // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1(61). С. 210-216. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-210-216

20. Результаты исследований тракторного дизеля при работе на сурепно-нефтяном топливе / А. П. Уханов, М. В. Рыблов, Д. А. Уханов и др. // Нива Поволжья. 2023. № 2(66). doi: 10.36461/NP.2023.66.2.008

#### References

1. Global trends in the use of biodiesel fuel / S. A. Nagornov, A. N. Zazulya, I. G. Golubev, et al. // Machinery and equipment for the village. 2023. No. 10(316). P. 2-5. doi: 10.33267/2072-9642-2023-10-2-5

2. Marchuk A., Likhanov V. A., Lopatin O. P. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 3. P. 80-86. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-080-086

3. Likhanov V. A., Lopatin O. P. Specification of the appropriate composition of biofuel for use in diesel internal combustion engines // Transport on alternative fuel. 2019. No. 1(67). P. 62-68.

4. Ukhanov A.P., Khokhlov A.A. Biofuel from camelina: monograph. Penza: Penza State Agrarian University. 2020. 192 p.

5. Technical support of a diesel engine for operation on diesel mixed fuel / A. L. Khokhlov, D. E. Molochnikov, A. A. Khokhlov, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2019. Vol. 14, No. 3 (54). P. 122-127. doi: 10.12737/article\_5db96fe742de44.29083985

6. Ukhanov D. A., Ukhanov A. P., Khokhlov A. A. Methodology for determining the parameters of electric dispensers for a mixer of bio-oil fuel components // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 1(61). P. 203-209. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-203-209

7. Physicochemical and operational properties of biodiesel and mixed fuels / A. V. Chernysheva, A. D. Cherepanova, B. I. Kolobkov, et al. // Science in central Russia. 2022. No. 5(59). P. 120-133.

8. Changes in the physicochemical characteristics of biodiesel fuel and its compositions during storage / S. V.

Romantsova, I. V. Gladysheva, N. V. Vervekina, et al. // Science in central Russia. 2022. No. 3(57). P. 129-137. doi: 10.35887/2305-2538-2022-3-129-137

9. Physicochemical and operational properties of biodiesel and mixed fuels / A. V. Chernysheva, A. D. Cherepanova, B. I. Kolobkov, et al. // Science in Central Russia. 2022. No. 5(59). P. 120-133. doi: 10.35887/2305-2538-2022-5-120-133

10. Study of fuel supply of a diesel engine running on biofuel / S. A. Nagornov, V. A. Markov, Yu. V. Meshcheryakova, et al. // Automotive industry. 2023. No. 4. P. 7-11.

11. Study of the influence of biodiesel fuel on the operation of fuel equipment / V. A. Markov, A. G. Meshcheryakov, Yu. V. Meshcheryakova, et al. // Truck. 2022. No. 2. P. 17-25. doi: 10.36652/1684-1298-2022-2-17-25

12. Results of bench tests of mixed fuels based on renewable raw materials / A. Yu. Kornev, S. A. Nagornov, A. P. Liksutina, et al. // Science in central Russia. 2025. No. 1(73). P. 123-133. doi: 10.35887/2305-2538-2025-1-123-133

13. The influence of the composition of biodiesel fuel on its density and viscosity / I. V. Gladysheva, N. V. Vervekina, E. A. Potorykina et al. // Increasing the efficiency of resource use in the production of agricultural products ii - new technologies and new generation equipment for crop production and livestock farming: Collection of scientific reports of the XXI International Scientific and Practical Conference, Tambov, September 28–29, 2021. Tambov: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". 2021. P. 202–205.

14. Efficiency of diesel tractor engines running on fuel with plant-based bioadditives: an analytical review / I. G. Golubev, S. A. Nagornov, A. N. Zazulya, et al. Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex. 2021. 72 p. ISBN 978-5-7367-1627-2.

15. Likhanov V. A., Kozlov A. N., Araslanov M. I. Diesel engine operation on ethanol and rapeseed oil: monograph. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy. 2018. 172 p. ISBN 978-5-6040852-5-7.

16. Likhanov V. A., Lopatin O. P. Use of rapeseed oil and ethanol in a diesel engine // Engineering technologies and systems. 2022. Vol. 32, No. 3. P. 373-389. doi:10.15507/2658-4123.032.202203.373-389

17. Features of the use of mixed biofuels with additives of sunflower oil methyl ester in automotive diesel engines / V. A. Markov, S. N. Devyanin, S. A. Nagornov, et al. // Automotive industry. 2022. No. 4. P. 28-33.

18. Ukhanov D. A., Cherepanova A. D., Ukhanov A. P. Study of automotive diesel engines running on biokerosene // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 1(65). P. 192-202. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-192-202

19. Ukhanov A. P., Ukhanov D. A., Volodko O. S. Performance of a naturally aspirated tractor diesel engine running on mineral-flaxseed fuel // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 1 (61). P. 210-216. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-210-216

20. Results of the studies of a tractor diesel engine running on rapeseed-petroleum fuel / A. P. Ukhanov, M. V. Ryblov, D. A. Ukhanov, et al. // Niva Povolzhya. 2023. No. 2 (66). doi: 10.36461/NP.2023.66.2.008