



ISSN 3033-6465 (print)
ISSN 3033-7739 (online)

№ 2
2026

Дезинфектология

Disinfectology

Рецензируемый научно-практический журнал



УЧРЕДИТЕЛЬ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ ИМ. Ф.Ф. ЭРИСМАНА»
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА



ISSN 3033-6465 (PRINT)
ISSN 3033-7739 (ONLINE)

ДЕЗИНФЕКТОЛОГИЯ

Ежеквартальный научно-практический журнал
Основан в 2025 г.

Научно-практический мультидисциплинарный рецензируемый журнал посвящён широкому кругу вопросов дезинфектологии как одному из важнейших направлений неспецифической профилактики инфекционных болезней и поддержания безопасной среды для человека.

Основные задачи журнала – освещение и обсуждение специалистами новых технологических разработок, результатов фундаментальных и прикладных исследований в медицине и различных областях народного хозяйства, обмен опытом в практической области дезинфекционной деятельности.

Наполнение журнала осуществляется по шести научным специальностям:

- Гигиена (медицинские и биологические науки),
- Эпидемиология (медицинские и биологические науки),
- Микробиология (медицинские и биологические науки),
- Паразитология (медицинские и биологические науки),
- Зоология (биологические науки),
- Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические, ветеринарные науки).

2

АПРЕЛЬ – ИЮНЬ

ТОМ 2
2026

Научно-практический журнал
«Дезинфектология» зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-89572
от 27.05.2025

DOI prefix: 10.47470

Журнал открытого доступа,
не берущий плату за публикации.
Контент доступен под лицензией
Commons Attribution International
4.0 CC-BY.

Используется сервис CrossMark
для поддержания контента журнала
в актуальном состоянии и
информирования читателей
об изменениях в опубликованных
статьях.

**Журнал представлен
в международных базах данных
и информационно-справочных
системах:**
РИНЦ; CrossRef

**Полные тексты статей журнала
доступны на сайтах:**
<https://www.dezinfektologiya.ru>;
<https://www.elibrary.ru>;
<https://www.cyberleninka.ru>

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное бюджетное
учреждение науки «Федеральный
научный центр гигиены
им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека
<https://fncg.ru/>

141014, Московская обл.,
г. Мытищи, ул. Семашко, дом 2.
Тел.: +7 (495) 586-11-44
E-mail: fncg@fncg.ru

РЕДАКЦИЯ:

141014, Россия, Московская обл.,
г. Мытищи, ул. Семашко, дом 2.
ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана»
Роспотребнадзора
E-mail: dezinfekt@fncg.ru

Заведующая редакцией
Устинкова Ольга Владимировна

Литературный редактор, корректор
Нерсисова Е.С.

Переводчик Ширяева М.А.
Web-редактор Люблев Н.Е.
Вёрстка, обработка графического
материала Устинкова О.В.

К публикации принимаются
только статьи, подготовленные
в соответствии с правилами
для авторов (<https://www.dezinfektologiya.ru/jour/about/submissions#authorGuidelines>).

Дезинфектология. 2026; 2(2): 49–.

Подписано в печать 26.07.2026.

Опубликовано 31.08.2026.

Печать цифровая офсетная.

Формат 60x88¹/₈. Печ. л. 17.

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии
ООО «Амирит», 410004, Россия,
г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88,
литер У

16+

© ФБУН «Федеральный научный
центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека, 2026

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

ДЕМИНА Юлия Викторовна, доктор медицинских наук, доцент, директор
Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Роспотребнадзора, Москва, Россия, e-mail: dyemina.yuv@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0538-1992>

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

ЗАХАРОВА Юлия Александровна, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель
Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»
Роспотребнадзора, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3416-0902>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АСЛАНОВ Батырбек Исмаилович, д-р мед. наук,
профессор, ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова»,
Санкт-Петербург, Россия

БАННИКОВА Анна Андреевна, д-р биол. наук,
ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова», Москва,
Россия

БЕЛКИН Борис Леонидович, д-р вет. наук,
профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный
аграрный университет им. Н.В. Парахина», Орел,
Россия

БРУСИНА Елена Борисовна, д-р мед. наук,
профессор, член-корреспондент РАН, ФГБОУ ВО
«Кемеровский государственный медицинский
университет», Кемерово, Россия

ГУДКОВА Елена Ивановна, канд. мед. наук, доцент,
ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии
и общественного здоровья», Минск,
Республика Беларусь

ЗАКЛАДНОЙ Геннадий Алексеевич, д-р биол. наук,
профессор, ООО «Центр защиты зерна Закладного»,
Москва, Россия

ИБАДОВА Гульнара Алиевна, д-р мед. наук,
профессор, Центр развития профессиональной
квалификации медицинских работников, Ташкент,
Республика Узбекистан

КОТЕНКОВА Елена Владимировна, д-р биол. наук,
доцент, ФГБУН «Институт проблем экологии
и эволюции имени А. Н. Северцова РАН», Москва,
Россия

ЛАРИОНОВ Геннадий Анатольевич, д-р биол. наук,
профессор, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
аграрный университет», Чебоксары, Россия

НИКИТИН Алексей Яковлевич, д-р биол. наук,
доцент, ФКУЗ «Иркутский ордена Трудового
Красного Знамени научно-исследовательский
противочумный институт Сибири и Дальнего
Востока», Иркутск, Россия

ПОПОВ Петр Александрович, д-р вет. наук, ФГБНУ
«Федеральный научный центр Всероссийский
научно-исследовательский институт
экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина
и Я.Р. Коваленко Российской академии наук»,
Москва, Россия

РУДАКОВ Николай Викторович, д-р мед.
наук, профессор, ФБУН «Омский научно-
исследовательский институт природно-очаговых
инфекций» Роспотребнадзора, Омск, Россия

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

АКИМКИН Василий Геннадьевич, д-р мед. наук,
профессор, академик РАН, ФБУН «Центральный
НИИ Эпидемиологии», Москва, Россия

АЛЕКСЕЕВ Вадим Борисович, д-р мед. наук,
«Федеральный научный центр медико-
профилактических технологий управления рисками
здоровью населения», Пермь, Россия

БОРИСЕВИЧ Сергей Владимирович, д-р биол.
наук, профессор, академик РАН, ФГБУ «48 ЦНИИ»
Минобороны России, Сергиев Посад-6, Россия

ВАСИЛЬЕВА Наталья Всеволодовна, д-р биол. наук,
профессор, ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова»,
Санкт-Петербург, Россия

КУЗЬМИН Сергей Владимирович, д-р мед. наук,
профессор, ФБУН «Федеральный научный центр
гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», Мытищи, Россия

СИДОРЕНКО Сергей Владимирович, д-р мед. наук,
профессор, член-корреспондент РАН, ФГБУ «Детский
научно-клинический центр инфекционных болезней
ФМБА», Москва, Россия

СИНЦЫНА Оксана Олеговна, д-р мед. наук,
профессор, член-корреспондент РАН, ФБУН
«Федеральный научный центр гигиены
им. Ф.Ф. Эрисмана», Мытищи, Россия

ТАРТАКОВСКИЙ Игорь Семенович, д-р биол. наук,
профессор, ФГБУ «Национальный исследовательский
центр эпидемиологии и микробиологии им.
почетного академика Н.Ф. Гамалеи», Москва, Россия

ТАШПУЛОВА Гузал Алиевна, д-р мед. наук,
Научно-исследовательский институт санитарии,
гигиены и профессиональных заболеваний МЗ
Республики Узбекистан, Ташкент, Республика
Узбекистан

ТВЕРДОХЛЕБОВА Татьяна Ивановна, д-р мед. наук,
доцент, ФБУН «Ростовский научно-исследовательский
институт микробиологии и паразитологии»,
Ростов-на-Дону, Россия

ТЕМЕРЕВА Елена Николаевна, д-р биол. наук,
доцент, ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»,
Москва, Россия

ТОХОВ Юрий Мухамедович, д-р биол. наук,
ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский
противочумный институт», Ставрополь, Россия

ТРУХИНА Галина Михайловна, д-р мед. наук,
профессор, ФБУН «Федеральный научный центр
гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана», Мытищи, Россия

ТУТЕЛЬЯН Алексей Викторович, д-р мед. наук,
академик РАН, ФБУН «Центральный НИИ
эпидемиологии», Москва, Россия

ФЕДОРОВА Людмила Самуиловна, д-р мед. наук,
профессор, ФБУН «НИИ системной биологии
и медицины», Москва, Россия

ФЕЛЬДБЛЮМ Ирина Викторовна, д-р мед. наук,
профессор, ФГБОУ ВО «Пермский государственный
медицинский университет им. академика
Е.А. Вагнера», Пермь, Россия

ЧЕРНИКОВА Евгения Анатольевна, д-р биол. наук,
профессор, ФГБОУ ДПО «Российская медицинская
академия непрерывного профессионального
образования», Москва, Россия

ЮШИНА Юлия Константиновна, д-р техн. наук,
ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова»,
Москва, Россия

КУЛИЧЕНКО Александр Николаевич, д-р мед. наук,
профессор, академик РАН, ФКУЗ «Ставропольский
научно-исследовательский противочумный
институт», Ставрополь, Россия

КУОБЕ BOSA Henry, доктор, магистр естественных
наук, руководитель направления Министерства
здравоохранения Республики Уганда, Кампала,
Уганда

ТАПАЛЬСКИЙ Дмитрий Викторович,
д-р мед. наук, профессор, ГНУ «Институт физиологии
национальной академии наук Беларуси», Минск,
Республика Беларусь

ХАМИДУЛИНА Халида Хизбулаевна, д-р мед. наук,
профессор, «Федеральный научный центр гигиены
им. Ф.Ф. Эрисмана», Москва, Россия

ШЕСТОПАЛОВ Николай Владимирович,
д-р мед. наук, профессор, НП «Национальная
организация дезинфекционистов», Москва, Россия

FOUNDER
FEDERAL BUDGETARY ESTABLISHMENT OF SCIENCE
THE FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF HYGIENE NAMED AFTER F.F. ERISMAN
OF THE FEDERAL SERVICE FOR SUPERVISION OF CONSUMER RIGHTS PROTECTION AND HUMAN WELFARE



ISSN 3033-6465 (PRINT)
ISSN 3033-7739 (ONLINE)

DISINFECTOLOGY

Quarterly scientific and practical journal
Founded in 2025

Disinfectology is a scientific and practical multidisciplinary peer-reviewed journal dedicated to a wide range of issues in the disinfectology sphere, the essential component of non-specific prevention of infectious diseases and ensuring a safe environment for humans.

The journal's main objectives are to highlight the issues and professional discussion of new technological developments, fundamental results and applied research in medicine and various industries, exchange the experience in practical disinfection activities.

The journal publishes articles in the following scientific specialties:

- Hygiene (medical and biological sciences)
- Epidemiology (medical and biological sciences)
- Microbiology (medical and biological sciences)
- Parasitology (medical and biological sciences)
- Zoology (biological sciences)
- Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary examination, and biosafety (biological, veterinary sciences)

2

APRIL – JUNE

VOLUME 2
2026

Scientific and practical journal "Disinfectology" is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Certificate of registration PI no. ФС77-89572, dated 27.05.2025

DOI prefix: 10.47470

The journal is an Platinum Open Access peer-reviewed scholarly journal, which does not charge author fees.

The content is licensed under Commons Attribution International 4.0 CC-BY.

The CrossMark service is used to keep the magazine's content up to date and inform readers about changes in published articles.

The Journal is indexed by the following abstracting and indexing services:
RSCI; CrossRef

Full texts of issues of the journal are available:

<https://www.dezinfektologiya.ru;>
<https://www.elibrary.ru;>
<https://www.cyberleninka.ru>

FOUNDER and PUBLISHER

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare
<https://фнчг.рф/>

2 Semashko str., Mytishchi, Moscow region, 141014, Russia.
Phone: +7 (495) 586-11-44
E-mail: fnchg@fnchg.ru

EDITORIAL OFFICE:

2 Semashko str., Mytishchi, Moscow region, 141014.
Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare
E-mail: dezinfekt@fnchg.ru

Head of Editorial Office
Olga V. Ustinkova

Literary editor, proofreader
Nersesova E.S.

Translator Shiryayeva M.A.

Web editor Lyublev N.E.

Layout, graphic material processing
Ustinkova O.V.

Only articles prepared in accordance with the rules for authors (<https://www.dezinfektologiya.ru/jour/about/submissions#authorGuidelines>) are accepted for publication.

Disinfectology. 2026; 2(2): 49–48.

Signed to the press on July 26, 2026.

Published on August 31, 2026.

Digital offset printing. Print format 60×88¹/₈.

17 printed sheets.

Circulation 1000 copies.

Printed in the printing house LLC "Amirit", 88, letter U Chernyshevsky str., Saratov, 410004, Russia.

EDITOR-IN-CHIEF

Yulia V. DEMINA, MD, PhD, Associate Professor, Director of the Disinfectology Institute of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Moscow, Russian Federation, e-mail: dyemina.yuv@fnchg.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0538-1992>

DEPUTY EDITOR

Yuliya A. ZAKHAROVA, MD, PhD, Professor, Scientific Supervisor of the Disinfectology Institute of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Welfare, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3416-0902>

EDITORIAL BOARD

Batyrbek I. ASLANOV, MD, PhD, Professor, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

Anna A. BANNIKOVA, DSc. in Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Boris L. BELKIN, DSc. in Veterinary Sciences, Professor, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Oryol, Russian Federation

Elena B. BRUSINA, MD, PhD, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

Elena I. GUDKOVA, Cand. Med. Sci., Associate Professor, Republican Centre for Hygiene, Epidemiology and Public Health, Minsk, Republic of Belarus

Gennady A. ZAKLADNOY, DSc. in Biology, Professor, Grain Protection Centre "Zakladnoy" LLC, Moscow, Russian Federation

Gulnara A. IBADOVA, MD, PhD, Professor, Centre for Professional Qualification Development of Medical Staff, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Elena V. KOTENKOVA, DSc. in Biology, Associate Professor, Institute of Ecology and Evolution named after A.N. Severtsov, Moscow, Russian Federation

Gennady A. LARIONOV, DSc. in Biology, Professor, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russian Federation

Alexey Ya. NIKITIN, DSc. in Biology, Associate Professor, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East, Irkutsk, Russian Federation

Petr A. POPOV, DSc. in Veterinary Sciences, Federal Scientific Centre for Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Skryabin and Ya.R. Kovalenko), Moscow, Russian Federation

Nikolay V. RUDAKOV, MD, PhD, Professor, Omsk Research Institute of Natural-Focal Infections, Omsk, Russian Federation

Sergey V. SIDORENKO, MD, PhD, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Children's Scientific and Clinical Centre for Infectious Diseases, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

Vasily G. AKIMKIN, MD, PhD, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russian Federation

Vadim B. ALEKSEEV, MD, PhD, Federal Scientific Center for Medico-Preventive Technologies of Population Health Risk Management, Perm, Russian Federation

Sergey V. BORISEVICH, DSc. in Biology, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, 48th Central Research Institute (Troop RCB Protection), Sergiyev Posad-6, Russian Federation

Natalia V. VASILYEVA, DSc. in Biology, Professor, Northwestern State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

Sergey V. KUZMIN, MD, PhD, Professor, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation

Oxana O. SINITSYNA, MD, PhD, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation

Igor S. TARTAKOVSKY, DSc. in Biology, Professor, N.F. Gamaleya National Research Center for Epidemiology and Microbiology, Moscow, Russian Federation

Guzal A. TASHPULATOVA, MD, PhD, Research Institute of Sanitation, Hygiene and Occupational Diseases, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Tatyana I. TVERDOKHLEBOVA, MD, PhD, Associate Professor, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, Rostov-on-Don, Russian Federation

Elena N. TEMEREVA, DSc. in Biology, Associate Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Yury M. TOKHOV, DSc. in Biology, Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation

Galina M. TRUKHINA, MD, PhD, Professor, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation

Alexey V. TUTEL'YAN, MD, PhD, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russian Federation

Lyudmila S. FEDOROVA, MD, PhD, Professor, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman Moscow, Russian Federation

Irina V. FELDBLYUM, MD, PhD, Professor, Perm State Medical University named after Academician E.A. Vagner, Perm, Russian Federation

Evgeniya A. CHERNIKOVA, DSc. in Biology, Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russian Federation

Yuliya K. YUSHINA, DSc. in Technical Sciences, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russian Federation

Alexander N. KULICHENKO, MD, PhD, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation

Henry KYOBE BOSA, PhD, MSc; Programme Lead, Ministry of Health, Republic of Uganda, Kampala, Uganda

Dmitriy V. TAPALSKIY, MD, PhD, Professor, Institute of Physiology, Minsk, Republic of Belarus

Khalidya Kh. KHAMIDULINA, MD, PhD, Professor, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russian Federation

Nikolay V. SHESTOPALOV, MD, PhD, Professor, National Organization of Disinfection Specialists (Non-Commercial Partnership), Moscow, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Федотова О.С., Тамбовцева Е.А., Давиденко А.М.,
Захарова Ю.А., Улитко М.В.

Оценка цитотоксичности наночастиц оксида железа
различной модификации, легированных серебром,
на клеточных культурах *in vitro*

Епишина Т.М.

Создание базы данных исторического контроля
биохимических показателей сыворотки крови крыс
с целью интерпретации результатов санитарно-
токсикологических исследований действующих
веществ пестицидов

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Байжуманов А.А., Абрашитов Г.Н., Хиразова Е.Э.,
Комаров В.Ю.

Изменение параметров системы антиоксидантной
защиты у крыс на фоне прерывистого голодания

Манченко Д.М., Глазова Н.Ю., Хиразова Е.Э.,
Комаров В.Ю.

Эффект прерывистого голодания на вариабельность
сердечного ритма самцов крыс линии Wistar

Геворкян И.С., Козлов А.А., Курашова Д.И.,
Ситникова А.И.

Сравнение воздействия серой крысы и домовый
мышь на звукоизоляционно-утеплительные
материалы и электрические кабели

Еремина О.Ю., Олифер В.В.

Комнатная муха *Musca domestica* — эволюция
резистентности к инсектицидам в России
(обзор литературы)

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

150 лет назад установлена роль кровососущих
насекомых в распространении сыпного и возвратного
тифов

СОБЫТИЯ

Календарь мероприятий на июль–декабрь 2026 года

Научно-практическая конференция с международным
участием «Перспективы дезинфектологии.
Дезинфекционные мероприятия в условиях
чрезвычайных ситуаций и на территориях
природных очагов инфекционных болезней»

CONTENTS

PREVENTIVE MEDICINE

Fedotova O.S., Tambovtseva E.A., Davidenko A.M.,
Zakharova Yu.A., Ulitko M.V.

Evaluation of the cytotoxicity of silver-doped iron oxide
nanoparticles of various modifications on cell cultures
in vitro

Epishina T.M.

Creation of a database of historical control of biochemical
parameters of rat blood serum in order to interpret
the results of sanitary and toxicological studies
of active substances of pesticides

BIOLOGICAL SCIENCES

Baizhumanov A.A., Abrashitov G.N., Khirazova E.E.,
Komarov V.Yu.

Changes in the parameters of the antioxidant defense
system in rats during intermittent fasting

Manchenko D.M., Glazova N.Yu., Khirazova E.E.,
Komarov V.Yu.

Effects of intermittent fasting on heart rate variability
in male Wistar rats

Gevorkyan I.S., Kozlov A.F., Kurashova D.I.,
Sitnikova A.I.

Comparison of the effects of brown rats and house mice
on soundproofing and insulation materials and electrical
cables

Eremina O.Yu., Olifer V.V.

The housefly *Musca domestica*: evolution of insecticide
resistance in Russia (literature review)

MEMORABLE DATES

150 years ago, the role of blood-sucking insects
in the spread of typhus and relapsing fever was
established

EVENTS

Calendar of events for July–December of 2026

Scientific and practical conference with international
participation "Prospects for disinfection. Disinfection
measures in emergency situations and in areas
of natural foci of infectious diseases"

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.47470/dez023>
© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2026

Оценка цитотоксичности наночастиц оксида железа различной модификации, легированных серебром, на клеточных культурах *in vitro*

Федотова О.С.¹, Тамбовцева Е.А.², Давиденко А.М.², Захарова Ю.А.^{1,3}, Улитко М.В.²

¹ Институт дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия;

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия;

³ ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Наночастицы (НЧ) оксида железа (Fe_2O_3), модифицированные серебром и проявляющие антибактериальные свойства, – перспективный материал для разработки новых подходов в дезинфектологии, позволяющий применять инновационные решения в медицине. Различные модификации НЧ, в том числе температурная обработка, приводят к формированию разных кристаллических фаз оксида железа, что также определяет вызываемый ими эффект. Перспективные разработки в медицине не исключают необходимости исследования биобезопасности данных материалов для организма пациента и медицинского персонала.

Целью исследования было изучение цитотоксичности трёх видов НЧ Fe_2O_3 , легированных серебром, на клеточных культурах.

Материалы и методы. Исследование проводилось на клеточных культурах MDCK и Vero, которые подвергали воздействию НЧ, легированных серебром, с последующим ступенчатым отжигом: НЧ Fe_2O_3 S0 – без дополнительной температурной обработки; НЧ Fe_2O_3 S200 – отожжённых при температуре 200°C; НЧ Fe_2O_3 S500 – при температуре 500°C. Оценка цитотоксичности НЧ проводили с помощью морфологического анализа монослоя клеток и МТТ-теста.

Результаты. Наибольшие морфологические изменения проявил образец НЧ Fe_2O_3 S0 в концентрации 200 мкг/мл, который в обоих типах клеток вызывал выраженную деструкцию клеточного монослоя: 3 балла на клетках Vero и 4 балла на клетках MDCK. НЧ Fe_2O_3 S200 и НЧ Fe_2O_3 S500 проявляли значительно меньшую токсичность и оказывали заметное морфологическое воздействие только в концентрации 400 мкг/мл. Показатели МТТ-теста для обеих клеточных линий продемонстрировали низкую или умеренную токсичность исследуемых НЧ в диапазоне концентраций до 200 мкг/мл.

Заключение. Таким образом, температура обжига при синтезе НЧ Fe_2O_3 может быть ключевым фактором токсичности, влияющим на их взаимодействие с клеточными культурами. Расхождения результатов МТТ-теста и морфологии клеток связаны со спецификой тестов и требуют дальнейших научных исследований с подбором протоколов и методов анализа.

Ключевые слова: наночастицы; оксид железа; клеточные культуры; морфологический анализ; МТТ-тест

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для корреспонденции: Федотова Ольга Семеновна, e-mail: fedotova.os@fncg.ru

Для цитирования: Федотова О.С., Тамбовцева Е.А., Давиденко А.М., Захарова Ю.А., Улитко М.В. Оценка цитотоксичности наночастиц оксида железа различной модификации, легированных серебром, на клеточных культурах *in vitro*. Дезинфектология. 2026; 2(2):54–64.
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez023> EDN: <https://elibrary.ru/XSHVOI>

Поступила: 07.07.2025 / Принята к печати 24.07.2026 / Опубликовано 10.08.2026

Original Article
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez023>
© AUTHORS, 2026

Evaluation of the Cytotoxicity of Silver-Doped Iron Oxide Nanoparticles of Various Modifications on Cell Cultures *In Vitro*

Olga S. Fedotova, E.A. Tambovtseva, A.M. Davidenko, Yu.A. Zakharova, M.V. Ulitko

¹ Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia;

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia;

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. Modifying iron oxide nanoparticles (Fe_2O_3 NPs) with silver enables new developments in medicine. It is also known that different temperature treatments of NPs lead to the formation of different crystalline phases of iron oxide, which ultimately influences cellular processes. The presence of promising developments in the field of medicine does not exclude the need to study the biosafety of these materials for the patient's body and medical personnel. The aim of the study was to investigate the cytotoxicity of three types of Fe_2O_3 NP samples ligated with silver in cell cultures.

Materials and methods. The study was conducted on MDCK and Vero cell cultures, which were exposed to silver-ligated NPs followed by stepwise annealing: Fe_2O_3 S0 NPs – without additional heat treatment; Fe_2O_3 S200 NPs – annealed at 200°C; Fe_2O_3 S500 NPs – at 500°C. The cytotoxicity of the NPs was assessed using monolayer morphological analysis and the MTT assay.

Results. The Fe_2O_3 S0 NP sample at a concentration of 200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ exhibited the greatest morphological changes, causing significant destruction of the cell monolayer in both cell types: a score of 3 on Vero cells and a score of 4 on MDCK cells. Fe_2O_3 S200 and Fe_2O_3 S500 NPs exhibited significantly lower toxicity and produced a noticeable morphological effect only at a concentration of 400 $\mu\text{g}/\text{ml}$. The MTT assay results for both cell lines demonstrated low to moderate toxicity of the studied NPs in the concentration range up to 200 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

Conclusion. Thus, the firing temperature during the synthesis of Fe_2O_3 nanoparticles may be a key factor in the toxicity of the material, affecting its interaction with cell cultures. The discrepancies in the results of the MTT test and cell morphology are related to the specific nature of the tests and require further scientific research with the selection of protocols and analysis methods.

Keywords: nanoparticles; iron oxide; cell cultures; morphological analysis; MTT assay

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: Olga S. Fedotova, e-mail: fedotova.os@fncg.ru

For citation: Fedotova O.S., Tambovtseva E.A., Davidenko A.M., Zakharova Yu.A., Ulitko M.V. Evaluation of the cytotoxicity of silver-doped iron oxide nanoparticles of various modifications on cell cultures *in vitro*. Disinfectology. 2026;2(2):54–64. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez023> EDN: <https://elibrary.ru/XSHVOI>

Received: 07.07.2025 / Accepted: 24.07.2026 / Published: 10.08.2026

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы новые материалы, созданные на основе нанотехнологий, находят широкое применение в различных областях медицины. Одно из наиболее перспективных направлений — получение и изучение наночастиц оксида железа ($\text{НЧ Fe}_2\text{O}_3$), обладающих рядом уникальных свойств, отличающих эти частицы от макроразмерного аналога. При уменьшении размера частиц увеличивается удельная поверхность, что приводит к усилению каталитической активности [1]. Данное

свойство оказывает влияние на их взаимодействие с биомолекулами живых клеточных систем, в том числе бактериальных клеток и вирусных частиц. Важными отличительными особенностями НЧ являются супермагнитные свойства, которые позволяют управлять ими во внешнем магнитном поле, что открывает перспективы при визуализации процессов, происходящих в клетке [2, 3]. Также при температурной обработке частицы серебра, которые наносят на поверхность Fe_2O_3 , лучше «приживаются»: формируется более равно-

мерное и прочное покрытие [4]. Это критично для проявления синергизма: серебро само по себе обладает каталитической активностью и антибактериальными свойствами, а матрица из Fe_2O_3 даёт магнитные свойства и большую площадь поверхности. Их взаимодействие (электронное, на границе раздела фаз) усиливает общие характеристики композита. Добавление серебра к НЧ приводит к нарушению работы ферментов бактерий, а Fe_2O_3 даёт сильный антибактериальный эффект. Такие материалы перспективны для медицинских покрытий (катетеры, инструментарий, поверхности), фильтров воды или тканей.

Вышеописанные свойства НЧ Fe_2O_3 делают их весьма интересными объектами для разработки и апробации новых подходов в области дезинфектологии. Так, предложен новый подход к разработке защитных медицинских перчаток с антимикробными свойствами [5] на основе наночастиц оксидов металлов, в частности оксида цинка ZnO различной морфологической модификации [6], что открывает широкие перспективы в борьбе с инфекциями, связанными с медицинской помощью (ИСМП). Рост числа устойчивых к современным антибиотикам и дезинфицирующим средствам госпитальных штаммов микроорганизмов диктует необходимость поиска новых антимикробных наполнителей. В первую очередь это касается отделений высокого риска развития ИСМП¹, где применение защитных перчаток с антимикробным эффектом будет наиболее востребованным [7]. При этом важно учитывать не только эффективность противомикробных компонентов, но и потенциальное влияние новых наполнителей на здоровье медицинского персонала, пациентов и окружающую среду.

В число наиболее изученных наноматериалов входят наночастицы Fe_2O_3 , о чём свидетельствуют многочисленные работы, демонстрирующие их эффективность в целевой доставке лекарственных средств, и применение в магнитной гипертермии при лечении злокачественных новообразований [8]. Ряд препаратов на основе НЧ Fe_2O_3 уже прошёл клинические испытания и получил одобрение Управления по контролю за продуктами и лекарствами США [9]. Тем не менее недостаточно изучено взаимодействие НЧ Fe_2O_3 с живыми организмами.

Один из этапов современной оценки токсичности химических веществ – эксперименты на клеточных культурах [10]. Доказано, что цитотоксичность зависит от множества факторов, связанных с самим веществом (размер, форма, концентрация вещества, степень агрегации, наличие или отсутствие покрытия НЧ и др.), и от особенностей используемых биологических моделей [11–13]. На примере клеток эндотелия пупочной вены человека (HUVEC) установлено, что НЧ Fe_2O_3 могут проявлять цитотоксические свойства, индуцируя окислительный стресс с повреждением ДНК и нарушением цикла клеток [14]. В исследованиях на эпителиальных клетках лёгких A549 показано, что токсичность некоторых НЧ Fe_2O_3 (размером менее 100 нм) возрастала относительно микрочастиц (размером более 5 мкм) с уменьшением размеров структур [15]. Определили, что НЧ Fe_2O_3 с хитозановым покрытием проявляли большую токсичность в отношении раковых клеток (гепатоцеллюлярной карциномы HEP G2) без такого покрытия [16]. В то же время приведены данные о том, что НЧ Fe_2O_3 с галлат-модификацией (покрытые галловой кислотой) обладают лучшей биосовместимостью по сравнению со стандартными аналогами [17].

Целью исследования было изучение на клеточных культурах MDCK и Vero цитотоксичности трёх видов НЧ Fe_2O_3 , легированных серебром, и полученных радиационно-химическим методом при различной температурной обработке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования стали три экспериментальных образца НЧ Fe_2O_3 , изученные с использованием клеточных линий MDCK и Vero.

Наночастицы

Модифицированные НЧ Fe_2O_3 синтезированы в Институте электрофизики Уральского отделения Российской академии наук в виде водных суспензий НЧ Fe_2O_3 , покрытых серебром, диаметром 20–30 нм и полученных радиационно-химическим методом с последующим ступенчатым отжигом:

- образец НЧ Fe_2O_3 S0, без дополнительной температурной обработки;
- образец НЧ Fe_2O_3 S200, отожжённых при температуре 200°C;
- образец НЧ Fe_2O_3 S500, отожжённых при температуре 500°C.

¹ Брико Н.И., Фельдблюм И.В., Зуева Л.П. и др. Организация и проведение эпидемиологического наблюдения и микробиологического мониторинга в учреждениях родовспоможения: Федеральные клинические рекомендации. М., 2015. 83 с.

Клеточные линии

Для получения более надёжной оценки действия исследуемых образцов НЧ Fe_2O_3 , эксперимент проводили на двух клеточных линиях. Культуры получены из Коллекции банка клеточных культур ФБУН ФНИИВИ «Виром» Роспотребнадзора.

MDCK — гетерогенная эпителиальная клеточная линия, выделена в 1958 г. в США из почки взрослой собаки. Клеточная линия относится к перевиваемым клеточным культурам, морфологически имеет эпителиоподобную полигональную или кубическую форму, и округлые ядра, расположенные в центре. Клетки формируют плотный монослой. Благодаря своим физиологическим особенностям, характерным для клеток эпителиальных тканей, MDCK используют для изучения эпителиальной полярности и трансэпителиального транспорта. MDCK также широко применяют для выделения вирусных патогенов (вируса гриппа А, В, С, энтеровируса Коксаки В-5, реовируса, аденовируса 4-го, 5-го типов, вируса чумы собак и др.).

Клеточная линия Vero выделена в Японии (1962 г.) из почки африканской зелёной марышки. Культура классифицируется как перевиваемая, морфология клеток характеризуется вытянутой веретенообразной формой, с крупным овальным ядром. Присутствуют выраженные межклеточные контакты, в процессе роста клетки образуют плотный монослой. Одним из биологических свойств данной линии является отсутствие экспрессии генов интерферона I, что позволяет использовать Vero для культивирования различных видов вирусов.

Культивирование клеток проводили с использованием питательной среды Игла MEM с солями Эрла (HiMedia, США), обогащённой эмбриональной бычьей сывороткой 10%-й (Biosera), для линий Vero и среды α -MEM и с 7%-й сывороткой — для линии MDCK. Восстановление культур клеток после криоконсервации осуществляли по стандартной методике². Субкультивирование проводили по мере формирования монослоя с коэффициентом рассева согласно паспорту клеточной культуры. Для оценки токсического воздействия НЧ Fe_2O_3 в различных модификациях клетки засеивали в 96-луночные культуральные планшеты (SPL Life Sciences, Республика Корея) из расчёта посадочной дозы 2×10^3 кл/лунку. Планшеты

инкубировали в термостате при температуре 37°C во влажной атмосфере с содержанием 5% CO_2 .

Для оценки цитотоксичности использовали два метода: морфологический анализ клеточного монослоя и МТТ-тест.

Морфологический анализ монослоя клеток

Суспензии (на основе физиологического раствора (0,85 NaCl) НЧ Fe_2O_3 вносили в лунки планшета с клеточным монослоем методом серийных двукратных разведений. В первую лунку добавляли 200 мкл суспензии с исходной концентрацией 400 мкг/мл, после чего в шесть последующих лунок предварительно вносили по 100 мкл питательной среды Игла MEM или α -MEM — в зависимости от клеточной культуры. Из первой лунки отбирали 100 мкл суспензии и последовательно переносили в следующую, тщательно перемешивая на каждом шаге, тем самым уменьшая концентрацию вдвое. Для корректной оценки влияния НЧ на морфологию клеточного монослоя были предусмотрены два контроля. Первый контроль — монослой клеток без НЧ с физиологическим раствором (в том же объёме и при тех же условиях, что и в экспериментальных сериях). Второй контроль был направлен на то, чтобы оценить базовый фон, то есть состояние клеток в условиях, когда на них не действуют ни НЧ, ни дополнительные компоненты среды. Для этого использовали лунки с клеточным монослоем, добавляя питательную среду без сыворотки. Экспозиция клеток составляла 24, 48, 72 ч при стандартных условиях культивирования.

Наблюдение за морфологическими изменениями клеточного монослоя проводили в динамике через 24 ч, 48 ч и 72 ч с момента внесения НЧ Fe_2O_3 . Оценку выполняли с помощью инвертированного микроскопа Primovert (Zeiss, Германия) при увеличении 200×10 . Обязательным условием была оценка состояния клеток в контрольной группе. Учитывали следующие параметры: соответствие клеток их нормальной морфологии (форме, зернистости цитоплазмы и др.), целостность клеточного монослоя, наличие или отсутствие клеточного детрита. Степень изменений, произошедших под влиянием НЧ Fe_2O_3 , оценивали по балльной системе (табл. 1) согласно стандарту ГОСТ ISO 10993–5–2023³.

² Методы культивирования клеток/ под ред. Г.П. Пинаева, М.С. Богдановой. СПб.; 2008. 278 с.

³ ГОСТ ISO 10993–5–2023. Межгосударственный стандарт «Издения медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 5. Исследования на цитотоксичность методами in vitro».

Таблица 1. Качественная морфологическая шкала цитотоксичности**Table 1.** Qualitative morphological scale of cytotoxicity

Уровень, баллы	Реакция	Состояние клеточной культуры
0	Отсутствует	Дискретные интрацитоплазматические гранулы и лизис клеток отсутствуют, снижения роста клеток не наблюдается
1	Незначительная	Не более 20% клеток круглые, свободно прикреплены, не имеют интрацитоплазматических гранул или показывают изменения в морфологии; в наличии отдельные лизированные клетки, заметна только незначительная задержка роста
2	Слабая	Не более 50% клеток закруглены, свободны от интрацитоплазматических гранул, отсутствует обширный лизис клеток; наблюдается не более 50% задержки роста
3	Умеренная	Не более 70% слоев клеток содержат круглые или лизированные клетки, клеточные слои не полностью разрушены, но наблюдается более 50% задержки роста
4	Резкая	Почти полное или полное разрушение клеточных слоев

*Оценка цитотоксичности по показателю
дегидрогеназной активности
с помощью МТТ-теста*

Клетки высевали в 96-луночный культуральный планшет и инкубировали до достижения монослоя (примерно 70% конфлюэнтности), затем в лунки добавляли испытуемые НЧ по 100 мкл в концентрациях от 1×10^{-1} мг/мл до 1×10^{-6} мг/мл, разведённые в питательной среде. В качестве контроля использовали питательную среду, которую добавляли в лунки в том же объёме. Оценку цитотоксичности каждой концентрации выполняли в трёх повторностях.

После окончания инкубации клеток с НЧ Fe_2O_3 в течение 24 ч и удаления питательной среды каждую лунку трижды промывали фосфатным буфером. Затем вносили 100 мкл раствора МТТ в концентрации 1 мг/мл, после чего планшеты инкубировали при стандартных условиях в течение двух часов. После удаления среды образовавшиеся в лунках кристаллы формазана растворяли путём добавления 200 мкл органического растворителя ДМСО в каждую лунку и тщательно суспензировали. Далее проводили измерения оптической плотности полученных растворов с помощью микропланшетного ридера AMR-100 (Allsheng, Китай) при длине волны 570 нм. На основе полученных данных рассчитывали индекс цитотоксичности (IC) по следующей формуле:

$$\text{IC} = \frac{\text{ОПк} - \text{ОП}_0}{\text{ОПк}} \times 100\%,$$

где ОПк — оптическая плотность раствора формазана контрольной группы; ОП₀ — оптическая плотность раствора формазана опытной группы.

Полученные экспериментальные данные также использовали для расчёта концентрации полумаксимального ингибирования (IC_{50}) методом линейной интерполяции. Определяли концентрацию НЧ Fe_2O_3 , приводящую к 50-процентному ингибированию роста клеточной культуры. Статистический анализ данных оптической плотности выполнен с использованием критерия Манна – Уитни. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel и Jamovi 2.6.26. Различия считали значимыми при $p < 0,05$. Данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ результатов влияния НЧ Fe_2O_3 , полученных при различной температурной обработке, на клеточной линии Vero показал, что НЧ Fe_2O_3 S0 оказывали наиболее выраженное среди всех тестируемых образцов цитотоксическое воздействие. В диапазоне концентраций 6,25–100 мкг/мл изменения в монослое отсутствовали, морфология клеток не отличалась от группы контроля. В концентрации 200 мкг/мл наблюдали значительное изменение морфологии клеток, в том числе появление округлых клеток и зернистости в цитоплазме, что может свидетельствовать о клеточном стрессе или начальных стадиях апоптоза (3 балла). При этом 30% клеток сохраняли нормальную морфологию. Дальнейшее повышение концентрации до 400 мкг/мл приводило к их полной гибели: всё поле зрения было заполнено клеточным детритом (4 балла).

Образцы НЧ Fe_2O_3 S200 и НЧ Fe_2O_3 S500 оказывали менее выраженное цитотоксическое

воздействие. У НЧ Fe_2O_3 S200 в концентрации 50 мкг/мл и ниже видимое воздействие на клеточную культуру отсутствовало. При повышении концентрации до 100 мкг/мл в поле зрения наблюдали единичные видоизменённые клетки, а при концентрации 200 мкг/мл определяли умеренное воздействие на клеточный монослой в виде нарушения структуры: в 30% встречали повреждённые клетки с уменьшением их размера (2 балла). Дальнейшее увеличение концентрации до 400 мкг/мл приводило к более значительным дегенеративным изменениям — лизису 50% клеток (3 балла). Воздействие НЧ Fe_2O_3 S500 в концентрациях 100 мкг/мл и ниже также не оказывало видимого влияния на клетки Vero, при концентрации 200 мкг/мл наблюдалось незначительное изменение монослоя (1 балл), тогда как концентрация 400 мкг/мл вызывала нарушение целостности монослоя, доля разрушенных клеток не превышала 70% (3 балла).

Исследование влияния трёх типов НЧ Fe_2O_3 (S0, S200 и S500) на морфологию монослоя клеточной линии Vero через 24, 48 и 72 ч после введения суспензии не выявило существенных различий в клетках по мере увеличения экспозиции. Морфологические показатели оставались сопоставимыми с аналогичным вариантом для каждого образца в соответствующей концентрации. Таким образом, в ходе эксперимента установлен дозозависимый эффект, тогда как временная динамика в интервале 24–72 ч отсутствовала.

При оценке влияния НЧ Fe_2O_3 на клеточную линию MDCK в отношении морфологии получены сопоставимые результаты с клеточной линией Vero. Наиболее выраженный цитотоксический эффект проявляли НЧ Fe_2O_3 S0. В диапазоне концентраций 6,25–50 мкг/мл дан-

ного образца отсутствовало видимое влияние на клеточный монослой, тогда как при взаимодействии НЧ Fe_2O_3 S0 с клеточной линией у 80% клеток сохранялась нормальная морфология (1 балл). Повышение концентрации до 200 и 400 мкг/мл приводило к разрушению монослоя от 90 до 100% (4 балла). Образцы Fe_2O_3 S200 и Fe_2O_3 S500 оказывали менее выраженное токсическое воздействие на MDCK, их влияние прослеживалось лишь при концентрации 400 мкг/мл. При этом НЧ Fe_2O_3 S200 в указанной концентрации вызывали умеренное воздействие на клетки: образование рыхлого монослоя с появлением не более 70% лизированных клеток (3 балла). С образцом Fe_2O_3 S500 при концентрации 400 мкг/мл наблюдали дегенеративные изменения структуры клеточного монослоя (не более 50% клеток) и уменьшение размеров клеток (2 балла). Стоит отметить, что временная динамика влияния НЧ Fe_2O_3 в интервале 24–72 ч на клеточную линию MDCK, как и на клетки Vero, отсутствовала. Контрольные лунки с клеточным монослоем оставались без изменений.

Дополнительно цитотоксичность НЧ Fe_2O_3 трёх типов (S0, S200 и S500) была исследована на клеточных линиях MDCK и Vero с использованием МТТ-теста в диапазоне концентраций от 6,25 до 400 мкг/мл с оценкой индекса цитотоксичности (IC_{50}).

Статистический анализ данных, выполненный с использованием критерия Манна–Уитни, показал, что для клеточной линии MDCK статистически значимые различия относительно контрольной группы наблюдались у образцов НЧ Fe_2O_3 S0 при концентрации 200 мкг/мл (опыт: $0,824 \pm 0,082$ ($n = 3$), контроль: $1,419 \pm 0,023$; $p = 0,050$), при концентрации 400 мкг/мл (опыт: $0,205 \pm 0,029$ ($n = 3$), контроль: $1,419 \pm$

Таблица 2. Среднее значение разности оптической плотности наночастиц Fe_2O_3 трёх типов (S0, S200 и S500) при различной температурной обработке на клеточной культуре MDCK ($M \pm SD$)

Table 2. The average value of the difference in the optical density of three types of Fe_2O_3 nanoparticles (S0, S200, and S500) under different temperature treatments on the MDCK cell culture ($M \pm SD$)

Исследуемое вещество	Доза наночастиц, мкг/мл								Контроль
	400	200	100	50	25	12,5	6,25	0	
НЧ Fe_2O_3 S0	$0,205 \pm 0,029^*$	$0,824 \pm 0,082^*$	$1,434 \pm 0,044$	$1,478 \pm 0,007$	$1,514 \pm 0,025$	$1,508 \pm 0,034$	$1,394 \pm 0,028$	$1,274 \pm 0,010$	$1,419 \pm 0,023$
НЧ Fe_2O_3 S200	$1,244 \pm 0,041$	$1,326 \pm 0,001$	$1,349 \pm 0,008$	$1,411 \pm 0,050$	$1,389 \pm 0,004$	$1,327 \pm 0,010$	$1,245 \pm 0,070$	$1,213 \pm 0,033$	$1,327 \pm 0,031$
НЧ Fe_2O_3 S500	$0,561 \pm 0,230^*$	$1,206 \pm 0,097$	$1,304 \pm 0,094$	$1,407 \pm 0,067$	$1,456 \pm 0,029$	$1,283 \pm 0,062$	$1,239 \pm 0,056$	$1,241 \pm 0,014$	$1,348 \pm 0,003$

Примечание. *Статистически значимое отличие от контрольной группы.

0,023; $p < 0,001$) и у НЧ Fe_2O_3 S500 при концентрации 400 мкг/мл (опыт: $0,561 \pm 0,230$ ($n = 3$), контроль: $1,348 \pm 0,003$; $p = 0,050$) (табл. 2).

Наблюдаемая тенденция носила дозозависимый характер: при снижении концентрации НЧ степень подавления показателя уменьшалась, достигая значений, близких к контрольным, при концентрациях 100–0 мкг/мл.

Для образца Fe_2O_3 S200 статистически значимых различий с контрольной группой не выявлено ни при одной из исследуемых концентраций (от 6,25 до 400 мкг/мл), что указывает на отсутствие цитотоксического воздействия данного образца в исследуемом диапазоне.

Значения IC_{50} были рассчитаны методом линейной интерполяции. Для НЧ Fe_2O_3 S0 при 400 мкг/мл составил 220 мкг/мл (до ~14% от контроля), для образцов НЧ Fe_2O_3 S200 ингибирующего эффекта практически нет, сохраняя жизнеспособность на уровне ~80–90% даже при максимальной концентрации $\text{IC}_{50} > 400$ мкг/мл и для НЧ Fe_2O_3 S500 при 400 мкг/мл до ~42%.

Статистически крайне значимые различия относительно контрольной группы наблюдались в показателях оптической плотности для клеточной линии Vero при концентрации 200 мкг/мл для образца НЧ Fe_2O_3 S0 (опыт: $1,018 \pm 0,07$ ($n = 3$), $p < 0,05$; контроль: $0,881 \pm 0,133$) и для всех исследуемых образцов НЧ при концентрации 400 мкг/мл: НЧ Fe_2O_3 S0 (опыт: $0,449 \pm 0,052$ ($n = 3$), контроль: $0,755 \pm 0,006$; $p < 0,001$), у НЧ Fe_2O_3 (опыт: $0,353 \pm 0,004$ ($n = 3$), контроль: $0,811 \pm 0,031$; $p < 0,001$), у НЧ Fe_2O_3 S500 (опыт: $0,330 \pm 0,026$ ($n = 3$), контроль: $0,869 \pm 0,049$; $p < 0,001$) (табл. 3). При более низких концентрациях достоверных отличий от контроля не обнаружено.

Для трёх типов НЧ IC_{50} оказалась выше 400 мкг/мл, при этом в ряде точек относительная жизнеспособность клеток достигала 117%, что

свидетельствует об отсутствии ингибирующего эффекта.

Результаты МТТ-теста для клеточных линий MDCK и Vero продемонстрировали низкую или умеренную токсичность исследуемых НЧ Fe_2O_3 S0, Fe_2O_3 S200 и Fe_2O_3 S500 в диапазоне концентраций до 200 мкг/мл. Также в этом диапазоне концентрации не было выявлено морфологических изменений клеток, они сохраняли нормальную форму, плотность, что подтверждает отсутствие существенного повреждающего воздействия. Для образцов НЧ Fe_2O_3 S200 и Fe_2O_3 S500 вплоть до концентрации 200 мкг/мл морфология клеток оставалась практически идентичной контролю НЧ Fe_2O_3 S0, что согласуется с высокой жизнеспособностью, обнаруженной по результатам МТТ-теста. Однако при более высоких концентрациях 400 мкг/мл наблюдалось расхождение между результатами снижения жизнеспособности в МТТ-тесте (умеренное снижение) и морфологическими данными (4 балла), особенно для образца Fe_2O_3 S0. Так, для НЧ Fe_2O_3 S0 в концентрации 200 мкг/мл жизнеспособность по МТТ-тесту оставалась на уровне 70% клеток, при этом микроскопия демонстрировала появление округлых клеток, зернистости цитоплазмы и признаки стрессовой реакции у значительной части популяции (3 балла). При концентрации 400 мкг/мл по МТТ-тесту показатель свидетельствовал об умеренном снижении, тогда как морфология указывала на 100%-ю гибель клеток и наличие клеточного детрита по всему полю зрения (4 балла).

ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленное нами несоответствие результатов, полученных различными методами (морфологический анализ монослоя и МТТ-тест), могло быть связано с несколькими при-

Таблица 3. Среднее значение разности оптической плотности наночастиц Fe_2O_3 трёх типов (S0, S200 и S500) при различной температурной обработке на клеточной культуре Vero ($M \pm SD$)

Table 3. The average value of the difference in the optical density of three types of Fe_2O_3 nanoparticles (S0, S200, and S500) under different temperature treatments on the Vero cell culture ($M \pm SD$)

Исследуемое вещество	Доза наночастиц, мкг/мл								Контроль
	400	200	100	50	25	12,5	6,25	0	
НЧ Fe_2O_3 S0	$0,449 \pm 0,052^*$	$1,018 \pm 0,007^*$	$0,946 \pm 0,010$	$0,915 \pm 0,023$	$0,821 \pm 0,011$	$0,881 \pm 0,057$	$0,845 \pm 0,015$	$0,755 \pm 0,060$	$0,755 \pm 0,006$
НЧ Fe_2O_3 S200	$0,353 \pm 0,004^*$	$0,966 \pm 0,001$	$0,945 \pm 0,013$	$0,881 \pm 0,076$	$0,870 \pm 0,020$	$0,913 \pm 0,016$	$0,880 \pm 0,050$	$0,811 \pm 0,031$	$0,811 \pm 0,031$
НЧ Fe_2O_3 S500	$0,330 \pm 0,026^*$	$0,841 \pm 0,025$	$0,952 \pm 0,014$	$0,877 \pm 0,090$	$0,776 \pm 0,128$	$0,972 \pm 0,029$	$0,896 \pm 0,057$	$0,868 \pm 0,049$	$0,868 \pm 0,049$

Примечание. * — статистически значимое отличие от контрольной группы.

чинами. МТТ-тест отражает метаболическую активность митохондрий, а не структурную целостность клеток, поэтому ранние морфологические изменения в клетке не всегда сопровождаются мгновенным снижением их метаболизма. На оптические измерения прибора могли оказать влияние физические свойства наночастиц, создавая как ложное повышение, так и снижение регистрируемого сигнала. Наблюдавшиеся при этом пики жизнеспособности при средних концентрациях могли быть обусловлены и компенсаторными реакциями клеток, и взаимодействием частиц с реактивом МТТ.

Вместе с тем используемые методики согласованно свидетельствовали о наиболее выраженном токсическом действии НЧ Fe_2O_3 S0 на обе клеточные культуры образца, тогда как НЧ Fe_2O_3 S200 и НЧ Fe_2O_3 S500 оказывали значительно меньшее влияние в сопоставимых концентрациях. Такой профиль токсичности может быть обусловлен различиями в размере, степени агломерации и поверхностных свойствах самих наночастиц в связи с условиями синтеза и температурой обжига. Более плотная и менее реакционноспособная поверхность НЧ Fe_2O_3 НЧ S200 и НЧ Fe_2O_3 S500 могла снижать их взаимодействие с клеточной мембраной и структурами клетки, ответственными за метаболизм.

Несмотря на то, что клеточные линии MDCK и Vero демонстрировали сходные дозозависимые эффекты, в обеих моделях временную зависимость цитотоксического действия определить не удалось: отсутствовали морфологические изменения через 24, 48 и 72 часа в пределах каждой концентрации. Высока вероятность того, что основной процесс повреждения в клетке развивается в первые часы после экспозиции и не усиливается при дальнейшей инкубации. Это обуславливает необходимость дальнейших научных исследований.

Важные ограничения выполненного исследования, оказывающие влияние на полученные результаты, обусловлены свойствами НЧ Fe_2O_3 . Как и все металлы, они плохо диспергируются в жидкости, что может приводить к формированию агломератов, их оседанию на поверхность клеток и формированию локальных зон перегрузки. Морфологические данные в этом контексте стали важным независимым ориентиром, позволяющим выявить сильные разрушения монослоя там, где МТТ-тест давал сглаженные или нерегулярные дозозависимые кривые.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования токсического влияния НЧ Fe_2O_3 различной модификации на клеточные культуры (Vero и MDCK) с использованием различных методов оценки (морфологический анализ и МТТ-тест) позволили установить зависимость от концентрации и температурного режима обработки НЧ. Наиболее токсичным оказался образец НЧ Fe_2O_3 S0, который в клетках двух типов вызывал выраженную деструкцию клеточного монослоя при концентрации 200 мкг/мл (3 балла на клетках Vero и 4 балла на MDCK). НЧ Fe_2O_3 S200 и НЧ Fe_2O_3 S500 проявляли значительно меньшую токсичность и оказывали заметное морфологическое воздействие только в концентрации 400 мкг/мл. Результаты МТТ-теста для обеих клеточных линий MDCK и Vero продемонстрировали низкую или умеренную токсичность исследуемых наночастиц в диапазоне концентраций до 200 мкг/мл. Профиль токсичности позволяет предположить, что температура обжига при синтезе НЧ Fe_2O_3 может быть ключевым фактором, влияющим на их взаимодействие с клеточными культурами, поскольку при разных температурах формируются разные кристаллические фазы оксида железа. Например, при нагреве до температуры выше 400°C метастабильная фаза $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (маггемит) переходит в более стабильную $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит), а эти фазы имеют разные магнитные и электронные свойства [18]. Поэтому важно, как частица будет взаимодействовать с клеточной мембраной (электростатические силы, адсорбция белков), какие биохимические реакции запустит внутри клетки.

Расхождения в результатах обусловлены тем, что МТТ-тест фиксирует метаболическую активность, а не структурные повреждения клеток, поэтому ранние морфологические изменения могут не отражаться на показателях жизнеспособности. Кроме того, физические свойства наночастиц способны искажать оптические измерения, провоцируя ложные пики сигнала.

В связи с этим для успешного создания материалов на основе наночастиц оксидов металлов необходимы стандартные протоколы оценки их цитотоксичности и эффективности для последующего внедрения в практику здравоохранения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kvitck L., Pucek R, Panacek A, Soukupova J. Physicochemical aspects of metal nanoparticle preparation. In: *Engineered Nanomaterials – Health and Safety*. IntechOpen; 2019.

2. Weinstein J.S., Varallyay C.G., Dosa E., Gahramanov S., Hamilton B., Rooney W.D., et al. Superparamagnetic iron oxide nanoparticles: diagnostic magnetic resonance imaging and potential therapeutic applications in neurooncology and central nervous system inflammatory pathologies, a review. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2010; 30(1): 15–35. DOI: <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2009.192> EDN: <https://elibrary.ru/zammqn>
3. Lapusan R., Borlan R., Focsan M. Advancing MRI with magnetic nanoparticles: a comprehensive review of translational research and clinical trials. *Nanoscale Adv.* 2024;6(9):2234–59. DOI: <https://doi.org/10.1039/d3na01064c> EDN: <https://elibrary.ru/esdral>
4. AlZubaidi A., Pandit V., Jawale V., Gupta M., Late D. Ag-Fe₂O₃ nanohybrids for photocatalytic degradation and antibacterial activity. *Front. Catal.* 2025;5:1655324. DOI: <https://doi.org/10.3389/fctls.2025.1655324> EDN: <https://elibrary.ru/yuijbt>
5. Захарова Ю.А., Новиков В.А., Андреев С.В., Макарова М.А. Защитные перчатки нового поколения: актуальные тенденции технологических решений и перспективы применения (научный обзор). *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.* 2025;102(5):635–46. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-715> EDN: <https://elibrary.ru/ytnxjp>
6. Istomina L.I., Sakharov K.A., Anosova E.I., Protasova S.G., Ionov A.M., Starikova A.S., et al. New method of synthesizing ZnO/ZnO₂ particles of different morphologies in hydrogen peroxide vapor. *Mater. Chem. Phys.* 2026; 349(Pt. 1):131810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.131810>
7. Захарова Ю.А., Фельдблюм И.В. Сравнительная характеристика микрофлоры, выделенной из очагов гнойно-септических инфекций с множественными и единичными случаями. *Эпидемиология и инфекционные болезни.* 2009;(5): 16–21. EDN: <https://elibrary.ru/kywcvf>
8. Montiel Schneider M.G., Martín M.J., Otarola J., Varkarelska E., Simeonov V., Lassalle V., et al. Biomedical applications of iron oxide nanoparticles: current insights progress and perspectives. *Pharmaceutics.* 2022; 14(1): 204. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010204> EDN: <https://elibrary.ru/rtrtccp>
9. Bobo D., Robinson K.J., Islam J., Thurecht K.J., Corrie S.R. Nanoparticle-based medicines: a review of FDA-approved materials and clinical trials to date. *Pharm. Res.* 2016; 33(10): 2373–87. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11095-016-1958-5> EDN: <https://elibrary.ru/wusrmp>
10. Федотова О.С., Захарова Ю.А., Иващенко И.А. Применение клеточных культур в токсикологических исследованиях (научный обзор). *Дезинфекционное дело.* 2026; (1): 5–21. EDN: <https://elibrary.ru/xfqshx>
11. Пономарев В.О., Демченко Н.С., Ткаченко К.А., Федотова О.С. Исследование цитотоксического воздействия квантовых точек на клеточных культурах роговицы и конъюнктивы человека в аспекте перспектив лечения инфекционного кератита. *Офтальмохирургия.* 2024; (3): 99–106. DOI: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2024-3-99-106> EDN: <https://elibrary.ru/abxizq>
12. Sharma A., Gorey B., Casey A. In vitro comparative cytotoxicity study of aminated polystyrene, zinc oxide and silver nanoparticles on a cervical cancer cell line. *Drug Chem. Toxicol.* 2019; 42(1): 9–23. DOI: <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1424181>
13. Meesaragandla B., Komaragiri Y., Schlüter R., Otto O., Delcea M. The impact of cell culture media on the interaction of biopolymer-functionalized gold nanoparticles with cells: mechanical and toxicological properties. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 16643. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20691-w> EDN: <https://elibrary.ru/jrygxr>
14. Потапович А.И., Сухан Т.О., Антипова О.А., Костюк В.А. Исследование антиоксидантной и противовоспалительной активности комплекса рутин с двухвалентным железом. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* 2019; (1): 3–12. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-1-3-12> EDN: <https://elibrary.ru/kfynhg>
15. Rafieepour A., Azari M.R., Peirovi H., Khodaghali F., Jaktaji J.P., Mehrabi Y., et al. Investigation of the effect of magnetite iron oxide particles size on cytotoxicity in A₅₄₉ cell line. *Toxicol. Ind. Health.* 2019; 35(11-12): 703–13. DOI: <https://doi.org/10.1177/0748233719888077>
16. Fahmy H.M., Shekewy S., Elhusseiny F.A., Elmekawy A. Enhanced biocompatibility by evaluating the cytotoxic and genotoxic effects of magnetic iron oxide nanoparticles and chitosan on hepatocellular carcinoma cells (HCC). *Cell Biochem. Biophys.* 2024; 82(2): 1027–42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12013-024-01256-2> EDN: <https://elibrary.ru/sdobvc>
17. Lee J., Lee J.H., Lee S.Y., Park S.A., Kim J.H., Hwang D., et al. Antioxidant iron oxide nanoparticles: their biocompatibility and bioactive properties. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24(21): 15901. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms242115901> EDN: <https://elibrary.ru/shmyws>
18. Stagi L., De Toro J.A., Ardu A., Cannas C., Casu A., Lee S.S., et al. Surface effects under visible irradiation and heat treatment on the phase stability of γ-Fe₂O₃ nanoparticles and γ-Fe₂O₃-SiO₂ core-shell nanostructures. *J. Phys. Chem. C.* 2014; 118(5): 2857–66. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp4115833> EDN: <https://elibrary.ru/srfuzj>

REFERENCES

1. Kvittek L., Prucek R., Panacek A., Soukupova J. Physicochemical aspects of metal nanoparticle preparation. In: *Engineered Nanomaterials – Health and Safety*. IntechOpen; 2019.
2. Weinstein J.S., Varallyay C.G., Dosa E., Gahramanov S., Hamilton B., Rooney W.D., et al. Superparamagnetic iron oxide nanoparticles: diagnostic magnetic resonance imaging and potential therapeutic applications in neurooncology and central nervous

- system inflammatory pathologies, a review. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2010; 30(1): 15–35.
DOI: <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2009.192>
EDN: <https://elibrary.ru/zammqn>
3. Lapusan R., Borlan R., Focsan M. Advancing MRI with magnetic nanoparticles: a comprehensive review of translational research and clinical trials. *Nanoscale Adv.* 2024; 6(9): 2234–59.
DOI: <https://doi.org/10.1039/d3na01064c>
EDN: <https://elibrary.ru/esdral>
 4. AlZubaidi A., Pandit V., Jawale V., Gupta M., Late D. Ag-Fe₂O₃ nanohybrids for photocatalytic degradation and antibacterial activity. *Front. Catal.* 2025; 5: 1655324.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fctls.2025.1655324>
EDN: <https://elibrary.ru/yyijbt>
 5. Zakharova Yu.A., Novikov V.A., Andreev S.V., Markarova M.A. Next-generation protective gloves: current trends in technological solutions and application prospects (scientific review). *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii.* 2025; 102(5): 635–46.
DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-715>
EDN: <https://elibrary.ru/ytnxjp> (In Russ.)
 6. Istomina L.I., Sakharov K.A., Anosova E.I., Protasova S.G., Ionov A.M., Starikova A.S., et al. New method of synthesizing ZnO/ZnO₂ particles of different morphologies in hydrogen peroxide vapor. *Mater. Chem. Phys.* 2026; 349(Pt. 1): 131810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.131810>
 7. Zakharova Yu.A., Feldblyum I.V. Comparative characteristics of the microflora isolated from pyoseptic infection foci with multiple and sporadic cases. *Epidemiologiya i infeksionnye bolezni.* 2009; (5): 16–21.
EDN: <https://elibrary.ru/kywcvf> (In Russ.)
 8. Montiel Schneider M.G., Martín M.J., Otarola J., Vakarelska E., Simeonov V., Lassalle V., et al. Biomedical applications of iron oxide nanoparticles: current insights progress and perspectives. *Pharmaceutics.* 2022; 14(1): 204. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010204> EDN: <https://elibrary.ru/rrtccp>
 9. Bobo D., Robinson K.J., Islam J., Thurecht K.J., Corrie S.R. Nanoparticle-based medicines: a review of FDA-approved materials and clinical trials to date. *Pharm. Res.* 2016; 33(10): 2373–87.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11095-016-1958-5>
EDN: <https://elibrary.ru/wusrmp>
 10. Fedotova O.S., Zakharova Yu.A., Ivashenko I.A. The use of cell cultures in toxicology research (scientific review). *Dezinfektsionnoe delo.* 2026; (1): 5–21. EDN: <https://elibrary.ru/xfqshx> (In Russ.)
 11. Ponomarev V.O., Demchenko N.S., Tkachenko K.A., Fedotova O.S. Investigation of the cytotoxic effect of quantum dots on human corneal and conjunctival cell cultures in the aspect of prospects for the treatment of infectious keratitis. *Oftal'mokhirurgiya.* 2024; (3): 99–106. DOI: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2024-3-99-106>
EDN: <https://elibrary.ru/abxizq> (In Russ.)
 12. Sharma A., Gorey B., Casey A. In vitro comparative cytotoxicity study of aminated polystyrene, zinc oxide and silver nanoparticles on a cervical cancer cell line. *Drug Chem. Toxicol.* 2019; 42(1): 9–23.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1424181>
 13. Meesaragandla B., Komaragiri Y., Schlüter R., Otto O., Delcea M. The impact of cell culture media on the interaction of biopolymer-functionalized gold nanoparticles with cells: mechanical and toxicological properties. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 16643.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20691-w>
EDN: <https://elibrary.ru/jrygxr>
 14. Potapovich A.I., Suhan T.O., Antipova O.A., Kostyuk V.A. Research of antioxidant and anti-inflammatory activity of rutine complex with bivalent iron. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya.* 2019; (1): 3–12.
DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-1-3-12>
EDN: <https://elibrary.ru/kfynhg> (In Russ.)
 15. Rafiepour A., Azari M.R., Peirovi H., Khodaghali F., Jaktaji J.P., Mehrabi Y., et al. Investigation of the effect of magnetite iron oxide particles size on cytotoxicity in A₅₄₉ cell line. *Toxicol. Ind. Health.* 2019; 35(11-12): 703–13.
DOI: <https://doi.org/10.1177/0748233719888077>
 16. Fahmy H.M., Shekewy S., Elhusseiny F.A., Elmekawy A. Enhanced biocompatibility by evaluating the cytotoxic and genotoxic effects of magnetic iron oxide nanoparticles and chitosan on hepatocellular carcinoma cells (HCC). *Cell Biochem. Biophys.* 2024; 82(2): 1027–42.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12013-024-01256-2>
EDN: <https://elibrary.ru/sdobvc>
 17. Lee J., Lee J.H., Lee S.Y., Park S.A., Kim J.H., Hwang D., et al. Antioxidant iron oxide nanoparticles: their biocompatibility and bioactive properties. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24(21): 15901.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms242115901>
EDN: <https://elibrary.ru/shmyws>
 18. Stagi L., De Toro J.A., Ardu A., Cannas C., Casu A., Lee S.S., et al. Surface effects under visible irradiation and heat treatment on the phase stability of γ-Fe₂O₃ nanoparticles and γ-Fe₂O₃-SiO₂ core-shell nanostructures. *J. Phys. Chem. C.* 2014; 118(5): 2857–66.
DOI: <https://doi.org/10.1021/jp4115833>
EDN: <https://elibrary.ru/srfuzj>
- Информация об авторах**
- Федотова Ольга Семеновна — канд. биол. наук, с. н. с. отдела токсикологии (с лабораторией) Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия
e-mail: fedotova.os@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1928-8211>
- Тамбовцева Екатерина Романовна — студентка каф. медицинской биохимии и биофизики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия
e-mail: e.tambovtseva00@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-5962-2727>
- Давиденко Ангелина Михайловна — студентка каф. медицинской биохимии и биофизики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого

Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

e-mail: davibenkoangelina@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-1263-8018>

Захарова Юлия Александровна — д-р. мед. наук, проф., научный руководитель Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия; профессор каф. эпидемиологии и дезинфектологии ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования», Москва, Россия

e-mail: zakharova.ya@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3416-0902>

Улитко Мария Валерьевна — канд. биол. наук, в. н. с. лаб. клеточных культур ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

e-mail: mv.ulitko@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3193-2903>

Вклад авторов: *Федотова О.С.* — концепция и дизайн исследования, редактирование; *Тамбовцева Е.А.* — обработка данных, написание текста; *Давиденко А.М.* — обработка данных; *Захарова Ю.А.*, *Улитко М.В.* — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Information about the authors

Olga S. Fedotova — Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Toxicology Department (with laboratory), Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia

e-mail: fedotova.os@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1928-8211>

Ekaterina R. Tambovtseva — student, Department of medical biochemistry and biophysics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

e-mail: e.tambovtseva00@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-5962-2727>

Angelina M. Davidenko — student, Department of medical biochemistry and biophysics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

e-mail: davibenkoangelina@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-1263-8018>

Yulia A. Zakharova — Dr. Sci. (Med.), Professor, Scientific Director, Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia; Professor, Department of epidemiology and disinfectology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

e-mail: zakharova_ya@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3416-0902>

Maria V. Ulitko — Cand. Sci. (Biol), leading researcher, Cell culture laboratory, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

e-mail: mv.ulitko@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3193-2903>

Contribution: *Fedotova O.S.* — study concept and design, editing; *Tambovtseva E.A.* — data processing, writing; *Davidenko A.M.* — data processing; *Zakharova Yu.A.*, *Ulitko M.V.* — editing. All authors — approved the final version of the article and are responsible for the integrity of all its parts.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.47470/dez021>
© ЕПИШИНА Т.М., 2026

Создание базы данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс с целью интерпретации результатов санитарно-токсикологических исследований действующих веществ пестицидов

Епишина Т.М.

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В международной практике при изучении токсичности и опасности ксенобиотиков (в том числе пестицидов) лаборатория, проводящая такие исследования, должна располагать данными исторического контроля каждого изучаемого эффекта.

Цель исследования — создание базы данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс при санитарно-токсикологических исследованиях действующих веществ пестицидов различной химической структуры.

Материалы и методы. В соответствии с запланированной целью создана база данных 15 биохимических показателей сыворотки крови контрольных животных (крысы), использованных в хронических санитарно-токсикологических исследованиях 12 образцов действующих веществ пестицидов различной химической структуры, в динамике через 1, 3, 6 и 12 мес от начала исследования. Данные постоянно обновляются. Эксперименты проведены в испытательной биологической лаборатории ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора согласно руководству Р1.2.3156–13.

Результаты. В результате проведенных исследований установлено, что с возрастом у крыс контрольных групп наблюдается тенденция повышения активности лактатдегидрогеназы (на 9,84%), аланинаминотрансферазы (на 7,05%), аспартатаминотрансферазы (на 29,12%) и снижение активности альфа-амилазы (на 11,4%). Данные получены через 12 мес от начала исследования в сравнении с показателями через 1 мес. Выявленные изменения необходимо учитывать при изучении действующих веществ пестицидов в хронических санитарно-токсикологических исследованиях.

Ограничения исследования. В настоящей статье представлена база данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс-самцов. Данные физиологических показателей у крыс-самцов в аналогичных исследованиях будут отражены в следующих публикациях.

Заключение. Результаты будут использованы как контрольные наряду с сопутствующими контрольными данными, полученными при санитарно-токсикологических исследованиях действующих веществ пестицидов с целью обоснования максимальных недействующих доз для установления допустимых суточных доз, гигиенических нормативов изучаемых соединений в продуктах питания и объектах окружающей среды.

Ключевые слова: база данных; пестициды; токсичность; санитарно-токсикологические исследования; исторический контроль; биохимические показатели; сыворотка крови; действующие вещества пестицидов

Этическое утверждение. Проведение исследований было одобрено этическим комитетом ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (протокол заседания № 10 от 17.11.2016).

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для корреспонденции: Епишина Татьяна Михайловна, e-mail: epishina.tm@fncg.ru

Для цитирования: Епишина Т.М. Создание базы данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс с целью интерпретации результатов санитарно-токсикологических исследований действующих веществ пестицидов. *Дезинфектология*. 2026; 2(2): 65–70.
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez021> EDN: <https://elibrary.ru/NXCCPA>

Поступила: 20.05.2025 / Принята к печати: 15.06.2025 / Опубликовано: 10.08.2026

Original Article
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez021>
© EPISHINA T.M., 2026

Creation of a Database of Historical Control of Biochemical Parameters of Rat Blood Serum in Order to Interpret the Results of Sanitary and Toxicological Studies of Pesticide Active Substances

Tatiana M. Epishina

Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, Russia

ABSTRACT

Introduction. In international practice, when studying the toxicity and hazards of xenobiotics (including pesticides), the laboratory conducting such research must have data on the historical monitoring of each effect being studied.

The purpose of this study is to create a database of historical control of biochemical parameters of rat blood serum obtained during sanitary and toxicological studies of active substances of pesticides with different chemical structures.

Materials and methods. In accordance with the planned goal, a database was created on 15 biochemical indicators of blood serum from control animals (rats) used in chronic sanitary and toxicological studies of twelve samples of active substances of pesticides of various chemical structures in dynamics after 1, 3, 6 and 12 months from the beginning of the study. The data is constantly updated. The studies were conducted in the testing biological laboratory of the Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman according to the guidelines R1.2.3156-13.

Results. In the studied blood serum samples of the control groups of animals, an increase in biochemical parameters such as enzyme activity was detected with age: lactate dehydrogenase by 9.84%; alanine aminotransferase by 7.05%, aspartate aminotransferase by 29.12% and a decrease in alpha-amylase activity by 11.4%, obtained 12 months after the start studies (at the age of 15 months in male rats) regarding the indicators obtained after a month of research at the age of 3 months in animals. The identified changes should be taken into account when studying the active ingredients of pesticides in chronic sanitary and toxicological studies.

Research limitations. This article published a database of historical control of biochemical indicators of blood serum in male rats. Physiological indicators data in male rats in similar studies will be presented in the following publications.

Conclusion. The obtained results will be used as control data, along with the accompanying control data obtained during sanitary and toxicological studies of pesticide active substances, in order to substantiate the maximum non-effective doses for establishing permissible daily doses and hygienic standards for the studied compounds in food products and environmental objects.

Keywords: *database; pesticides; toxicity; sanitary and toxicological studies; historical control; biochemical indicators; blood serum; active substances of pesticides*

Ethics approval. The research was approved by the Ethics committee of the Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F. Erisman (minutes of the meeting No. 10 dated 17.11.2016).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The author declares no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: Tatiana M. Epishina, e-mail: epishina.tm@fncg.ru

For citation: Epishina T.M. Creation of a database of historical control of biochemical parameters of rat blood serum in order to interpret the results of sanitary and toxicological studies of active substances of pesticides. *Disinfectology*. 2026; 2(2): 65–70. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez021>
EDN: <https://elibrary.ru/NXCCPA>

Received: 20.05.2025 / Accepted: 15.06.2025 / Published: 10.08.2026

ВВЕДЕНИЕ

Государственную регистрацию пестицидного препарата в России осуществляют на основании анализа данных, полученных при

проведении регистрационных испытаний, которые предполагают токсиколого-гигиеническую оценку препарата в батарее токсикологических тестов. В соответствии с действующим

методическим руководством Организации международного сотрудничества и развития (ОЭСР) по проведению токсикологических тестов в области регуляторной токсикологии, применяемых во всем мире и утвержденных в Российской Федерации в виде Руководства Р 1.2.3156–13 «Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека»¹, основным критерием для установления эффекта и интерпретации результатов исследования объекта испытаний является сравнение значений, полученных для экспериментальных групп, со значениями, полученными для группы сопутствующего контроля, не подвергавшейся экспозиции объектом испытаний [1, 2].

Однако бывают случаи, когда наблюдаемый эффект или отсутствие его ошибочны (ложноположительный или ложноотрицательный результаты). Эта проблема определяет необходимость изучения показателей нормы у лабораторных животных, основанной на данных исторического внутрилабораторного контроля каждого изучаемого эффекта. Актуальность внутрилабораторного контроля показателей нормы заключается в том, чтобы на основании исторических данных лаборатории корректно оценивать влияние действующего вещества, отделив его от действия случайных факторов [3, 4].

Для этого лабораторные центры собирают собственные значения, полученные при токсикологических исследованиях, создавая исторический контроль, данные которого непрерывно обновляются и охватывают период, близкий к датам исследования [4, 5].

Цель исследования — создание базы данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс при санитарно-токсикологических исследованиях действующих веществ пестицидов различной химической структуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с запланированной целью создана база данных биохимических показателей сыворотки крови контрольных животных, использованных в хронических санитарно-токсикологических исследованиях 12 образцов действующих веществ пестицидов различной химической структуры. Исследования проведе-

ны в испытательной биологической лаборатории ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора согласно руководству Р 1.2.3156–13.

Оценка состоит из пяти этапов: I этап — взятие крови у лабораторных животных (крысы); II этап — разделение крови на фракции; III этап — определение биохимических показателей сыворотки крови на биохимическом анализаторе; IV — статистическая обработка полученных результатов; V — хранение результатов санитарно-токсикологических исследований на электронном носителе.

Длительность хронического эксперимента — 12 мес. Объект исследования — беспородные белые крысы-самцы, масса тела которых перед началом опыта составляла 180–200 г, а возраст — 3 мес.

Опытная и контрольная группы состояли из 20 животных. Действующие вещества пестицидов вводили крысам ежедневно, за исключением выходных. Выбор доз для проведения хронического опыта обоснован результатами острого эксперимента, а также данными литературы о токсическом действии действующего вещества. Контрольным животным вводили растворитель (дистиллированную воду или растительные масла) в равном объеме.

Крыс содержали в стандартных клетках по 10 особей в каждой. Условия вивария были одинаковыми: температура воздуха 20–26°C, относительная влажность 30–70%, цикл «день — ночь» 12/12. По окончании эксперимента проводили эвтаназию животных.

Результаты исследований обработаны общепринятыми статистическими методами с использованием *t*-критерия Стьюдента в программе Microsoft Excel [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Биохимические исследования выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе. Определяли 15 биохимических показателей сыворотки крови: аланинаминотрансферазу (АЛТ), аспартатаминотрансферазу (АСТ), альбумин, общий белок, мочевую кислоту, мочевины, глюкозу, щелочную фосфатазу (ЩФ), триглицериды, холестерин, лактатдегидрогеназу (ЛДГ), холинэстеразу, креатинин, амилазу, хлориды. Используются данные биохимических показателей сыворотки крови животных контрольных групп, полученные при санитарно-токсикологических исследованиях действующих веществ пестицидов в 2017–2023 гг.

Результаты исследований представлены в таблице.

¹ Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека: Руководство Р 1.2.3156–13. М.: 2014. 639 с.

Анализ данных таблицы показывает, что в исследованных образцах сыворотки крови контрольных групп животных выявлена тенденция к повышению с возрастом таких биохимических показателей, как активность ЛДГ на 9,84%, АЛТ на 7,05%, АСТ на 29,12%, и снижение активности α -амилазы на 11,4%. Данные представлены через 12 мес от начала исследования по сравнению с показателями через 1 мес.

Полученные биохимические показатели сыворотки крови крыс-самцов не противостоят данным, представленным ранее в аналогичных исследованиях других лабораторий на беспородных крысах и крысах линии SHR [7, 8].

Выявленные изменения необходимо учитывать при изучении действующих веществ пестицидов в хронических санитарно-токсикологических исследованиях.

ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемая база основана на исторических контрольных данных (ИКД) биохимических показателей сыворотки крови контрольных животных, использованных в хронических санитарно-токсикологических исследованиях испытательной биологической лабораторией ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора.

Биохимические показатели сыворотки крови контрольных групп крыс в динамике через 1, 3, 6 и 12 месяцев при хроническом введении действующих веществ пестицидов, $n = 96$, $M \pm m$

Biochemical parameters of blood serum taken from control rats in dynamics after 1, 3, 6, and 12 months of chronic administration of pesticide active substances, $n = 96$, $M \pm m$

Исследуемые показатели крови крыс-самцов The studied blood parameters of male rats	Единицы измерения Units of measurement	Срок исследования, мес The duration of the study in months			
		1	3	6	12
Глюкоза Glucose	ммоль/л mmol/l	6,54 $\pm$ 0,11	6,11 $\pm$ 0,13	6,28 $\pm$ 0,13	6,03 $\pm$ 0,11
Мочевая кислота Uric acid	мкмоль/л μ mol/l	110,3 $\pm$ 2,8	103,8 $\pm$ 4,8	116,7 $\pm$ 3,2	111,5 $\pm$ 6,3
Альбумин Albumin	г/л g/l	35,8 $\pm$ 0,92	36,01 $\pm$ 0,64	39,14 $\pm$ 0,4	37,12 $\pm$ 0,8
Общий белок Total protein	г/л g/l	72,8 $\pm$ 0,42	68,44 $\pm$ 0,79	71,89 $\pm$ 0,5	72,09 $\pm$ 1,6
ЛДГ Lactate dehydrogenase	ЕД/л Units/l	2621 $\pm$ 68,3	2875 $\pm$ 112,0	2559 $\pm$ 89,9	2879 $\pm$ 101,1
Холестерин Cholesterol	ммоль/л mmol/l	2,13 $\pm$ 0,05	2,12 $\pm$ 0,03	2,10 $\pm$ 0,05	2,06 $\pm$ 0,07
Триглицериды Triglycerides	ммоль/л mmol/l	0,90 $\pm$ 0,04	0,92 $\pm$ 0,06	0,82 $\pm$ 0,07	0,97 $\pm$ 0,04
α -Амилаза Alpha-amylase	ЕД/л Units/l	544 $\pm$ 16,6	467 $\pm$ 10,10	484 $\pm$ 8,87	482 $\pm$ 11,1
Креатинин Creatinine	мкмоль/л μ mol/l	101 $\pm$ 1,79	111 $\pm$ 3,27	74,9 $\pm$ 2,02	102,3 $\pm$ 1,5
Мочевина Urea	ммоль/л mmol/l	6,10 $\pm$ 0,15	6,00 $\pm$ 0,12	6,24 $\pm$ 0,15	6,32 $\pm$ 0,11
Холинэстераза Cholinesterase	ЕД/л Units/l	783 $\pm$ 40,91	637 $\pm$ 41,57	615 $\pm$ 30,82	752 $\pm$ 20,11
Хлориды Chlorides	ммоль/л mmol/l	97,2 $\pm$ 0,66	97,5 $\pm$ 1,05	96,46 $\pm$ 0,7	95,34 $\pm$ 0,8
Щелочная фосфатаза Alkaline phosphatase	ЕД/л Units/l	309 $\pm$ 7,98	307 $\pm$ 9,75	319 $\pm$ 8,79	307 $\pm$ 6,36
АСТ Aspartate aminotransferase	ЕД/л Units/l	118,8 $\pm$ 2,9	128,43 $\pm$ 2,8	133,4 $\pm$ 3,0	153,4 $\pm$ 2,9
АЛТ Alanine aminotransferase	ЕД/л Units/l	47,1 $\pm$ 1,81	52,99 $\pm$ 1,32	48,36 $\pm$ 1,1	50,42 $\pm$ 1,21

ИКД дают представление о фоновой изменчивости биохимических показателей сыворотки крови у животных одного вида и одной линии в одинаковых условиях лаборатории при оценке токсических эффектов при повторном (многократном) введении действующих веществ пестицидов. Данные используются для интерпретации конечных точек исследования при установлении критических неблагоприятных эффектов в используемой тест-системе, полученной из той же лаборатории. ИКД постоянно обновляются и охватывают период, близкий к дате исследований. Наши исследования продолжаются и пополняют базу исторических контрольных данных².

Ограничения исследования. В данной статье представлена база данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс-самцов. Физиологические показатели крыс-самцов в аналогичных исследованиях будут представлены в следующих публикациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты будут использованы как контрольные наряду с сопутствующими контрольными данными, полученными при санитарно-токсикологических исследованиях действующих веществ пестицидов с целью обоснования максимальных недействующих доз для установления допустимых суточных доз, гигиенических нормативов изучаемых соединений в продуктах питания и объектах окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Епишина Т.М., Чхвиркия Е.Г. Создание базы данных исторического контроля гематологических показателей крови крыс с целью интерпретации результатов санитарно-токсикологических исследований действующих веществ пестицидов. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1197–1200. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1218-1221>
2. Патент на промышленный образец RU 141604 от 26.01.2024 года. Схема «Процедура создания базы данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови с целью интерпретации результатов санитарно-токсикологических исследований действующих веществ пестицидов» / Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Епишина Т.М. и др. Бюл. № 5. Заявка № 2024500383 от 26.01.2024; Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2024620617 от 07.02.2024 «База данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови с целью интерпретации результатов санитарно-токсикологических исследований действующих веществ пестицидов» / Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Епишина Т.М. и др. Заявка № 2024620234 от 25.01.2024.
2. Трахтенберг И.М., Тимофеевская Л.А., Квятковская И.Я. Методы изучения хронического действия химических и биологических загрязнителей. Рига; 1987: 9–11.
3. Онищенко Г.Г. Химическая безопасность — важнейшая составляющая санитарно-эпидемиологического благополучия населения. *Сборник трудов: IV Съезд токсикологов России*. М.; 2013: 5–7.
4. Епишина Т.М., Чхвиркия Е.Г., Мухина Е.А., Потапова О.Г. Создание базы данных исторического контроля гематологических показателей крови с целью интерпретации результатов санитарно-токсикологических исследований ПАВ. *Все-российская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы гигиены и профпатологии», посвященная 100-летию ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора*. Санкт-Петербург; 2024: 83–87.
5. Трахтенберг И.М. Проблема нормы в токсикологии. М.; 1991. 204 с.
6. Ноткин Е.Л. Статистика в гигиенических исследованиях. М.; 1986.
7. Абрашова Т.В., Соколова А.П., Селезнева А.И. и др. Вариабельность биохимических и гематологических показателей у лабораторных крыс в зависимости от линии и возраста. *Международный вестник ветеринарии*. 2010; (2): 55–60.
8. Макаров В.Г., Макарова М.Н., Абрашова Т.В. и др. *Физиологические, биохимические и биометрические показатели нормы экспериментальных животных*. Санкт-Петербург; 2013. 116 с.

REFERENCES

1. Rakitsky V.N., Kuzmin S.V., Epishina T.M., Chkhvirkia E.G. Creation of a database of historical control of hematological parameters of rat blood in order to interpret the results of sanitary and toxicological studies of pesticide active substances. *Hygiene and Sanitation*. 2024; 103(10): 1197–1200. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1218-1221> (In Russ.)
2. Trakhtenberg I.M., Timofeevskaya L.A., Kvyatkovskaya I.Ya. Methods of studying the chronic effect of chemical and biological pollutants. Riga; 1987: 9–11. (In Russ.)
3. Onishchenko G.G. Chemical safety is the most important component of sanitary and epidemiological well-being of the population. *Collection of works: IV Congress of Toxicologists of Russia*. Moscow; 2013: 5–7. (In Russ.)
4. Epishina T.M., Chkhvirkia E.G., Mukhina E.A., Potapova O.G. Creation of a database of historical control of hematological blood parameters in order to interpret the results of sanitary and toxicological studies of PAV. *All-Russian Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Hygiene and Occupational Pathology", dedicated to the 100th anniversary of the North-Western Research Center for Hygiene and Public Health of Rosпотребнадзор*. St. Petersburg; 2024: 83–87. (In Russ.)
5. Trakhtenberg I.M. The problem of norm in toxicology. Moscow; 1991. 204 p. (In Russ.)

6. Notkin E.L. Statistics in hygienic studies. Moscow; 1986. (In Russ.)
7. Abrashova T.V., Sokolova A.P., Selezneva A.I., et al. Variability of biochemical and hematological indicators in laboratory rats depending on the line and age. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2010; (2): 55–60. (In Russ.)
8. Makarov V.G., Makarova M.N., Abrashova T.V., et al. Physiological, biochemical and biometric indicators of the norm of experimental animals. St. Petersburg; 2013. 116 p. (In Russ.)

Сведения об авторе

Епишина Татьяна Михайловна — д-р биол. наук, в. н. с. отд. токсикологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Мытищи, Россия
e-mail: epishina.tm@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0331-0701>

Вклад авторов: Епишина Т.М. — проведение исследований, сбор и статистическая обработка полученного материала, написание текста, составление списка литературы.

Information about the author

Tatiana M. Epishina — Dr. Sci. (Biol.), senior researcher, Department of toxicology, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Mytishchi, Russia
e-mail: epishina.tm@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0331-0701>

Contribution: Epishina T.M. — conducting research, collecting and statistically processing the obtained material, writing the text, and compiling the list of references.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.47470/dez018>
© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2026

Изменение параметров системы антиоксидантной защиты у крыс на фоне прерывистого голодания

Байжуманов А.А.¹, Абрашитов Г.Н.¹, Хиразова Е.Э.², Комаров В.Ю.^{2,3}

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия;

² Институт дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Мытищи, Россия;

³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Голодание оказывает значительное воздействие на грызунов в природе, влияя на их физиологию, поведение и выживаемость. Дефицит корма может привести к падению фертильной способности животных, снизить устойчивость к инфекциям, изменить баланс нейромедиаторов в мозге и физическую выносливость. Прерывистое голодание влияет на систему антиоксидантной защиты и содержание активных форм кислорода в мозге животных. Это имеет большое практическое значение, так как может лежать в основе механизмов изменения устойчивости грызунов к различным воздействиям.

Целью данного исследования было выяснение гендерных отличий эффектов прерывистого голодания на антиоксидантную систему крыс линии Wistar.

Материалы и методы. При выполнении работы использовали модель прерывистого голодания, при котором животные опытной группы ($n = 13$) получали доступ к корму на один час в течение 4 сут ежедневно, тогда как контрольные животные ($n = 13$) находились в условиях *ad libitum*. После окончания периода прерывистого голодания проводили эвтаназию животных и измеряли параметры системы антиоксидантной защиты крови и плазмы.

Результаты. Статистический анализ не выявил изменений в общей антиоксидантной активности плазмы крови после прерывистого голодания ни у самцов, ни у самок крыс. Однако наблюдалось значимое повышение уровня церулоплазмينا в крови опытных животных как у самцов (на 32,5%; $p < 0,01$), так и у самок крыс (на 18,5%; $p < 0,05$), активность каталазы в крови самцов и самок не изменилась после прерывистого голодания. Активность супероксиддисмутазы (третья изоформа), содержащейся в плазме крови животных, значимо изменилась только у самок после прерывистого голодания (уменьшение на 24%; $p < 0,05$).

Ограничения исследования. Исследования направлены на изучение биохимических показателей крови крыс при изменении режима питания и представляют интерес для специалистов соответствующей области деятельности.

Заключение. Таким образом, прерывистое голодание в течение 4 сут приводит к изменению состояния показателей системы антиоксидантной защиты у грызунов, причём изменение активности супероксиддисмутазы (третья изоформа) является полоспецифичными. Такое изменение антиоксидантного статуса животных может лежать в основе снижения устойчивости к различным негативным воздействиям на фоне прерывистого голодания

Ключевые слова: антиоксиданты; кровь; система антиоксидантной защиты; прерывистое голодание

Этическое утверждение. Исследование одобрено Этическим комитетом (подкомитетом) Института дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (протокол № 2¹ от 06.05.2025), проведено в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123), директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для корреспонденции: Абрашитов Глеб Николаевич, e-mail: glebneurobiophys@mail.ru

Для цитирования: Байжуманов А.А., Абрашитов Г.Н., Хиразова Е.Э., Комаров В.Ю. Изменение параметров системы антиоксидантной защиты у крыс на фоне прерывистого голодания. *Дезинфектология*. 2026; 2(2): 71–76. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez018>. EDN: <https://elibrary.ru/WVMMNV>

Поступила: 07.07.2025 / Принята к печати: 24.07.2026 / Опубликовано: 10.08.2026

Original Article

DOI: <https://doi.org/10.47470/dez018>

© AUTHORS, 2026

Changes in the Parameters of the Antioxidant Defense System in Rats During Intermittent Fasting

Adil A. Baizhumanov¹, Gleb N. Abrashitov¹, Elizaveta E. Khirazova², Vladimir Yu. Komarov^{2,3}

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

² Disinfectology Institute of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia;

³ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. Starvation has significant effects on rodents in the wild, affecting their physiology, behavior, and survival. Food scarcity can lead to decreased fertility, reduced resistance to infections, altered neurotransmitter balance in the brain, and diminished physical endurance. Intermittent fasting affects the antioxidant defense system and the content of reactive oxygen species in the brain and may underlie the mechanisms of changes in the resistance of rodents to various influences, which is of great practical importance.

The aim of this study was to determine gender differences in the effects of intermittent fasting on the antioxidant system in Wistar rats.

Materials and Methods. The study used an intermittent fasting model, in which animals in the experimental group ($n = 13$) were given access to food for one hour daily for 4 days, while control animals ($n = 13$) were kept in ad libitum conditions. After the end of the intermittent fasting period, the animals were euthanized and blood was collected, followed by measurement of the parameters of the antioxidant defense system of the blood and blood plasma.

Results. Statistical analysis revealed no changes in total plasma antioxidant activity after intermittent fasting in either male or female rats. However, a significant increase in the level of ceruloplasmin in the blood of experimental animals was observed in both male (by 32,5%; $p < 0,01$) and female rats (by 18,5%; $p < 0,05$). Blood catalase activity did not change after intermittent fasting in male and female rats. The activity of superoxide dismutase (third isoform) contained in the blood plasma of animals changed significantly only in females after intermittent fasting (a decrease of 24%; $p < 0,05$).

Study limitations. The study aimed to investigate the biochemical parameters of rat blood during dietary changes and is of interest to specialists in the relevant field.

Conclusion. Thus, intermittent fasting for 4 days leads to a change in the state of the antioxidant defense system in rodents, and the change in the activity of superoxide dismutase (third isoform) is gender-specific. This change in the antioxidant status of animals may underlie the decrease in resistance to various negative influences during intermittent fasting.

Keywords: *antioxidants; blood; antioxidant defense system; intermittent fasting*

Ethics approval. The study was approved by the Ethics Committee of the Disinfectology Institute of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman (No. 2¹, 06.05.2025), conducted in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS N 123), the Directive of the European Parliament and the Council of the European Union.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: Gleb N. Abrashitov, e-mail: glebneurobiophys@mail.ru

For citation: Baizhumanov A.A., Abrashitov G.N., Khirazova E.E., Komarov V.Yu. Changes in the parameters of the antioxidant defense system in rats during intermittent fasting. *Disinfectology*. 2026; 2(2): 71–76. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez018>. EDN: <https://elibrary.ru/WVMMNV>

Received: 07.07.2025 / Accepted: 24.07.2026 / Published: 10.08.2026

ВВЕДЕНИЕ

В поисках пищи грызуны могут изменять свои привычные маршруты, поведенческую активность, проявлять агрессию в группировке, конкурируя за пищевые ресурсы [1]. Голодание значительно влияет на грызунов в природе, затрагивая их физиологию, поведение и выживаемость. Недостаток пищи может привести к снижению фертильной способности животных, их устойчивости к инфекциям, изменить баланс нейромедиаторов в мозге и физическую выносливость [2, 3]. Особенного внимания заслуживает исследование изменений показателей антиоксидантного статуса крови на фоне голодания. Так показано, что прерывистое голодание влияет на систему антиоксидантной защиты и содержание активных форм кислорода в мозге [3].

Изменение параметров, связанных с антиоксидантной системой, может лежать в основе механизмов изменения устойчивости грызунов к различным воздействиям, что представляет особое практическое значение [4].

Экспериментальной моделью голодания, которая отчасти имитирует естественные условия существования грызунов в природе, является прерывистое голодание. При выполнении таких протоколов периоды неограниченного потребления пищи чередуются с периодами полного или частичного ограничения доступа к еде [2].

Целью данного исследования было выяснение гендерных отличий эффектов прерывистого голодания на состояние антиоксидантной системы у крыс линии Wistar.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментов использовали самцов и самок крыс линии Wistar,

средняя масса самцов на начало эксперимента составила 236 ± 10 г, самок — 185 ± 10 г. В ходе работы животные опытной группы (7 самцов и 6 самок) получали доступ к корму на 60 мин (с 13:00 до 14:00) каждые сутки в течение 4 сут. Животные контрольной группы (7 самцов и 6 самок) имели свободный доступ к корму всё время исследования. После окончания периода прерывистого голодания проводили эвтаназию животных и осуществляли забор крови для анализа функционального состояния антиоксидантной системы.

Для определения содержания церулоплазмينا в плазме крови использовали реакцию окисления ортофенилендиамина [4]. Интенсивность перекисного окисления липидов в организме оценивали по образованию малонового альдегида при реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП). Активность фермента каталазы крови определяли по скорости разрушения перекиси водорода в фосфатном буфере. Для выявления активности СОД в плазме крови использовали реакцию окисления адреналина до адренохрома. Общую антиоксидантную активность плазмы крови определяли по способности антиоксидантов плазмы крови участвовать в образовании комплекса восстановленного железа с 2,4,6-трипиредилтриазином [4]. Статистическую обработку результатов проводили в программе GraphPad Prizm 10.4.0 (GraphPad Software Inc.) (two-way ANOVA).

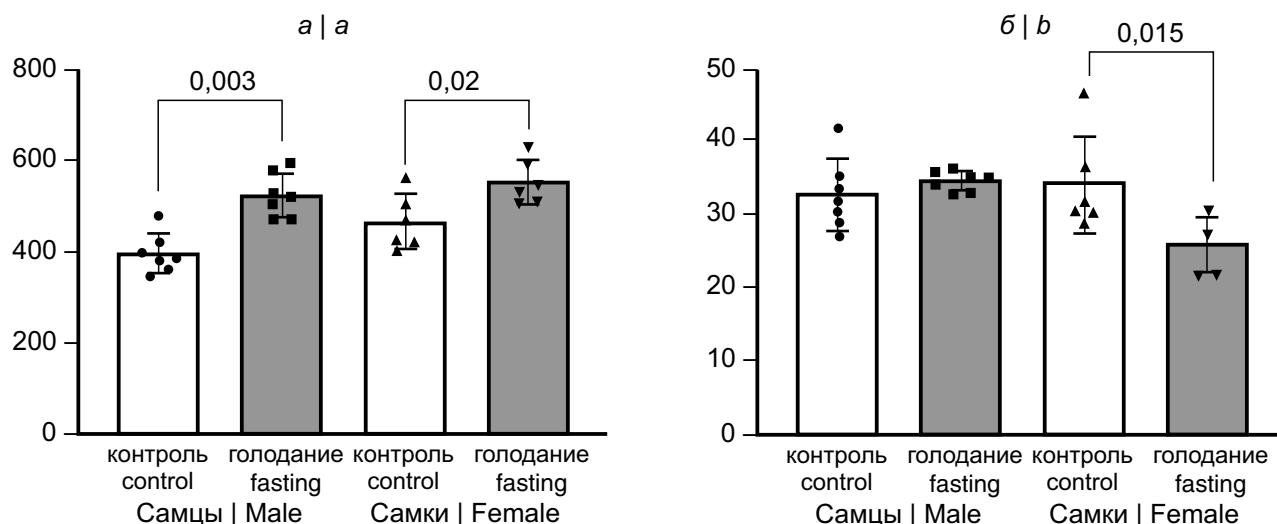
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статистический анализ не выявил изменений в общей антиоксидантной активности плазмы крови ни у самцов, ни у самок крыс после прерывистого голодания (**таблица**). Однако наблюдалось значимое повышение уровня це-

Значения биохимических показателей крови животных после четырёхдневного периода прерывистого голодания (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение)

Blood biochemical parameters of animals after a four-day period of intermittent fasting (mean $\pm$ standard deviation)

Показатель Parameter	Самцы Males		Самки Females	
	контроль control (n = 7)	голодание fasting (n = 7)	контроль control (n = 6)	голодание fasting (n = 6)
Общая антиоксидантная активность плазмы, мкмоль Fe ²⁺ /л Total antioxidant activity of plasma, $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$	393,8 $\pm$ 65,7	378,9 $\pm$ 27,1	380,5 $\pm$ 70,4	349,2 $\pm$ 34,4
ТБК-АП, нмоль/мл плазмы крови TBA-AP, nmol/ml blood plasma	5,00 $\pm$ 0,54	4,5 $\pm$ 0,7	3,6 $\pm$ 1,3	3,1 $\pm$ 0,3
Активность каталазы в крови, усл. ед./г гемоглобина Catalase activity in blood, arb. units/g hemoglobin	77,6 $\pm$ 19,7	69,00 $\pm$ 9,23	95,7 $\pm$ 14,7	73,8 $\pm$ 12,6



Значения биохимических показателей крови животных после четырёхдневного периода прерывистого голодания в группах «Самцы, контроль» ($n = 7$), «Самцы, голодание» ($n = 7$), «Самки, контроль» ($n = 6$), «Самки, голодание» ($n = 6$).

a — содержание церулоплазмينا в плазме крови, мкг/мл; *б* — активность супероксиддисмутазы (третья изоформа) в плазме крови, усл. ед./мг белка.

Цифрами обозначены p — значения при наличии статистически значимых отклонений (two-way ANOVA).

Blood biochemical parameters of animals after a four-day period of intermittent fasting, in the group "Males, control" ($n = 7$), "Males, starvation" ($n = 7$), "Females, control" ($n = 6$), "Females, starvation" ($n = 6$).

a — ceruloplasmin content in blood plasma, µg/ml; *b* — activity of superoxide dismutase (third isoform) in blood plasma, UE/mg protein. The numbers indicate p -values in the presence of statistically significant deviations (two-way ANOVA).

рулоплазмينا в крови опытных животных как у самцов (на 32,5%; $p < 0,01$), так и у самок (на 18,5%; $p < 0,05$) (рисунк, а). Церулоплазмин является основным медьсодержащим белком, который, наряду с функцией переносчика меди, также проявляет феррооксидазную активность и выполняет роль антиоксиданта [5]. По-видимому, повышение уровня церулоплазмينا при интервальном голодании можно рассматривать как компенсаторный механизм, направленный на поддержание адекватного содержания в организме меди и метаболизма железа.

У контрольных животных не наблюдалось значимых отличий в содержании ТБК-АП, при этом у самок значение данного маркера перекисного окисления липидов было ниже, чем у самцов (таблица). Подобное различие в содержании ТБК-АП в плазме крови у контрольных групп самцов и самок крыс может быть связано с гормональным фоном андрогенов, которое нивелируется после периода голодания [6].

Активность каталазы в крови не изменилась после прерывистого голодания у самцов и самок крыс (таблица). Известно, что каталаза является ключевым ферментом в нейтрализации пероксидов [7]. Таким образом, отсутствие изменений в каталазной активности может свидетельствовать об отсутствии эффектов преры-

вистого голодания на метаболизм пероксидов. Активность СОД₃ в плазме крови животных значительно изменилась только у самок после прерывистого голодания (уменьшение на 24%; $p < 0,05$) (рисунк, б). В литературе встречаются данные о снижении активности ферментов системы антиоксидантной защиты (в том числе СОД) у самцов после периодов голодания [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, прерывистое голодание в течение 4 сут приводит к отклонениям показателей системы антиоксидантной защиты у крыс, причём изменение активности супероксиддисмутазы (третья изоформа) является полоспецифичными. Такая динамика антиоксидантного статуса животных может лежать в основе снижения устойчивости к различным негативным воздействиям на фоне прерывистого голодания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров В.Ю., Анисифоров С.Н. К вопросу о распространении синантропных грызунов и мерах борьбы с ними // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2023. № 2. С. 108–113. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.2.108> EDN: <https://elibrary.ru/gdwnlm>

2. Cavalcante L.P., Lima T.D.R., de Almeida P.C., et al. Intermittent fasting compromises the performance of eutrophic rats submitted to resistance training // *Nutrition*. 2021. Vol. 86. P. 111187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111187> EDN: <https://elibrary.ru/hwgnxw>
3. Abdel-Rahman M., Hussein A.A., Ahmed-Farid O.A., et al. Intermittent fasting alerts neurotransmitters and oxidant/antioxidant status in the brain of rats // *Metab. Brain Dis.* 2024. Vol. 39, N 7. P. 1291–1305. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11011-024-01415-7> EDN: <https://elibrary.ru/kvfozt>
4. Матюлько И.С., Байжуманов А.А., Хиразова Е.Э., Маслова М.В. Влияние различных режимов питьевой депривации на систему антиоксидантной защиты крови и поведенческую активность крыс // *Журнал медико-биологических исследований*. 2018. Т. 6. № 3. С. 254–261. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.254> EDN: <https://elibrary.ru/lzudbj>
5. Texel S.J., Xu X., Harris Z.L. Ceruloplasmin in neurodegenerative diseases // *Biochem. Soc. Trans.* 2008. Vol. 36, N 6. P. 1277–1281. DOI: <https://doi.org/10.1042/BST0361277>
6. Cienfuegos S., Corapi S., Gabel K., et al. Effect of intermittent fasting on reproductive hormone levels in females and males: a review of human trials // *Nutrients*. 2022. Vol. 3, N 14. P. 2343. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14112343> EDN: <https://elibrary.ru/hftvrr>
7. Di Marzo N., Chisci E., Giovannoni R. The role of hydrogen peroxide in redox-dependent signaling: homeostatic and pathological responses in mammalian cells // *Cells*. 2018. Vol. 7, N 10. P. 156. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells7100156>
8. Marcuk-Krynicka D., Hryniewiecki T., Piatek J., Paluszak J. The effect of brief food withdrawal on the level of free radicals and other parameters of oxidative status in the liver // *Med. Sci. Monit.* 2003. Vol. 9, N 3. P. BR131–BR135.

REFERENCES

1. Komarov V.Yu., Anisiforov S.N. On the issue of the distribution of synanthropic rodents and measures to combat them. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2023;(2):108–113. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.2.108> EDN: <https://elibrary.ru/gdwnlm>
2. Cavalcante L.P., Lima T.D.R., de Almeida P.C., et al. Intermittent fasting compromises the performance of eutrophic rats submitted to resistance training. *Nutrition*. 2021;86:111187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111187> EDN: <https://elibrary.ru/hwgnxw>
3. Abdel-Rahman M., Hussein A.A., Ahmed-Farid O.A., et al. Intermittent fasting alerts neurotransmitters and oxidant/antioxidant status in the brain of rats. *Metab. Brain Dis.* 2024;39(7):1291–1305. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11011-024-01415-7> EDN: <https://elibrary.ru/kvfozt>
4. Matyul'ko I.S., Bayzhumanov A.A., Khirazova E.E., Maslova M.V. Effects of various regimes of water

- deprivation on the blood antioxidant defence system and behaviour in rats. *Journal of Medical and Biological Research*. 2018;6(3):254–261. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.254> EDN: <https://elibrary.ru/lzudbj>
5. Texel S.J., Xu X., Harris Z.L. Ceruloplasmin in neurodegenerative diseases. *Biochem. Soc. Trans.* 2008;36(6):1277–1281. DOI: <https://doi.org/10.1042/BST0361277>
6. Cienfuegos S., Corapi S., Gabel K., et al. Effect of intermittent fasting on reproductive hormone levels in females and males: a review of human trials. *Nutrients*. 2022;3(14):2343. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14112343> EDN: <https://elibrary.ru/hftvrr>
7. Di Marzo N., Chisci E., Giovannoni R. The role of hydrogen peroxide in redox-dependent signaling: homeostatic and pathological responses in mammalian cells. *Cells*. 2018;7(10):156. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells7100156>
8. Marcuk-Krynicka D., Hryniewiecki T., Piatek J., Paluszak J. The effect of brief food withdrawal on the level of free radicals and other parameters of oxidative status in the liver. *Med. Sci. Monit.* 2003;9(3):BR131–BR135.

Сведения об авторах

Байжуманов Адиль Ануарович — канд. биол. наук, с. н. с. каф. биофизики Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: adilbayzhumanov@biophys.msu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9737-4516>

Абрашитов Глеб Николаевич — студент магистратуры каф. физиологии животных и человека Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: glebneurobiophys@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8246-8222>

Хиразова Елизавета Эдуардовна — канд. биол. наук, в. н. с. отдела дератизации (с лабораторией изучения грызунов) Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана», Москва, Россия
e-mail: khirazova.ee@fncg.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8860-4652>

Комаров Владимир Юрьевич — канд. вет. наук, доцент, зав. отделом дератизации (с лабораторией изучения грызунов) Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана», Москва, Россия; доцент каф. эпидемиологии и дезинфектологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования», Москва, Россия
e-mail: komarov.volodya@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1715-3199>

Вклад авторов: Байжуманов А.А. — сбор материала, обработка данных, написание текста; Абрашитов Г.Н. — сбор материала, обработка данных; Хиразова Е.Э. — редактирование; Комаров В.Ю. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Information about the authors

Adil A. Baizhumanov – Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Department of biophysics, Faculty of Biology, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
e-mail: adilbayzhumanov@biophys.msu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9737-4516>

Gleb N. Abrashitov – student, Department of human and animal physiology, Faculty of biology, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
e-mail: glebneurobiophys@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8246-8222>

Elizaveta E. Khirazova – Cand. Sci. (Biol.), leading researcher, Deratisation department (with a rodent research laboratory), Disinfectology Institute, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia
e-mail: khirazova.ee@fncg.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8860-4652>

Vladimir Yu. Komarov – Cand. Sci. (Veterinary), Associate Professor, Head, Deratisation department (with a rodent research laboratory), Disinfectology Institute, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia; Associate Professor, Department of epidemiology and disinfectology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia
e-mail: komarov.volodya@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1715-3199>

Contribution: *Baizhumanov A.A.* – collection of materials; data processing, writing the text; *Abrashitov G.N.* – collection of materials; data processing; *Khirazova E.E.* – editing; *Komarov V.Yu.* – editing. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.47470/dez017>
© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2026

Эффект прерывистого голодания на вариабельность сердечного ритма самцов крыс линии Wistar

Манченко Д.М.¹, Глазова Н.Ю.¹ Хиразова Е.Э.², Комаров В.Ю.^{2,3}

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия

² Институт дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 125993, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В естественной среде обитания грызуны не имеют постоянного доступа к корму, поэтому постоянно находятся в его поиске. Такие условия являются аналогом режима питания, известного как «прерывистое голодание». Изучение работы сердца и параметров электрокардиограммы в условиях ограничения доступа к пище позволит изучить особенности функционирования вегетативной нервной системы крыс в условиях, приближенных к естественным.

Материалы и методы. При выполнении работы использовали модель прерывистого голодания: животные опытной группы ($n = 7$) получали доступ к корму на один час в течение 4 сут ежедневно, а контрольные животные ($n = 7$) находились в условиях *ad libitum*. После окончания периода прерывистого голодания проводили регистрацию ЭКГ для расчёта показателей вариабельности сердечного ритма в течение трёх минут с целью анализа состояния симпатического и парасимпатического контуров вегетативной регуляции работы сердца.

Результаты. Статистический анализ выявил через сутки после окончания периода прерывистого голодания у самцов крыс линии Wistar падение амплитуды моды и индекса SI и рост стандартного отклонения массива RR-интервалов и индекса RMSSD. Одновременное изменение данных показателей свидетельствует об ослаблении контура симпатической регуляции работы сердца и активации парасимпатического контура.

Ограничения исследования. Исследования направлены на изучение висцеральных функций и поведенческих реакций грызунов при изменении режима питания и представляют интерес для специалистов, занимающихся дератизационной деятельностью.

Заключение. Прерывистое голодание в течение 4 сут при кормлении крыс днём приводит к изменению баланса вегетативной регуляции работы сердца в сторону усиления тонических парасимпатических влияний.

Ключевые слова: сердце; вариабельность сердечного ритма; вегетативная регуляция; вегетативная нервная система

Этическое утверждение. Исследование одобрено Этическим комитетом (подкомитетом) Института дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (протокол № 2¹ от 06.05.2025), проведено в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123), директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для корреспонденции: Манченко Дарья Михайловна, e-mail: manchenkodm@my.msu.ru

Для цитирования: Манченко Д.М., Глазова Н.Ю., Хиразова Е.Э., Комаров В.Ю. Эффект прерывистого голодания на вариабельность сердечного ритма самцов крыс линии Wistar. *Дезинфектология*. 2026; 2(2): 77–83. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez017>. EDN: <https://elibrary.ru/SSRRCI>

Поступила: 09.02.2026 / Принята к печати: 22.07.2026 / Опубликовано: 10.08.2026

Original Article
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez017>
© AUTHORS, 2026

Effects of Intermittent Fasting on Heart Rate Variability in Male Wistar Rats

Daria M. Manchenko¹, Nataliya Yu. Glazova¹, Elizaveta E. Khirazova², Vladimir Yu. Komarov^{2,3}

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

² Disinfectology Institute of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia;

³ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. In the wild, rodents do not have constant access to food and are forced to constantly search for it. These conditions are analogous to a feeding regimen known as "intermittent fasting". Studying cardiac function and electrocardiogram parameters under conditions of limited food access will allow us to investigate the features of autonomic nervous system functioning in rats under near-natural conditions

Materials and Methods. The study used an intermittent fasting model, in which animals in the experimental group ($n=7$) were given access to food for one hour daily for 4 days, while control animals ($n=7$) were kept *ad libitum*. After the end of the intermittent fasting period, ECG recording was performed to calculate heart rate variability indicators for 3 minutes in order to analyze the state of the sympathetic and parasympathetic circuits of the autonomic regulation of the heart.

Results. Statistical analysis revealed a decrease in AMO and SI parameters and an increase in SD and RMSSD parameters in male Wistar rats 24 hours after the end of intermittent fasting. This simultaneous change in these parameters indicates a weakening of the sympathetic regulation of cardiac function and activation of the parasympathetic circuit.

Study limitations. The study aims to elucidate the visceral functions and behavioral responses of rodents when changing their diet and is of interest to pest control specialists.

Conclusion. Intermittent fasting for 4 days with feeding during the day in rats leads to an increase in tonic parasympathetic influences on the functioning of the heart.

Keywords: heart, heart rate variability, autonomic regulation, autonomic nervous system.

Ethics approval. The study was approved by the Ethics Committee of the Disinfectology Institute of "FSCH named after F.F. Erisman" of Rospotrebnadzor" (№. 2¹, 06.05.2025), conducted in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS N 123), the Directive of the European Parliament and the Council of the European Union.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: Daria M. Manchenko, e-mail: manchenkodm@my.msu.ru

For citation: Manchenko D.M., Glazova N.Yu., Khirazova E.E., Komarov V.Yu. Effects of intermittent fasting on heart rate variability in male Wistar rats. *Disinfectology*. 2026; 2(2): 77–83.

DOI: <https://doi.org/10.47470/dez017>. EDN: <https://elibrary.ru/SSRRCI>

Received: 09.02.2026 / Accepted: 22.07.2026 / Published: 10.08.2026

ВВЕДЕНИЕ

Грызуны, в том числе крысы, являются резервуарами различных инфекционных болезней, прокормителями переносчиков трансмиссивных инфекций, а также негативно воздействуют на жизнь и благополучие человека, повреждая различные материалы в домах и на придомовых территориях, поедая продукты питания, корма домашних и сельскохозяйственных животных [1–3]. В связи с этим задачи дератизации никогда не теряли своей

актуальности, а в контексте распространения устойчивости грызунов к определённым группам родентицидных средств борьба с грызунами становится более напряжённой [4]. Изучение физиологических и биохимических характеристик животных в условиях, приближенных к их естественной среде, поможет в поиске новых родентицидных средств, так как позволит выявить мишени их действия. В естественной среде обитания грызуны не имеют постоянного доступа к корму и вынуждены постоянно нахо-

даться в его поиске. Фактически такие условия являются аналогом режима питания, известного как «прерывистое голодание» (в англоязычной литературе – *intermittent fasting*) [5]. Изучение работы сердца и параметров электрокардиограммы крыс при ограниченном доступе к корму позволит изучить особенности функционирования их вегетативной нервной системы в условиях, приближенных к естественным. Такие знания могут способствовать улучшению стратегий контроля популяции крыс, повышению эффективности дератизационных мероприятий и снижению риска распространения инфекций.

В литературе встречается много работ, посвящённых исследованию эффектов прерывистого голодания, но они преимущественно касаются исследований на животных с избыточной массой тела или на моделях ожирения [6–8], что не отражает ситуации в дикой природе. Исследования, касающиеся деятельности сердечно-сосудистой системы на фоне прерывистого голодания, в основном посвящены возможным защитным эффектам такой диеты и включают в себя исследования на патологических моделях [9–13]. Кроме того, практически не проводились исследования вариабельности сердечного ритма и баланса вегетативной регуляции работы сердца у здоровых животных на фоне прерывистого голодания.

Целью нашей работы было выявление возможных эффектов прерывистого голодания на параметры, отражающие вариабельность сердечного ритма у здоровых половозрелых животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментов использовали самцов крыс линии Wistar ($n = 14$) средней массой 250 г. Животных содержали в виварии с поддержанием двенадцатичасового светового дня. Перед началом эксперимента проводили адаптацию животных к одиночным клеткам в течение 4 сут. При выполнении работы использовали модель прерывистого голодания, при котором животные опытной группы ($n = 7$) получали доступ к корму на один час (с 13:00 до 14:00) в течение 4 сут ежедневно, контрольные животные всё время исследования находились в условиях *ad libitum*. После окончания периода прерывистого голодания однократно у животных проводили регистрацию ЭКГ для расчёта показателей вариабельности сердечного ритма в затемнённом помещении с шумовой завесой в течение трёх минут (рисунок). ЭКГ регистрировали с помощью накожных одноразовых хлор-

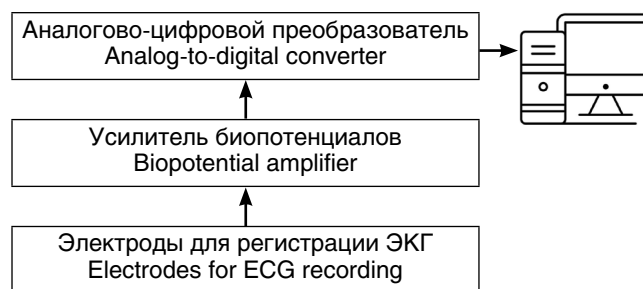


Схема установки для регистрации ЭКГ.
The setup for ECG recording.

серебряных электродов. Электроды закрепляли на обеих вентролатеральных поверхностях грудной клетки с помощью специализированной шлейки оригинальной конструкции.

Для анализа баланса работы парасимпатического и симпатического контуров вегетативной нервной системы использовали показатели вариабельности сердечного ритма, рассчитанные по *RR*-интервалам ЭКГ¹ (табл. 1).

Для статистической обработки использовали пакет программ Statistica 13 (StatSoft) с применением *U*-критерия Вилкоксона – Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ вариабельности сердечного ритма выявил изменение таких показателей, как амплитуда моды, стандартное отклонение массива *RR*-интервалов, индексов *RMSSD* и *SI* (табл. 2).

Статистический анализ выявил через сутки после окончания периода прерывистого голодания у самцов крыс линии Wistar падение параметров *AMo* и *SI* и рост показателей *SD* и *RMSSD*. Такое одновременное изменение данных показателей свидетельствует об ослаблении контура симпатической регуляции работы сердца и активации парасимпатического контура. В литературе встречаются данные о влиянии протокола прерывистого голодания на сердечно-сосудистую систему, опосредованно подтверждающие влияние прерывистого голодания на вегетативную регуляцию работы сердца [14]. В том числе на крысах линии Sprague Dawley было показано, что в модели монокроталиновой артериальной гипертензии прерывистое голодание уменьшает гипертрофию миокарда и поддерживает функцию правого желудочка [15].

¹ Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.; 1979. 298 с.

Таблица 1. Физиологическая интерпретация показателей ЭКГ**Table 1.** Physiological interpretation of ECG parameters

Показатель Parameter	Физиологическая интерпретация Physiological interpretation
Амплитуда моды Mode amplitude	Характеристика влияний вышележащих отделов ЦНС на вегетативную реакцию сердца. Увеличение данного показателя свидетельствует о росте вклада центрального контура регуляции при стрессе и включении механизмов адаптации, то есть о повышении активности симпатического звена регуляции. Снижение данного показателя свидетельствует о рефлекторной активации парасимпатического звена вегетативной регуляции. Characteristic of the influence of higher-level CNS regions on the autonomic response of the heart. An increase in this parameter indicates an increased contribution of the central regulatory circuit during stress and the activation of adaptive mechanisms, i.e., increased sympathetic activity. A decrease in this parameter indicates reflex activation of the parasympathetic component of autonomic regulation.
Стандартное отклонение массива <i>RR</i> -интервалов Standard deviation of the RR interval array	Суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения; при анализе коротких записей этот показатель обычно интерпретируют как усиление влияния дыхания на ритм сердца. Уменьшение SD обычно связывают с усилением активности симпатического звена регуляции, а его увеличение — с активацией парасимпатического звена регуляции. The overall effect of autonomic regulation of blood circulation; when analyzing short recordings, this parameter is usually interpreted as an increased influence of respiration on heart rhythm. A decrease in SD is usually associated with increased sympathetic activity, while an increase is associated with activation of the parasympathetic system.
Вариабельность ритма Heart rate variability	Показатель вегетативной регуляции ритма сердца, связанный с дыхательной аритмией. Его увеличение косвенно свидетельствует о рефлекторной активации парасимпатического звена вегетативной регуляции. Кроме того, его рост может быть признаком аритмий. Indicator of autonomic regulation of heart rhythm associated with respiratory arrhythmia. Its increase indirectly indicates reflex activation of the parasympathetic system of autonomic regulation. Furthermore, its increase may be a sign of arrhythmia.
Индекс RMSSD RMSSD Index	Отражает активность парасимпатического звена вегетативной регуляции. Reflects the activity of the parasympathetic system of autonomic regulation.
Индекс SI SI Index	Индекс напряжения регуляторных систем отражает активность симпатического контура регуляции. Regulatory system stress Index, reflects the activity of the sympathetic system of regulation.

Таблица 2. Эффекты прерывистого голодания на показатели вариабельности сердечного ритма (среднее $\pm$ стандартное отклонение)**Table 2.** Effects of intermittent fasting on heart rate variability indices (mean $\pm$ standard deviation)

Показатель Parameter	Контроль Control ($n = 7$)	Опыт Experiment ($n = 7$)
Амплитуда моды Mode amplitude	18,1 $\pm$ 4,8	12,5 $\pm$ 3,2*
Стандартное отклонение массива <i>RR</i> -интервалов Standard deviation of the RR interval array	3,2 $\pm$ 1,0	4,6 $\pm$ 1,2*
Вариабельность ритма Heart rate variability	28,9 $\pm$ 12,8	36,7 $\pm$ 8,7
Индекс RMSSD RMSSD Index	3,1 $\pm$ 1,5	4,9 $\pm$ 1,4*
Индекс SI SI Index	3,2 $\pm$ 2,0	1,4 $\pm$ 0,7*

Примечание. * — статистически значимые отличия между группами ($p < 0,05$; Mann – Whitney U test).**Note.** * — statistically significant differences between groups ($p < 0.05$; Mann – Whitney U test).

Таким образом, прерывистое голодание в течение 4 сут при кормлении крыс днём приводит к изменению нервной регуляции сердца — к усилению тонических парасимпатических влияний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пруцаков С.В., Меньшенин В.В., Кружнов Н.Н., Скориков А.В., Болоцкий И.А. Ретроспективный анализ распространения лептоспироза сельскохозяйственных животных в южном регионе России. *Ветеринария и кормление*. 2019; (2): 11–4. DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-2-4> EDN: <https://elibrary.ru/pzkvch>
2. Тимошков В.В., Маненкова Г.М., Родина Л.В. Процессы урбанизации и их влияние на природные очаги туляремии и лептоспирозов в Москве. *Дезинфекционное дело*. 2003; (3): 15–8. EDN: <https://elibrary.ru/jwzgmmp>
3. Ткаченко Е.А., Бернштейн А.Д., Дзагурова Т.К., Морозов В.Г., Слонова Р.А., Иванов Л.И. и др. Актуальные проблемы геморрагической лихорадки с почечным синдромом. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2013; 90(1): 51–8. EDN: <https://elibrary.ru/qayeov>
4. Комаров В.Ю., Мальцев А.Н. Формирование механизмов устойчивости у синантропных грызунов к родентицидам. *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2024; (4): 506–15. EDN: <https://elibrary.ru/jmfztz>
5. Mishra A., Sobha D., Patel D., Suresh S. Intermittent fasting in health and disease. *Arch. Physiol. Biochem.* 2024; 130(6): 755–67. DOI: <https://doi.org/10.1080/13813455.2023.2268301>
6. Ebrahim H.A., El-Gamal R., Sherif R.N. Intermittent fasting attenuates high-fat diet-induced cerebellar changes in rats: involvement of TNF- α , autophagy, and oxidative stress. *Cells Tissues Organs*. 2021; 210(5-6): 351–67. DOI: <https://doi.org/10.1159/000519088> EDN: <https://elibrary.ru/hydmpu>
7. Niepoetter P., Butts-Wilmsmeyer C., Gopalan C. Intermittent fasting and mental and physical fatigue in obese and non-obese rats. *PLoS One*. 2022; 17(11): e0275684. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275684> EDN: <https://elibrary.ru/bccsim>
8. de Souza D.M., Cavalcante H.C., Dos Santos Lima M., Alves A.F., da Veiga Dutra M.L., D'Oliveira A.B., et al. Intermittent fasting associated with coconut oil (*Cocos nucifera* L.) alters gut-liver axis parameters in diet-induced obese rats. *Nutrition*. 2024; 121: 112370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2024.112370>
9. Ahmet I., Wan R., Mattson M.P., Lakatta E.G., Talan M. Cardioprotection by intermittent fasting in rats. *Circulation*. 2005; 112(20): 3115–21. DOI: <https://doi.org/10.1161/circulationaha.105.563817> EDN: <https://elibrary.ru/mhtsdz>
10. Wan R., Ahmet I., Brown M., Cheng A., Kamimura N., Talan M., et al. Cardioprotective effect of intermittent fasting is associated with an elevation of adiponectin levels in rats. *J. Nutr. Biochem.* 2010; 21(5): 413–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.01.020>
11. El Agaty S.M., Nassef N.A., Abou-Bakr D.A., Hanafy A.A. Chronic activation of cardiac Atg-5 and pancreatic Atg-7 by intermittent fasting alleviates acute myocardial infarction in old rats. *Egypt. Heart J.* 2022; 74(1): 31. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43044-022-00268-8> EDN: <https://elibrary.ru/xnkpyo>
12. Shao Y., Xu S., Ma Y., Zhang J., Guo X., Zhang T., et al. The proteomic analysis of intermittent fasting alone or with GLP-1RA in NAFLD rats. *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* 2025; 18: 4073–83. DOI: <https://doi.org/10.2147/dmso.s550262> EDN: <https://elibrary.ru/qlzwc>
13. Yun F., Han X., Wang Z., Gao Q., Xu M., Liu H., et al. Intermittent fasting ameliorates resistant hypertension through modulation of gut microbiota. *Pharmacol. Res.* 2025; 219: 107864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2025.107864> EDN: <https://elibrary.ru/dwostb>
14. Mager D.E., Wan R., Brown M., Cheng A., Warecki P., Abernethy D.R., et al. Caloric restriction and intermittent fasting alter spectral measures of heart rate and blood pressure variability in rats. *FASEB J.* 2006; 20(6): 631–7. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.05-5263com>
15. Prisco S.Z., Eklund M., Moutsoglou D.M., Prisco A.R., Khoruts A., Weir E.K., et al. Intermittent fasting enhances right ventricular function in pre-clinical pulmonary arterial hypertension. *J. Am. Heart Assoc.* 2021; 10(22): e022722. DOI: <https://doi.org/10.1161/jaha.121.022722> EDN: <https://elibrary.ru/dnwchd>

REFERENCES

1. Prutsakov S.V., Menshenin V.V., Kruzhnov N.N., Skorikov A.V., Bolotsky I.A. Retrospective analyse of the spread leptospirosis of farm animals in the southern region of Russia. *Veterinariya i kormlenie*. 2019; (2): 11–4. DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-2-4> EDN: <https://elibrary.ru/pzkvch> (In Russ.)
2. Timoshkov V.V., Manenkova G.M., Rodina L.V. Urbanization process and its influence upon tularemia and leptospirosis natural sources in Moscow. *Dezinfektsionnoe delo*. 2003; (3): 15–8. EDN: <https://elibrary.ru/jwzgmmp> (In Russ.)
3. Tkachenko E.A., Bernshtein A.D., Dzagurova T.K., Morozov V.G., Slonova R.A., Ivanov L.I., et al. Actual problems of hemorrhagic fever with renal syndrome. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 2013; 90(1): 51–8. EDN: <https://elibrary.ru/qayeov> (In Russ.)
4. Komarov V.Yu., Maltsev A.N. Formation of resistance mechanisms of synanthropic rodents to rodenticides. *Rossiiskii zhurnal «Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii»*. 2024; (4): 506–15. EDN: <https://elibrary.ru/jmfztz> (In Russ.)
5. Mishra A., Sobha D., Patel D., Suresh S. Intermittent fasting in health and disease. *Arch. Physiol. Biochem.* 2024; 130(6): 755–67. DOI: <https://doi.org/10.1080/13813455.2023.2268301>

6. Ebrahim H.A., El-Gamal R., Sherif R.N. Intermittent fasting attenuates high-fat diet-induced cerebellar changes in rats: involvement of TNF- α , autophagy, and oxidative stress. *Cells Tissues Organs*. 2021; 210(5-6): 351–67.
DOI: <https://doi.org/10.1159/000519088>
EDN: <https://elibrary.ru/hydmpu>
7. Niepoetter P., Butts-Wilmsmeyer C., Gopalan C. Intermittent fasting and mental and physical fatigue in obese and non-obese rats. *PLoS One*. 2022; 17(11): e0275684.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275684>
EDN: <https://elibrary.ru/bcssim>
8. de Souza D.M., Cavalcante H.C., Dos Santos Lima M., Alves A.F., da Veiga Dutra M.L., D'Oliveira A.B., et al. Intermittent fasting associated with coconut oil (*Cocos nucifera* L.) alters gut-liver axis parameters in diet-induced obese rats. *Nutrition*. 2024; 121: 112370.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2024.112370>
9. Ahmet I., Wan R., Mattson M.P., Lakatta E.G., Talan M. Cardioprotection by intermittent fasting in rats. *Circulation*. 2005; 112(20): 3115–21. DOI: <https://doi.org/10.1161/circulationaha.105.563817>
EDN: <https://elibrary.ru/mhtsdz>
10. Wan R., Ahmet I., Brown M., Cheng A., Kamimura N., Talan M., et al. Cardioprotective effect of intermittent fasting is associated with an elevation of adiponectin levels in rats. *J. Nutr. Biochem*. 2010; 21(5): 413–7.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.01.020>
11. El Agaty S.M., Nassef N.A., Abou-Bakr D.A., Hanafy A.A. Chronic activation of cardiac Atg-5 and pancreatic Atg-7 by intermittent fasting alleviates acute myocardial infarction in old rats. *Egypt. Heart J*. 2022; 74(1): 31.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s43044-022-00268-8>
EDN: <https://elibrary.ru/xnkpyo>
12. Shao Y., Xu S., Ma Y., Zhang J., Guo X., Zhang T., et al. The proteomic analysis of intermittent fasting alone or with GLP-1RA in NAFLD rats. *Diabetes Metab. Syndr. Obes*. 2025; 18: 4073–83.
DOI: <https://doi.org/10.2147/dmso.s550262>
EDN: <https://elibrary.ru/qulzwc>
13. Yun F., Han X., Wang Z., Gao Q., Xu M., Liu H., et al. Intermittent fasting ameliorates resistant hypertension through modulation of gut microbiota. *Pharmacol. Res*. 2025; 219: 107864.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2025.107864>
EDN: <https://elibrary.ru/dwostb>
14. Mager D.E., Wan R., Brown M., Cheng A., Warecki P., Abernethy D.R., et al. Caloric restriction and intermittent fasting alter spectral measures of heart rate and blood pressure variability in rats. *FASEB J*. 2006; 20(6): 631–7.
DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.05-5263com>
15. Prisco S.Z., Eklund M., Moutsoglou D.M., Prisco A.R., Khoruts A., Weir E.K., et al. Intermittent fasting enhances right ventricular function in pre-clinical pulmonary arterial hypertension. *J. Am. Heart Assoc*. 2021; 10(22): e022722.
DOI: <https://doi.org/10.1161/jaha.121.022722>
EDN: <https://elibrary.ru/dnwchd>

Сведения об авторах

Манченко Дарья Михайловна — канд. биол. наук, доцент лаб. общей физиологии и регуляторных пептидов кафедры физиологии человека и животных Биологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия

e-mail: dashishka@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7886-1885>

Глазова Наталия Юрьевна — канд. биол. наук, н. с. лаб. защитных систем крови имени проф. Б.А. Кудряшова кафедры физиологии человека и животных Биологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия

e-mail: tusy-g@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3230-7950>

Хиразова Елизавета Эдуардовна — канд. биол. наук, вед. науч. сотр. Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия

e-mail: khirazova.ee@fncg.ru

<https://orcid.org/0009-0002-8860-4652>

Комаров Владимир Юрьевич — канд. вет. наук, доцент, зав. отделом дератизации (с лабораторией изучения грызунов) Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия; доцент кафедры эпидемиологии и дезинфектологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования», Москва, Россия

e-mail: komarov.volodya@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1715-3199>

Вклад авторов: Манченко Д.М. — сбор материала, обработка данных, написание текста; Глазова Н.Ю. — сбор материала, обработка данных; Хиразова Е.Э. — редактирование; Комаров В.Ю. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Information about the authors

Daria M. Manchenko — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Laboratory of general physiology and regulatory peptides, Department of human and animal physiology, Faculty of biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: dashishka@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7886-1885>

Nataliya Yu. Glazova — Cand. Sci. (Biol.), researcher, Laboratory of protective blood systems named after prof. B.A. Kudryashov, Department of human and animal physiology, Faculty of biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: tusy-g@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3230-7950>

Elizaveta E. Khirazova — Cand. Sci. (Biol.), leading researcher, Deratisation department (with a rodent re-

search laboratory), Disinfectology Institute, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia
e-mail: khirazova.ee@fncg.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8860-4652>

Vladimir Yu. Komarov — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head, Deratisation department (with a rodent research laboratory), Disinfectology Institute, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia; Associate Professor, Department of epidemiology and disinfectology, Russian Medical

Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia
e-mail: komarov.volodya@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1715-3199>

Contribution: *Manchenko D.M.* — collection of materials; data processing, writing the text; *Glazova N.Yu.* — collection of materials; data processing; *Khirazova E.E.* — editing; *Komarov V.Yu.* — editing. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.47470/dez020>
© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2026

Сравнение воздействия серой крысы и домового мыши на звукоизоляционно-утеплительные материалы и электрические кабели

Геворкян И.С.¹, Козлов А.А.², Курашова Д.И.², Ситникова А.И.²

¹ Институт дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия;

² ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (Росбиотех)», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Биоповреждаемость и биоповреждения строительных материалов грызунами — серьёзная экономическая проблема, которая обуславливает научно-практические задачи обеспечение защиты сырья, материалов и прочих изделий от повреждения грызунами при хранении, производстве, транспортировке и эксплуатации.

Материалы и методы. Проведены сравнительные исследования воздействия особей серой крысы (*Rattus norvegicus* Berk., 1769) и домового мыши (*Mus musculus* L., 1758) на звукоизоляционные и утеплительные материалы и электрокабели при одиночном и групповом содержании.

Результаты. Установлены различия воздействия серой крысы и домового мыши на утеплительные и звукоизоляционные материалы и электрокабели. Эти различия заключаются в способе воздействия грызунов на данные материалы. Домовая мышь проявила больший интерес к утеплительным и звукоизоляционным материалам, преимущественно используя их как строительный материал для гнезда, а серая крыса — к электрокабелям.

Обсуждение. Выявлены различия воздействия серых крыс и домовых мышей на звукоизоляционно-утеплительные материалы и электрокабели. Проведенные исследования показали, что в поведение домового мыши и серой крысы существенно различаются. Крысы использовали утеплительные и звукоизоляционные материалы в качестве подстилки для отдыха, а мыши — как строительный материал для гнезда. Повреждения электрокабелям крысы наносили активнее и масштабнее по сравнению с мышами.

Ограничения исследования. Исследования направлены на сравнительный анализ воздействия грызунов на утеплительные и звукоизоляционные материалы и электрокабели и представляют интерес для специалистов в области дезинфекционной деятельности, борьбы с грызунами и других сфер, в которых существует непосредственный контакт с грызунами.

Заключение. Поиск и изучение новых материалов, позволяющих противостоять повреждающей способности грызунов, — важное направление обеспечения долговечности и безопасности строительных, промышленных и сельскохозяйственных объектов в условиях усиления воздействия грызунов.

Ключевые слова: биоповреждения; грызуны; серые крысы; домовые мыши; утеплительные материалы; электрокабели

Этическое утверждение. Исследование одобрено Этическим комитетом (подкомитетом) Института дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (протокол № 2¹ от 06.05.2025), проведено в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123), директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для корреспонденции: Геворкян Ирина Сергеевна, e-mail: gevorkyan.is@fncg.ru

Для цитирования: Геворкян И.С., Козлов А.А., Курашова Д.И., Ситникова А.И. Сравнение воздействия серой крысы и домового мыши на звукоизоляционно-утеплительные материалы и электрические кабели. *Дезинфектология*. 2026; 2(2): 84–93. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez020>
EDN: <https://elibrary.ru/NXQUFN>

Поступила: 19.05.2025 / Принята к печати: 06.07.2025 / Опубликовано: 10.08.2026

Original Article
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez020>
© AUTHORS, 2026

Comparison of the Effects of Brown Rats and House Mice on Soundproofing and Insulation Materials and Electrical Cables

Irina S. Gevorkyan¹, Aleksandr A. Kozlov², Daria I. Kurashova², Anastasia I. Sitnikova²

¹ Disinfectology Institute, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia;

² Russian Biotechnological University, Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. The problem of biodegradability and biodamage of building materials by rodents is a global economic problem and includes a large number of scientific and practical tasks related to ensuring the protection of raw materials, materials and other products from damage by rodents both during storage and during production, as well as during transportation and operation.

Materials and methods. Comparative studies were conducted on the impact of brown rats (*Rattus norvegicus* Berk., 1769) and house mice (*Mus musculus* L., 1758) on soundproofing and insulation materials and electrical cables in conditions of single and group housing.

Results. Differences in the effects of brown rats and house mice on insulating and soundproofing materials and electrical cables were identified. These differences lie in the way the rodents interact with these materials. House mice showed greater interest in insulating and soundproofing materials, primarily using them as nesting material, while brown rats preferred electrical cables.

Discussion. Differences in the effects of brown rats and house mice on soundproofing and insulation materials and electrical cables were identified. The study revealed significant behavioral differences between house mice and brown rats. Rats used insulation and soundproofing materials as bedding, while mice used them as nesting material. Rats caused more extensive and active damage to electrical cables than mice.

Limitations of the study. The research is aimed at a comparative analysis of the impact of rodents on insulating and soundproofing materials and electrical cables and is of interest to specialists in the field of disinfection, rodent control and other areas in which there is direct contact with rodents.

Conclusion. The search for and study of new materials that can withstand the damaging effects of rodents is an important area for ensuring the durability and safety of construction, industrial, and agricultural facilities in the face of increasing rodent pressure.

Keywords: *biodamage; rodents; brown rats; house mice; insulation materials; electrical cables*

Ethics approval. The study was approved by the Ethics Committee of the Disinfectology Institute of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman (protocol No. 2¹, 06.05.2025), conducted in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS N 123), the Directive of the European Parliament and the Council of the European Union.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: Irina S. Gevorkyan, e-mail: gevorkyan.is@fncg.ru

For citation: Gevorkyan I.S., Kozlov A.F., Kurashova D.I., Sitnikova A.I. Comparison of the effects of brown rats and house mice on soundproofing and insulation materials and electrical cables. *Disinfectology*. 2026; 2(2): 84–93. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez020> EDN: <https://elibrary.ru/NXQFVN>

Received: 19.05.2025 / Accepted: 06.07.2025 / Published: 10.08.2026

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении веков грызуны неотступно следуют за человеком. Самые распространённые виды, наносящие ущерб людям, — серая крыса (*Rattus norvegicus* Berk, 1769) и домовая мышь (*Mus musculus* L., 1758) [1–6]. Эти виды проживают в разных экологических условиях, но в непосредственной близости к человеку.

Синантропные виды грызунов наносят серьёзный экономический ущерб, поедая продовольственные запасы, повреждая здания и сооружения, коммуникационные системы [7–10]. Одна серая крыса способна за год съесть до 20–24 кг различных продуктов [11, 12]. Грызуны портят постройки (повреждают стены, полы, перекрытия, перегородки и др.), гидро-

технические сооружения, грызут и нарушают изоляцию электрических, телефонных кабелей и электрооборудования, что приводит к замыканиям в электроприборах, электросетях, на транспорте, к авариям, нарушению связи, движения поездов, пожарам, и, как следствие, к несчастным случаям и гибели людей [12, 13].

Цель работы — провести сравнительный анализ воздействия особей серой крысы и домовый мыши на материалы, применяемые в строительстве зданий и при прокладке коммуникационных систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования позволяют глубже понять поведение грызунов в отношении строительных материалов. В работе использованы методы изучения повреждаемости утеплительных материалов и электрокабелей грызунами в соответствии с ГОСТ Р 9.804–2006¹.

Исследования проводили на особях серой крысы (*Rattus norvegicus*) ($n = 20$) и особях домовый мыши (*Mus musculus*) ($n = 20$).

При групповом содержании грызунов группы формировались по 5 особей одного пола: группа из 5 самок и группа из 5 самцов. При одиночном содержании животных размещали раздельно. Перед началом исследования всех животных помечали и рассаживали по клеткам. В качестве подстила и альтернативного гнездового материала использовали крафт-бумагу. Домовым мышам дополнительно помещали в качестве укрытия картонные трубки. После помещения грызунов в клетки их оставляли на сутки для адаптации. По окончании периода адаптации в клетки к животным помещали образцы исследуемых материалов.

В качестве материалов для исследования были выбраны:

1. Утепляющий материал — минеральная вата в виде слабо уплотнённой массы тонких, спутанных между собой волокон, получаемых из минеральных расплавов. По текстуре материал похож на лёгкую, чуть жестковатую вату из тонких волокон. Плотность данного образца 11 кг/м³.

2. Звукоизоляционный материал — звукопоглощающие плиты из каменной ваты, в состав которых входит не менее 15% вторичного сырья. Плотность данного образца 37 кг/м³.

3. Трёхжильный многопроволочный кабель белого цвета (сечение $3 \times 2,5$ мм²). Кабель типа ПВС $3 \times 2,5$ (П — провод, В — виниловый, С — соединительный) — соединительный провод, предназначенный для присоединения электрических приборов к электрической сети. Провод выполнен из гибких медных жил, изоляция — из ПВХ (поливинилхлорид).

4. Трёхжильный многопроволочный кабель черного цвета (сечение $3 \times 2,5$ мм²). Кабель типа КГТП (КГ — медный гибкий кабель, ТП — материал изоляции жил и внешней оболочки, термопласт со специальными свойствами). Это трёхжильный силовой огнестойкий кабель, состоящий из медной жилы, изоляции из ПВХ и оболочки из поливинилхлорида — пластика пониженной горючести. Материалы, из которых сделан кабель, обеспечивают его низкую токсичность при горении, способствуют пониженному выделению газа и дыма, а также не дают распространяться горению.

Метод изучения повреждаемости утеплительных и звукоизоляционных материалов при использовании их грызунами в качестве гнездового материала

В статье представлен метод, модифицированный на основе метода 1 (испытания в клетках) и метода 2 (испытания в вольерах) ГОСТ Р 9.804–2006. Метод 1 ГОСТ Р 9.804–2006 основан на оценке повреждений при воздействии голодных грызунов на образцы материалов в виде пластин и фрагментов изделий, используемых в клетках как преграды на пути к пище. Метод 2 отличается от метода 1 размером вольера, количеством животных и способом закрепления испытуемого образца. Образец по методу 2 закрепляется в специальном устройстве в виде трубы как перегородка, преграждающая путь. В обоих методах не описывается воздействие грызунов на материалы при использовании их для устройства гнезда. Поэтому был разработан метод изучения воздействия грызунов на утеплительные и звукоизоляционные материалы при использовании их для устройства гнезда. В данном методе были изменены период экспозиции и размещение образца материала. Образец не закрепляли как преграду, а размещали внутри клетки. Корм и вода были в свободном доступе.

Грызунам предлагали образцы минеральной ваты и звукоизоляционного материала размером 20×20 см. Наблюдения за животными вели ежедневно в течение 3 сут, после чего

¹ ГОСТ Р 9.804–2006. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия и материалы. Методы лабораторных испытаний на стойкость к повреждению грызунами. М.; 2007. С. 16.

проводили учёт повреждений образцов, помещённых в клетки. За этот период животные успевают обследовать материал, воздействуя на него.

Метод изучения повреждаемости электрокабелей

Данный метод также основан на методе 1 (испытания в клетках). В данном исследовании в клетки грызунов помещали кабель, имитируя бытовую ситуацию. Таким образом, животным не требовалось принудительно прогрызать проход через кабель, чтобы пройти к корму.

Грызунам предлагали образцы исследуемого кабеля длиной по 20 см. Мониторинг вели ежедневно, регистрируя наносимые животными повреждения. Было установлено, что значительные повреждения образцам серые крысы наносили за 1-е сутки, поэтому учёт повреждений производили через сутки после размещения образца.

Оценку повреждений при использовании каждого метода проводили визуально. При этом учитывали не только повреждения образцов, но и их загрязнённость. Из этих параметров состоит общая повреждаемость образца. Результаты испытаний оценивали по пятибалльной шкале (от 0 до 4 баллов) в соответствии с ГОСТ Р 9.804–2006:

- 0 – образец не повреждён;
- 1 – на покрытии или поверхности образца имеются лишь царапины от зубов или когтей;
- 2 – повреждены покрытие или поверхность (край) образца – до 50%;
- 3 – образец значительно повреждён – до 90%;
- 4 – образец прогрызен насквозь, покрытие повреждено полностью.

Загрязнённость образца оценивали визуально: наличие мочи, фекалий, различного мусора.

Все эксперименты были проведены в 3 повторностях. Результаты фиксировали при помощи фотокамеры, данные обрабатывали в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ использования грызунами образцов утеплительных и звукоизоляционных материалов для строительства гнезда

Результат воздействия грызунов на исследуемые образцы был хорошо виден по прошествии 3 сут. В случае одиночного содержания

домовые мыши при наличии альтернативного строительного материала (крафт-бумага и картонные трубки) предпочитали использовать минеральную вату для строительства гнезда. Были два основных варианта постройки гнезда мышами: внутри образца (рис. 1, а) и из рваных частей материала образца (рис. 1, б).

При одиночном содержании мыши в первом случае проделывали отверстие внутрь образца и в образованной камере создавали гнездо, во втором – разбирали образец на части и из них строили гнездо (рис. 2). При этом основной гнезда была картонная трубка, которая заполнялась строительным материалом для утепления и смягчения. Примечательно, что у домовых мышей строительством и устройством гнезда занимаются как самки, так и самцы, независимо от метода содержания².

Максимальные повреждения образца утеплительного материала с полным его разрушением (4 балла), нанесённые домовыми мышами, были выполнены самцами в 60% случаев, самками – в 50% (рис. 3). Повреждения с оценкой в 2 и 3 балла также были значительными.

Повреждения звукоизоляционного материала на уровне трёх и четырёх баллов (не более 20% случаев) наносились как серыми крысами, так и домовыми мышами (рис. 4).

При одиночном содержании серые крысы в отличие от домовых мышей не устраивали гнёзд, предпочитая использовать образцы как место для отдыха, в результате чего образцы были загрязнены продуктами жизнедеятельности животных (рис. 4, б). Максимальные повреждения образцов минеральной ваты (разрушения более 90%) наблюдали в 10% случаев, и наносили их самки серых крыс (рис. 5). Частичное разрушение образцов (2 балла) нанесли в 30% случаев самки, в 20% – самцы. Загрязнению подверглись все образцы.

При групповом содержании крыс на образцах утеплительного материала (минеральной ваты) имелись небольшие зацепы от когтей грызунов (рис. 6). Образцы приходили в негодность, так как животные использовали их как место для сна или лёжки, в результате чего образцы были смяты и сильно запаханы крысами. Звукоизоляционный материал имел больше механических повреждений, нанесённых

² Nest Material Preference of Wild Mouse Species in Laboratory Housing. URL: https://www.academia.edu/85186109/Nest_Material_Preference_of_Wild_Mouse_Species_in_Laboratory_Housing?rhid=38664605183&swp=rr-rw-wc-82517193&nav_from=c079b089-1ff7-4c6c-ae7d-688f572f986a (дата обращения: 21.03.2026).

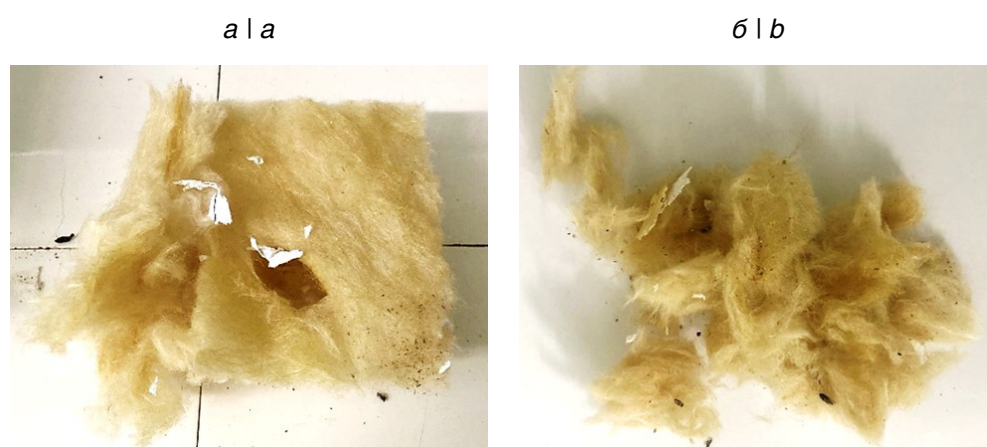


Рис. 1. Гнездо, построенное домовыми мышами при одиночном содержании внутри образца (а), и гнездо, построенное из рваных частей материала образца (б).

Fig. 1. Nest built by house mice kept alone inside the sample (a) and a nest built from torn pieces of sample material (b).

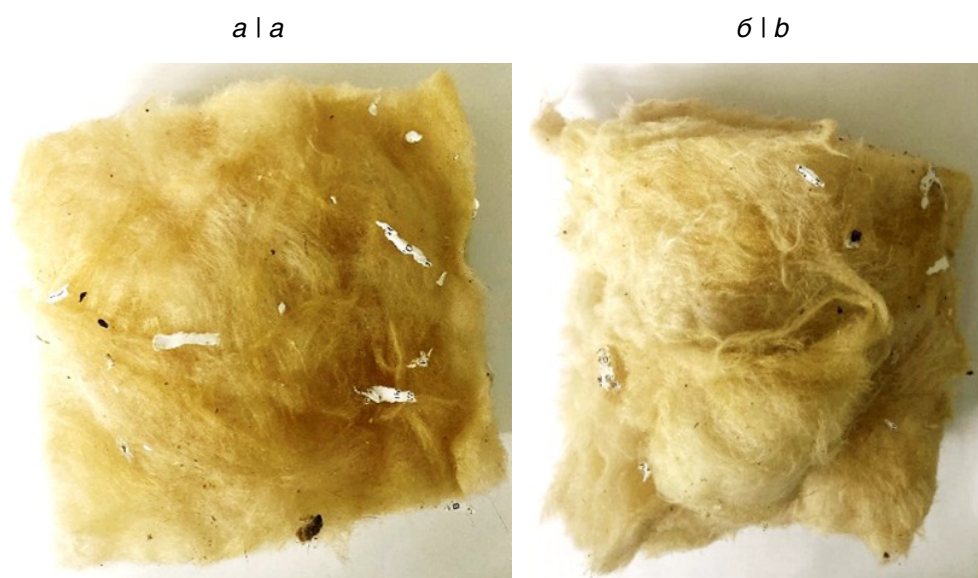


Рис. 2. Повреждения, нанесённые утеплительному материалу серыми крысами при одиночном содержании: самками (а) и самцами (б).

Fig. 2. Damage caused to the insulating material when brown rats were kept alone: females (a) and males (b).

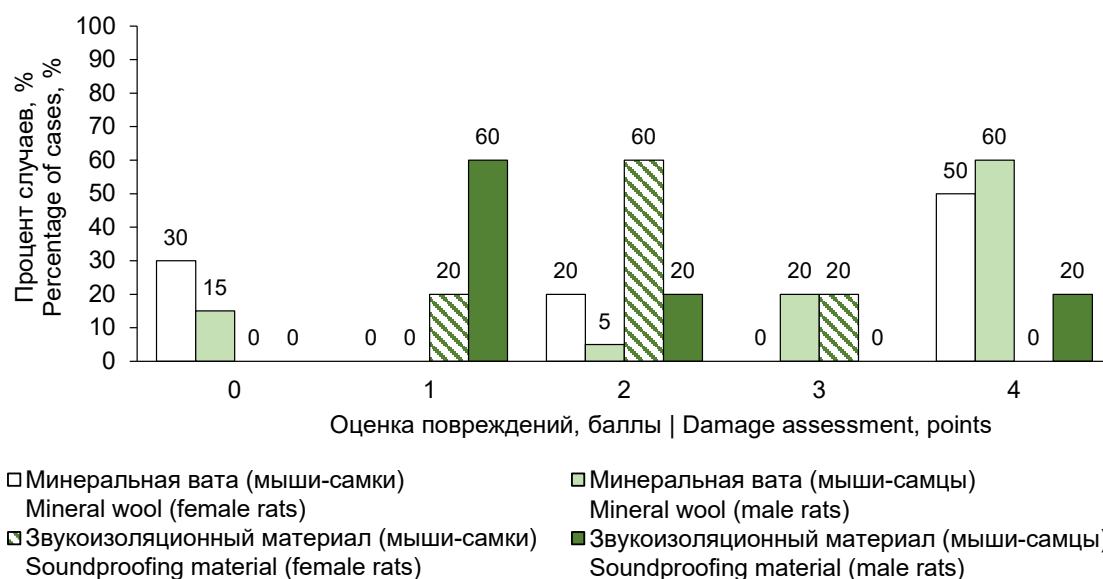


Рис. 3. Соотношение повреждений образцов минеральной ваты и звукоизоляционного материала, нанесённых домовыми мышами при одиночном содержании.

Fig. 3. Ratio of damage estimates for mineral wool and soundproofing material samples caused by house mice when kept alone.

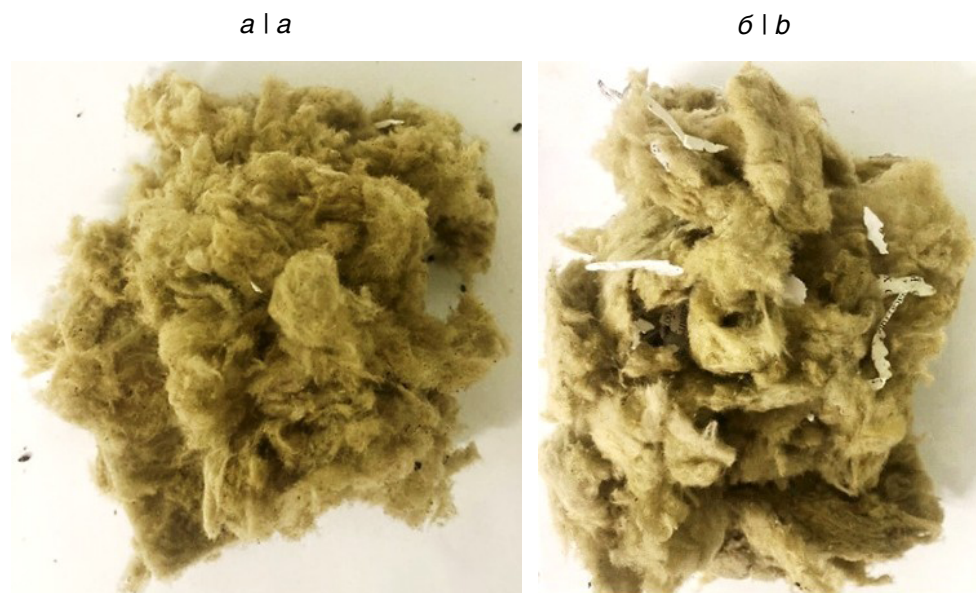


Рис. 4. Повреждения, нанесённые звукоизоляционному материалу, при одиночном содержании самками домовых мышей (а) и серых крыс (б).

Fig. 4. Damage caused to soundproofing material when kept alone by female house mice (a) and gray rats (b).

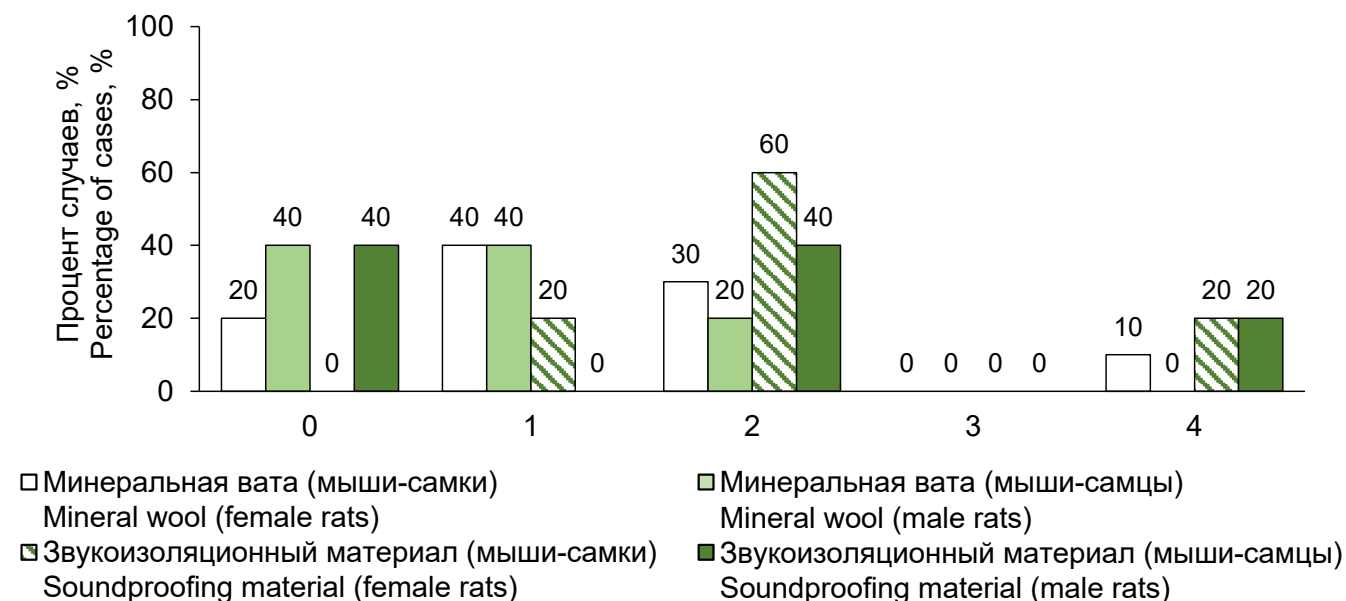


Рис. 5. Соотношение повреждений образцов минеральной ваты и звукоизоляционного материала, нанесённых серыми крысами при одиночном содержании.

Fig. 5. Ratio of damage estimates for mineral wool and soundproofing material samples caused by brown rats when kept alone.



Рис. 6. Повреждения, нанесённые утеплительному материалу, при групповом содержании домовыми мышами (а) и серыми крысами (б).

Fig. 6. Damage caused to insulating material during group housing by house mice (a) and brown rats (b).

домовыми мышами, чем серыми крысами. При групповом содержании материал активнее повреждали самки крыс по сравнению с самцами, у домовых мышей также большую активность проявляли самки. Самки серой крысы были активнее по сравнению с самцами. Самцы в большинстве случаев (90–100%) не повреждали образцов.

Звукоизоляционный материал имел больше повреждений, нанесённых грызунами, по сравнению с утеплительным материалом. Это может быть связано с меньшей плотностью утеплительного материала. Поскольку каменная вата имеет большую плотность, для создания более удобного места отдыха грызуны (домовые мыши и серые крысы) взрыхляли и притаптывали её, формируя места лёжки. В результате образец покрывался слоем загрязнений (рис. 7).

Анализ воздействия грызунов на электрокабели

При оценке повреждений образцов максимальным повреждением (100%) считалось нарушение целостности всех оплётки кабеля. Небольшие царапины на внешней оплётке кабеля, не оказывающие влияния на его функции, учитывались как 0%.

В ходе исследования было установлено, что серые крысы, в отличие от домовых мышей, проявили больший интерес к электрокабелям. За время экспозиции серые крысы в 100% случаев значительно повреждали оплётку белого и чёрного кабелей вне зависимости от метода содержания (рис. 8). У кабеля КГТП чёрного

цвета повреждения имели в основном поверхностный характер (на внешней оплётке присутствовали неглубокие погрызы глубиной 1–2 мм и шириной 5–8 мм). Самки серых крыс в 20% случаев и самцы в 40% случаев при одиночном содержании и в 100% случаев при групповом содержании наносили образцам значительные повреждения (4 балла), которые затрагивали медные жилы. В остальных случаях повреждения оценивали в 1 балл.

Кабель ПВС белого цвета имел повреждения, нанесённые серыми крысами, не только на внешнем слое оплётки, но и на оплётке каждой жилы с непосредственным нарушением целостности самой медной жилы (рис. 9). Составы внешних оплёток кабелей разные, что обусловлено их назначением, и это может объяснить избирательность серых крыс в отношении кабелей [13].

Повреждения кабеля, нанесённые домовыми мышами, независимо от цвета образца и метода содержания животных представляли собой небольшие неглубокие царапины (1–2 мм) на внешней оплётке и оцениваются в 0 или 1 балл. На основании полученных результатов можно заключить, что и размер животного, и размер электрокабеля или провода (диаметр сечения) – значимые факторы повреждений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Синантропные грызуны создают серьёзную проблему, повреждая строительные материалы. Проведённые исследования показали, что в поведении по отношению исследуемым

a | a



b | b



Рис. 7. Повреждения, нанесённые звукоизоляционному материалу при групповом содержании домовыми мышами (а) и серыми крысами (б).

Fig. 7. Damage caused to soundproofing material when kept in groups by house mice (a) and brown rats (b).

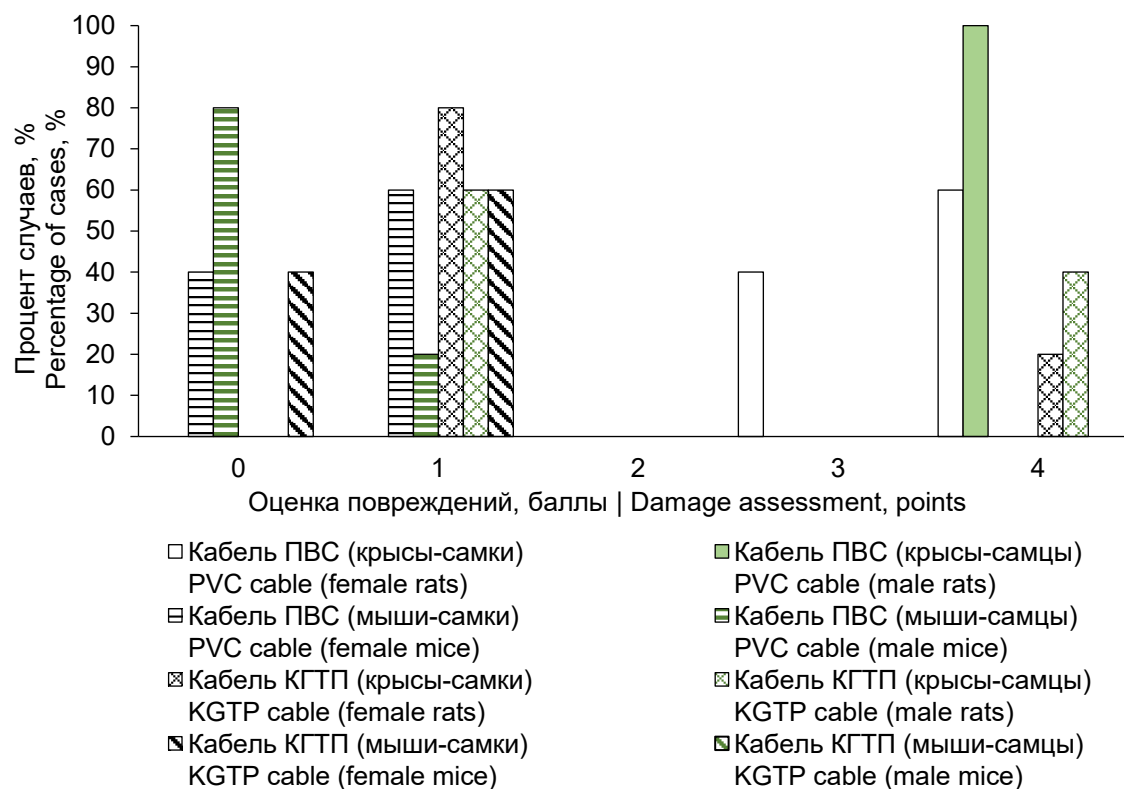


Рис. 8. Сравнение повреждений образцов кабеля типа ПВС (белого цвета) и кабеля типа КГТП (черного цвета) при одиночном содержании серых крыс и домовых мышей.

Fig. 8. Comparison of damage to samples of the PVS type cable (white) and the KGTP type cable (black) when brown rats and house mice are kept alone.



Рис. 9. Сравнение повреждений образцов кабеля типа ПВС (белого цвета) и кабеля типа КГТП (чёрного цвета) при одиночном содержании серых крыс

Fig. 9. Comparison of damage to samples of cable type ПВС (white) and cable type КГТП (black) when keeping brown rats alone.

образцам домовая мышь и серая крыса имеют существенные различия.

Крысы использовали утеплительные и звукоизоляционные материалы в качестве подстилки для отдыха, разрушая их значительно меньше

в сравнении с мышами, делающими гнезда из этих материалов.

Повреждение электрокабелей крысами происходило активнее и быстрее, поскольку крысы, в отличие от мышей, использовали

образцы как игровой материал. Большое значение имеют размер электрокабеля (диаметр сечения) и размер грызуна, так как мелкому животному сложнее перегрызть относительно большой по диаметру кабель. Также отмечено влияние состава внешних оплётки кабелей на устойчивость к воздействию грызунов. Кабель типа КГТП, в отличие от кабеля типа ПВС, оказался менее привлекательным и, соответственно, более устойчивым к погрызам, наносимым серыми крысами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поиск и изучение новых материалов, позволяющих противостоять повреждающей способности грызунов, – важное направление обеспечения долговечности и безопасности строительных, промышленных и сельскохозяйственных объектов в условиях растущей активности грызунов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пехтасева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е., Стоянов О.В. Биодеструкция и биоповреждения материалов. Кто за это в ответе? // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 8. С. 222–233. EDN: <https://elibrary.ru/oxiusb>
2. Пехтасева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е. и др. Систематизация и диагностика биоповреждений промышленных товаров и материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 7. С. 285–291. EDN: <https://elibrary.ru/owxsvb>
3. Ракитин И.А., Мельцер А.В., Башкетова Н.С. Опыт проведения в Санкт-Петербурге сплошной внеплановой дератизации // Дезинфекционное дело. 2007. № 3. С. 44–45.
4. Семёнов А.Ю., Рудь Н.А. Эпизоотологический мониторинг лептоспироза человека и животных в Краснодарском крае // Ветеринария Кубани. 2010. № 5. С. 4–6. EDN: <https://elibrary.ru/mvxjof>
5. Хляп Л.А., Маликова А.Ш. Оценка численности и распределения домовых мыши в помещениях методом следовых площадок // Синантропия грызунов и ограничение их численности: сб. науч. статей. М.: РАН, 1992. С. 256–264.
6. Шутова М.И. О мышах и крысах. М.: Эребус, 1999. 176 с.
7. Котенкова Е.В., Мешкова Н.Н., Шутова М.И. О мышах и крысах. 2-е изд., перераб. М.: Эребус, 1999. 184 с.
8. Пехтасева Е.Л. Биоповреждения и защита непродовольственных товаров: учебник для студентов высших учебных заведений / под ред. А.Н. Неверова. М.: Мастерство, 2002. 224 с.
9. Возмилов А.Г., Козлов А.В., Суринский Д.О. и др. Обоснование необходимости борьбы с вредителями (грызунами) объектов АПК. Анализ техно-

логии и технических средств для отпугивания и уничтожения // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 15. С. 69–73.

EDN: <https://elibrary.ru/rzrgnl>

10. Палий А.П., Сумакова Н.В., Антонюк А.А. и др. Разработка и эффективность применения отечественной приманки для борьбы с мышевидными грызунами // Украинский экологический журнал. 2021. Т. 11, № 2. С. 209–215. DOI: https://doi.org/10.15421/2021_101
11. Mariadoss A., Alice J., Chakraborty A. Rodent damages and approaches for their management // Innov. Farm. 2020. Vol. 5. P. 54–59.
12. Геворкян И.С. Об эффективности методов борьбы с мышевидными грызунами на животноводческих комплексах // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 12, № 2. С. 39. EDN: <https://elibrary.ru/wyfyld>
13. Ларин Ю.Т. Испытание оптического кабеля на стойкость к воздействию грызунов // Фотон-экспресс. 2008. № 3(67). С. 10–16. EDN: <https://elibrary.ru/rawypv>

REFERENCES

1. Pehtasheva E.L., Neverov A.N., Zaikov G.E., Stoyanov O.V. Biodegradation and biodamage of materials. Who is responsible for this? *Herald of Kazan Technological University*. 2012;15(8):222–233. EDN: <https://elibrary.ru/oxiusb> (In Russ.)
2. Pehtasheva E.L., Neverov A.N., Zaikov G.E., et al. Systematization and diagnostics of biodamage to industrial goods and materials. *Herald of Kazan Technological University*. 2012;15(7):285–291. EDN: <https://elibrary.ru/owxsvb> (In Russ.)
3. Rakitin I.A., Meltser A.V., Bashketova N.S. Experience of conducting a continuous unscheduled deratization in St. Petersburg. *Disinfection Affairs*. 2007;(3):44–45. (In Russ.)
4. Semenov A.Yu., Rud N.A. Epizootiological monitoring of leptospirosis in humans and animals in Krasnodar Krai. *Veterinary of Kuban*. 2010;(5):4–6. EDN: <https://elibrary.ru/mvxjof> (In Russ.)
5. Khlyap L.A., Malikova A.Sh. Estimation of the abundance and distribution of the house mouse indoors by the method of tracking plots. In: *Synanthropy of rodents and limitation of their numbers: collection of scientific articles*. Moscow: RAS; 1992:256–264. (In Russ.)
6. Shutova M.I. About mice and rats. Moscow: Erebus; 1999. 176 p. (In Russ.)
7. Kotenkova E.V., Meshkova N.N., Shutova M.I. About mice and rats. 2nd ed., rev. Moscow: Erebus; 1999. 184 p. (In Russ.)
8. Pehtasheva E.L. Biodamage and protection of non-food products: textbook for students of higher educational institutions. Ed. by A.N. Neverov. Moscow: Masterstvo; 2002. 224 p. (In Russ.)
9. Vozmilov A.G., Kozlov A.V., Surinsky D.O., et al. Justification of the need for pest (rodent) control at agro-industrial complex facilities. Analysis of technology and technical means for repelling

- and destroying. *Alternative Energy and Ecology*. 2013;(15):69–73.
EDN: <https://elibrary.ru/rzrgnl> (In Russ.)
10. Paliy A.P., Sumakova N.V., Antoniuk A.A., et al. Development and effectiveness of a domestic bait for controlling mouse-like rodents. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021;11(2):209–215.
DOI: https://doi.org/10.15421/2021_101 (In Russ.)
11. Mariadoss A., Alice J., Chakraborty A. Rodent damages and approaches for their management. *Innov. Farm*. 2020;5:54–59.
12. Gevorkyan I.S. On effectiveness of mouse-like rodent control methods in livestock breeding complexes. *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time*. 2016;12(2):39.
EDN: <https://elibrary.ru/wyfyld> (In Russ.)
13. Larin Yu.T. Testing of optical cable for resistance to rodent damage. *Photon-Express*. 2008;(3(67)):10–16.
EDN: <https://elibrary.ru/rawypv> (In Russ.)

Сведения об авторах

Геворкян Ирина Сергеевна — н. с. отд. дератизации (с лабораторией изучения грызунов) Института дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана», Москва, Россия
e-mail: gevorkyan.is@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9350-9372>

Козлов Александр Александрович — студент ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (Росбиотех)», Москва, Россия
e-mail: mr.shu.04@mail.ru

Курашова Дарья Игоревна — студентка ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (Росбиотех)», Москва, Россия
e-mail: 3507181@gmail.com

Ситникова Анастасия Ивановна — студентка ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (Росбиотех)», Москва, Россия
e-mail: nastay_sitni@mail.ru

Вклад авторов: Геворкян И.С. — обработка данных, написание текста, концепция и дизайн исследования, редактирование; Козлов А.А. — сбор материала; Курашова Д.И. — сбор материала; Ситникова А.И. — сбор материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Information about the authors

Irina S. Gevorkyan — researcher, Department of deratization (with a rodent research laboratory), Disinfectology Institute, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia
e-mail: gevorkyan.is@fncg.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9350-9372>

Aleksandr A. Kozlov — student, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia
e-mail: mr.shu.04@mail.ru

Daria I. Kurashova — student, Russian Biotechnology University (Rosbiotech), Moscow, Russia
e-mail: 3507181@gmail.com

Anastasia I. Sitnikova — student, Russian Biotechnology University (Rosbiotech), Moscow, Russia
e-mail: nastay_sitni@mail.ru

Contribution: Gevorkyan I.S. — data processing, writing the text, concept and design of the study, editing, editing; Kozlov A.A. — collection of materials; Kurashova D.I. — collection of materials; Sitnikova A.I. — collection of materials. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Обзор
<https://doi.org/10.47470/dez019>
© ЕРЕМИНА О.Ю., ОЛИФЕР В.В., 2026

Комнатная муха *Musca domestica*: эволюция резистентности к инсектицидам в России (обзор литературы)

Еремина О.Ю., Олифер В.В.

Институт дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

При изучении резистентности насекомых к инсектицидам важно использовать в качестве эталона сравнения стандартные чувствительные лабораторные культуры. Таковой является культура комнатной мухи *Musca domestica* S-НИИД, разводимая в инсектарии Института дезинфектологии более 30 лет. Культура S-НИИД показывает уровни чувствительности к инсектицидам, сходные с другими содержащимися в научных лабораториях мира чувствительными культурами, такими как SSS, WHO, Perm-S и др. В ретроспективном исследовании описана устойчивость популяций комнатной мухи в России к действующим веществам из разных химических групп. Приведены данные о резистентности комнатной мухи к хлор- и фосфорорганическим соединениям, пиретроидам, неоникотиноидам, фенилпиразолам при топикальном нанесении. Подтверждён мозаичный характер возникновения резистентности, связанный не с географическим расположением точек сбора насекомых, а с историей применения инсектицидов на конкретных объектах. Выявлены нарастание резистентности к пиретроидам, фенилпиразолам и неоникотиноидам и снижение — к ФОС в европейской части России, резистентность к ацетамиприду, толерантность и высокая резистентность к пиретроидам и др. в Тюменской области. Динамика уровней резистентности отражает интенсивность применения конкретной группы инсектицидов в данный период.

Заключение. В разных регионах России обнаружены популяции комнатной мухи, резистентные к ряду инсектицидов. Рекомендовано применение схем ротации действующих веществ в соответствии с механизмами их действия на насекомых.

Ограничения исследования. Исследование направлено на ретроспективное изучение резистентности комнатной мухи к инсектицидам и представляет интерес для специалистов, занимающихся дезинфекционной деятельностью в области дезинсекции.

Ключевые слова: пиретроиды; неоникотиноиды; фенилпиразолы; комнатная муха; резистентность; дезинфектология

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для корреспонденции: Олифер Вероника Валентиновна, e-mail: olifer.vv@fncg.ru

Для цитирования: Еремина О.Ю., Олифер В.В. Комнатная муха *Musca domestica* — эволюция резистентности к инсектицидам в России (обзор литературы). Дезинфектология. 2026; 2(2): 94–103.
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez019> EDN: <https://elibrary.ru/PEKGV7>

Поступила: 10.03.2026 / Принята к печати: 21.07.2026 / Опубликовано: 10.08.2026

Review
DOI: <https://doi.org/10.47470/dez019>
© EREMINA O.Yu., OLIFER V.V., 2026

The Housefly *Musca domestica*: Evolution of Insecticide Resistance in Russia (Literature Review)

Olga Yu. Eremina, Veronika V. Olifer

Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia

ABSTRACT

When studying insect resistance to insecticides, it is important to use standard, susceptible laboratory cultures as a reference. Such a culture is the S-NIID housefly culture, reared in the insectary of the Institute of Disinfection for over 30 years. The S-NIID culture exhibits similar levels of insecticide sensitivity to other susceptible cultures maintained in scientific laboratories worldwide, such as SSS, WHO, Perm-S, and others. This retrospective study describes the resistance to housefly populations in Russia to active ingredients from various chemical groups. Data on housefly resistance to organochlorine and organophosphorus compounds, pyrethroids, neonicotinoids, and phenylpyrazoles applied topically are presented. A mosaic pattern of resistance development is confirmed, linked not to the geographic location of insect collection points, but to the history of insecticide use at specific sites. An increase in resistance to pyrethroids, phenylpyrazoles, and neonicotinoids, a decrease in resistance to organophosphorus compounds were observed in the European part of Russia. Resistance to acetamiprid, tolerance, and high resistance to pyrethroids and other compounds was observed in the Tyumen region. The dynamics of resistance levels reflect the intensity of application of a particular group of insecticides during a given time period.

Conclusion. Housefly populations resistant to a number of insecticides has been identified in various regions of Russia. Rotation of active ingredients based on their mechanisms of action on insects is recommended.

Study limitations. This study aims to retrospectively evaluate housefly resistance to insecticides and is of interest to specialists involved in disinfection and pest control.

Keywords: *pyrethroids; neonicotinoids; phenylpyrazoles; housefly; resistance; disinfectology*

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: Veronika V. Olifer, e-mail: olifer.vv@fncg.ru

For citation: Eremina O.Yu., Olifer V.V. The housefly *Musca domestica*: evolution of insecticide resistance in Russia (literature review). *Disinfectology*. 2026; 2(2): 94–103. DOI: <https://doi.org/10.47470/dez019>
EDN: <https://elibrary.ru/PEKGVT>

Received: 10.03.2026 / Accepted: 21.07.2026 / Published: 10.08.2026

Синантропные насекомые часто оказывают неблагоприятное влияние на здоровье человека, будучи механическими переносчиками возбудителей болезней, а продукты их жизнедеятельности провоцируют аллергические реакции и астму [1]. Синантропные мухи, тараканы и муравьи отнесены к группам насекомых, чьё присутствие является показателем антисанитарных условий в помещениях по переработке и хранению пищевых продуктов [2]. Однако чрезмерное и часто бесконтрольное использование химических инсектицидов может приводить к увеличению загрязнения окружающей среды, негативно влиять на здоровье человека и вызывать развитие устойчивости к инсектицидам у целевых насекомых [3]. Снижение эффективности инсектицидов способно провоцировать некоторых специалистов практического звена на завышение их дозировки, что усугубляет негативное воздействие на окружающую среду [4]. Поэтому для оптимизации борьбы с устойчивыми насекомыми необходимо характеризовать устойчивость целевого объекта к инсектицидам [5]. В базе данных Мичиганского университета приведены сведения о 466 слу-

чаях резистентности комнатной мухи *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) к 66 инсектицидам (5-е место среди устойчивых членистоногих), что свидетельствует о глобальном характере проблемы [6, 7].

При сравнительном исследовании изменения резистентности насекомых важно использовать стандартные лабораторные культуры, чувствительные к инсектицидам. Благодаря короткому циклу развития и лёгкости круглогодичного культивирования в лабораторных условиях комнатная муха стала оптимальным модельным объектом для исследований резистентности к инсектицидам, механизмов детоксикации и активации инсектицидов, других сопровождающих развитие устойчивости биологических процессов. В этом качестве комнатная муха используется в России с 1960-х гг. В настоящее время в инсектарии Института дезинфектологии ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора содержится чувствительная культура комнатной мухи S-НИИД, исходным материалом для которой послужила линия Соорет, полученная из Ротамстедской лаборатории

(Великобритания) в 1990-х гг. По уровням чувствительности к инсектицидам культура комнатной мухи S-НИИД сходна с другими содержащимися в научных лабораториях мира чувствительными культурами, такими как SSS [8], WHO [9], Perm-S [10], что подтверждено многочисленными исследованиями. Показатели чувствительности к инсектицидам имаго комнатной мухи культуры S-НИИД приведены в методических указаниях МУ 3.5.2.4105–24 [11].

В развитии устойчивости членистоногих к инсектицидам и акарицидам наблюдаются три периода: первый этап — толерантность (показатели резистентности (ПР) 1–10×, отбор в пределах нормы реакции, определяющий неспецифическую полифакториальную толерантность); второй этап — скачкообразное возрастание общей устойчивости за счёт увеличения доли резистентных особей в популяции (ПР 11–50×, 51–100×, 101–500×); третий этап — практически полная элиминация чувствительных особей из популяции и стабилизация резистентности на максимальном уровне (ПР 501–5000×) [12, 13].

Цель работы — ретроспективное сравнение чувствительности к инсектицидам комнатной мухи в России.

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К ХЛОРООРГАНИЧЕСКИМ ИНСЕКТИЦИДАМ

В СССР комнатная муха *M. domestica* была первым видом синантропных насекомых, у которых отметили развитие резистентных популяций к хлор- (ХОС) и фосфорорганическим (ФОС) инсектицидам. Начальный период развития резистентности *M. domestica* к ХОС выявлен в 1950 г. в Сочи в конце первого сезона применения этого инсектицида и наблюдался в течение 5 лет. ПР к дихлордифенилтрихлорэтану (ДДТ) составил 3–8×. В это же время выявлена толерантность к гексахлорциклогексану (ГХЦГ, линдан) в Севастополе, Ташкенте, Куйбышеве (5–6×) [14–16].

Второй этап формирования резистентности к ХОС (в 1957–1960 гг.) наступил в результате их десятилетнего применения. Была выявлена резистентность мух из Бреста, Мытищ, Ташкента (20×, 28× и 64× соответственно). Таким образом, во многих регионах СССР использование препаратов на основе ДДТ и ГХЦГ оказалось неэффективным из-за развития к ним резистентности через 10–12 лет после начала массового применения.

Третий этап развития резистентности не наступил, поскольку средства группы ХОС в 1989 г. были запрещены к применению на тер-

ритории РСФСР. Тем не менее через 10 лет после запрещения применения ХОС в 1995–1999 гг. была отмечена резистентность к ДДТ более 30× в различных районах Москвы, что может быть связано с уже развившейся у популяций *M. domestica* к тому времени резистентностью к пиретроидам и наличием гена *Kdr*, общего для ДДТ и пиретроидов [16].

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИМ ИНСЕКТИЦИДАМ

В 1955–60-х гг. началось применение ФОС, и, в частности, хлорофоса (трихлорфоса). Начальный этап формирования резистентности наступил уже через 3 года применения (3×) и продолжался в течение 10 лет (5–8×). В начале 1970-х гг. наступил второй этап: произошло выраженное нарастание резистентности к хлорофосу. ПР увеличились в Минске, Бресте, Рязани и Москве до 35–87×, Мытищах и Душанбе — до 65–186×. В 1973 г. ПР к хлорофосу во всех городах продолжал увеличиваться и достиг 233× в Душанбе, 115× в Москве, 130× в Мытищах, 86× в Бресте, 127× в Киеве, 103× в Ленинабаде [16, 17]. В дальнейшем ареал резистентных к хлорофосу популяций расширился, а регистрируемые уровни резистентности составили 100–300×. Третий этап развития резистентности *M. domestica* к хлорофосу зафиксирован с 1990-х гг.: все изученные в этот период популяции в Москве, Московской, Тверской, Астраханской областях были резистентны к хлорофосу (500–700×) [18, 19]. В 1996–1997 гг. часть московских популяций комнатной мухи была резистентна к ДДВФ (2,2-дихлорэтилдиметилфосфат, дихлофос) (29–48×), тогда как в других точках сбора Москвы были найдены популяции, чувствительные и слабо толерантные к нему (0,7–3,0×). Популяции мух, резистентные к хлорофосу и ДДВФ, оказались устойчивы и к другим ФОС (азаметифос — толерантность 3–6× и резистентность 17–22×) [20, 21], а также к соединениям других химических классов, например, представителю пиретроидов тетраметрину [16, 18]. В настоящее время у исследованных популяций комнатной мухи в Московской и Калужской областях выявлены только чувствительность и слабая толерантность к хлорпирифосу — 0,6–3,7× [22].

Пять точечных мутаций в гене ацетилхолинэстеразы (AChE, *ace-1*, *ace-2*) комнатной мухи, а именно: *Val180* → *Leu*, *Gly262* → *Ala*, *Gly262* → *Val*, *Phe327* → *Tyr* и *Gly365* → *Ala* (по отдельности или в комбинации) вносят

вклад в устойчивость к ФОС и карбаматам [23]. В России у комнатной мухи выявлены две мутации в гене *ace-2* (*G342A*, *G342V*). Аллель *G342A* обнаружена у 10% и 60% исследованных особей из двух популяций, частота аллели составила 5% и 30% соответственно. Аллель *G342V* выявлена в одной популяции у 40% исследованных особей с частотой 25% [24].

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К ПИРЕТРОИДАМ

Начальный период резистентности *M. domestica* к пиретроидам соответствовал их широкому внедрению в практику с 1980-х гг. и длился примерно до 2000 г., все изученные в этот период популяции были чувствительными или толерантными. В местах отлова — на промышленных предприятиях, свалках бытовых отходов и др. — не проводились дезинсекционные мероприятия против синантропных мух, поэтому резистентность отсутствовала, как, например, в Псковской области ПР к перметрину и тетраметрину составлял 0,4–1,6%. У *M. domestica* из Московской области в 1991 г. выявлена слабая толерантность к перметрину (0,2–2,9%), тетраметрину (0,8–3,5%) и фенвалерату (2,0%) [21]. Следует отметить, что в Тюменской области в 2017 г. была выявлена только слабая толерантность *M. domestica* к дельтаметрину (2,0%), циперметрину (2,1%), перметрину (1,5%) и чувствительность к эсфенвалерату (1,1%) [25]. В Москве второй этап становления резистентности к пиретроидам зафиксирован в 1996 г. Отдельные популяции *M. domestica* оказались резистентными к перметрину (30%) и в разной степени устойчивыми к пиретроидам другого строения: к тетраметрину (5–344%), фенотрину (6,6–57%), циперметрину (11–39%) и фенвалерату (1,6–10%). Исследования 1997 г. в 4 местах отлова показали резистентность к перметрину 20–440% и тетраметрину 11–17% [21, 26].

Третий этап развития резистентности *M. domestica* к пиретроидам впервые описан в 1997 г. в Москве (резистентность одной из популяций к перметрину составила 4000%) [21]. Затем в 1999 г. в Тюменской области у выборок насекомых, обитающих в помещениях животноводческих ферм, зафиксирован ПР к цианосодержащим пиретроидам 800–1600%. Следует отметить, что на этом фоне резистентность к ФОС не превышала 60%, а к карбаматам — 10%. К 2003 г. резистентность *M. domestica* к дельтаметрину превысила 4600% [27]. В 2021 г. в Московской и Калужской областях зарегистриро-

вана сверхвысокая устойчивость *M. domestica* к циперметрину (900%) [22, 28].

Комнатная муха выработала устойчивость к пиретроидам благодаря трём основным мутациям *Kdr* (Knockdown resistance) в гене *Vssc* натриевых каналов: *kdr-his* (*L1014H*) — 5–8%; *kdr* (*L1014F*) — 7–34%; *super-kdr* (*M918T* + *L1014F*) — 37–400% устойчивость, а также мутациям типа *N* (*D600N* + *M918T* + *L1014F*) и типа *1B* (*T929I* + *L1014F*). Вторым важным механизмом устойчивости к пиретроидам у комнатных мух — усиленный метаболизм ксенобиотиков цитохромом P450. Избыточная экспрессия *CYP6D1v1* у насекомых отвечает за устойчивость к пиретроидам и встречается во всем мире [29, 30]. В Тюменской области в трёх выборках 2021–2023 гг. из природных популяций *M. domestica* в животноводческих помещениях выявлена одна мутация в гене *Vssc* (*L1014F*), связанная с устойчивостью к пиретроидам. Резистентная аллель *L1014F* присутствовала у 40–70% исследованных особей всех трёх популяций с частотой 30–55% [24]. У популяций *M. domestica*, резистентных к ФОС и пиретроидам, установлено повышение активности холинэстеразы в головном отделе и карбоксилэстеразы в брюшном отделе [20]. У резистентных популяций *M. domestica* выявлена метаболическая резистентность, обусловленная повышенным уровнем активности монооксигеназы (2,25–4,36 раза) и глутатион-S-трансферазы (в 2,02–2,18 раза) [31].

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К ДРУГИМ ИНСЕКТИЦИДАМ

В настоящее время в Тюменской области резистентность *M. domestica* к фипронилу отсутствует [32–35]. В центре европейской части России резистентность комнатной мухи к фипронилу весьма различна: в Можайском районе Московской области выявлена толерантность (5–8%) (начальный этап развития устойчивости), в Калуге и Красногорске — резистентность (46–75%) (второй этап). Полученные данные позволяют констатировать устойчивость природных популяций комнатной мухи к приманкам на основе фипронила, причём ПР достигает в Можайском районе 6,3–7,0%, а в Калуге и Красногорске — 30–76% [22, 28].

Резистентность к фенилпирозолам определяется геном *Rdl* (Resistance to dieldrin), общим для ХОС диенового синтеза (ГХЦГ) и фипронила. Мутация *A302S* кодирует субъединицу ГАМК-рецептора (GABA) у насекомых и обеспечивает устойчивость к фипронилу [36, 37].

Современные результаты исследований комнатных мух из животноводческих хозяйств в Тюменской области выявили несколько популяций мух, толерантных (1,8–5,0×) (первый этап) и резистентных (57×) (второй этап) к ацетамиприду [32, 33, 38]. Недавние исследования, проведённые в Московской и Калужской областях, показали высокую резистентность комнатной мухи к тиаметоксаму и клотианидину (100→333×) [22, 28].

Лиганд-зависимые ионные каналы с цистеиновой петлёй широко распространены у позвоночных и беспозвоночных животных и являются мишенями для неоникотиноидов и фенилпиразолов [39]. Мутации в генах никотиновых ацетилхолиновых рецепторов (НАХР, nAChR), снижение экспрессии чувствительных рецепторов и повышение активности ферментов метаболизма (цитохромов P450, глутатион-S-трансфераз) приводят к резистентности к неоникотиноидам. Обнаружены повышенная экспрессия гена цитохрома P450 CYP6CY3, связанного с метаболической резистентностью, и замена аргинина на треонин, вызывающая точечную мутацию (R81T) в β1-субъединице НАХР в D-петле [40]. Две мутации – V65I и V104I – были обнаружены в β1-субъединице НАХР у популяций тли, устойчивых к неоникотиноидам [41].

К новым для медицинской дезинсекции хлорфенапиру и индоксакарбу у всех изученных популяций комнатной мухи установлена полная чувствительность имаго. Эти действующие вещества следует активнее использовать на территории страны в схемах ротации, поскольку устойчивость к ним ещё не сформировалась [22, 32, 33, 38].

Таким образом, за последние 25 лет произошёл рост резистентности к пиретроидам на фоне снижения устойчивости к ФОС. Перекрёстная резистентность, возникающая в ответ на давление фактора отбора одной группой инсектицидов, приводит к тому, что насекомые оказываются устойчивы к препаратам других классов, даже к тем, действию которых ранее они не подвергались [42, 43]. Ярким примером перекрёстной резистентности является возникновение гена *kdr*, общего для механизмов устойчивости к ДДТ и пиретроидами. Отмечены случаи перекрёстной устойчивости и между другими классами инсектицидов: пиретроидами и авермектинами, пиретроидами и ФОС, неоникотиноидами и пиретроидами и ФОС.

Для эффективного подавления развития резистентности следует руководствоваться

схемами ротации применяемых средств борьбы. В комплекс дезинсекционных мероприятий необходимо включать не только последовательную и своевременную замену действующих веществ одной группы веществами другой с иным механизмом действия, но и использовать разные препаративные формы, чередуя противочичинные мероприятия с уничтожением имаго. Перспективными действующими веществами являются представители следующих групп: пирролы, оксадиазины, диамины, регуляторы развития насекомых. Наряду с обработками химическими инсектицидными средствами нужно проводить преобразования окружающей среды, направленные на сокращение потенциальных мест выплода синантропных мух.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еремина О.Ю. Насекомые – механические переносчики возбудителей инфекционных болезней человека (обзор литературы) // Дезинфекционное дело. 2020. № 3. С. 41–54. DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2020-1-37-54> EDN: <https://elibrary.ru/ppbfgy>
2. Sulaiman I.M., Jacobs E., Simpson S., Kerdahi K. Identification of 18 vector species belonging to Group I, Group II, and Group III "Dirty 22" species known to contaminate food and spread foodborne pathogens: DNA barcoding study of public health importance // Int. J. Trop. Insect Sci. 2017. Vol. 37, N 1. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742758416000217> EDN: <https://elibrary.ru/yxmqqf>
3. Hafez A.M. First evaluation of field evolved resistance to commonly used insecticides in house fly populations from Saudi Arabian dairy farms // Insects. 2021. Vol. 12, N 12. P. 1120. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12121120> EDN: <https://elibrary.ru/uvvllp>
4. Khan H.A.A. Characterization of permethrin resistance in a *Musca domestica* strain: Resistance development, cross-resistance potential and realized heritability // Pest Manag. Sci. 2019. Vol. 75. P. 2969–2974. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5409> EDN: <https://elibrary.ru/nvnrtk>
5. Abbas N., Abubakar M., Hassan M.W., et al. Risk assessment of flonicamid resistance in *Musca domestica* (Diptera: Muscidae): resistance monitoring, inheritance, and cross-resistance potential // J. Med. Entomol. 2021. Vol. 58. P. 1779–1787. DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjab036> EDN: <https://elibrary.ru/crnghj>
6. Sparks T.C., Crossthwaite A.J., Nauen R., et al. Insecticides, biologics and nematocides: updates to IRAC's mode of action classification – a tool for resistance management // Pestic. Biochem. Physiol. 2020. Vol. 167. P. 104587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587> EDN: <https://elibrary.ru/ztiadj>

7. mota-Sanchez D., Wise J.C. The Arthropod Pesticide Resistance Database. 2026.
URL: <https://www.pesticideresistance.org/search.php>
(дата обращения: 10.02.2026).
8. Zhang Y., Guo M., Ma Z., et al. Esterase-mediated spinosad resistance in house flies *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) // *Ecotoxicology*. 2020. Vol. 29, N 1. P. 35–44.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02125-y>
EDN: <https://elibrary.ru/sgxufb>
9. Cetin H., Yanikoglu A., Akarsu E., et al. Monitoring of thiamethoxam resistance in Turkish house fly strains, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) // *J. Arthropod Borne Dis.* 2023. Vol. 17, N 3. P. 206–213.
DOI: <https://doi.org/10.18502/jad.v17i3.14982>
EDN: <https://elibrary.ru/mxtpbk>
10. Khan H.A.A. Lack of fitness costs associated with resistance to permethrin in *Musca domestica* // *Sci. Rep.* 2024. Vol. 14, N 1. P. 245.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50469-7>
EDN: <https://elibrary.ru/swbako>
11. Определение уровня чувствительности к инсектоакарицидам членистоногих, имеющих медицинское значение: методические указания МУ 3.5.2.4105-24. М.; 2024.
12. Соколянская М.П., Амирханов Д.В. Динамика формирования резистентности комнатной мухи к инсектицидам из разных химических классов // *Вестник защиты растений*. 2008. № 4. С. 22–32. DOI: <https://doi.org/10.31993/1727-1320>
EDN: <https://elibrary.ru/kaummp>
13. Сухорученко Г.И., Долженко В.И., Ганнибал Ф.Б. и др. Резистентность вредных членистоногих, фитопатогенных грибов и грызунов к пестицидам. Санкт-Петербург; 2024. 672 с.
EDN: <https://elibrary.ru/thepjl>
14. Дербенева-Ухова В.П., Морозова В.П. Случай появления ДДТ-устойчивости у комнатной мухи // *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 1950. Т. 19, № 5. С. 464–467.
15. Сухова М.Н., Гвоздева И.В., Мисник М.М. и др. Чувствительность к хлорофосу, трихлорметафосу, метафосу, ДДТ, ГХЦГ, полихлорпину у популяций комнатных мух после многолетнего применения этих инсектицидов // *Гигиена, микробиология и эпидемиология*. 1965. № 8. С. 7–13.
16. Рославцева С.А. Резистентность к инсектоакарицидам членистоногих, имеющих эпидемиологическое и санитарно-гигиеническое значение. М.; 2006. EDN: <https://elibrary.ru/qlnznb>
17. Сухова М.Н., Гвоздева И.В., Тетеровская Т.О. и др. О численности популяций синантропных мух в различных районах СССР и путях их дальнейшего уничтожения // *Проблемы паразитологии*. Киев; 1972. Т. 2. С. 311–312.
18. Рославцева С.А., Еремина О.Ю., Баканова Е.И., Полякова Ю.Б. Изучение некоторых ферментных систем у природных популяций комнатных мух *Musca domestica* высокорезистентных к фосфорорганическим инсектицидам // *Известия РАН. Серия биологическая*. 1993. № 5. С. 722–731.
19. Еремина О.Ю., Баканова Е.И., Рославцева С.А. Изучение возможностей использования некоторых ферментных систем природных популяций комнатных мух как биологических индикаторов качества окружающей среды // *Токсикологический вестник*. 1995. № 1. С. 32–38.
20. Еремина О.Ю., Баканова Е.И., Полякова Ю.В. и др. Биохимические характеристики природных популяций комнатных мух в связи с промышленным и пестицидным загрязнением окружающей среды // *Агрохимия*. 1997. № 9. С. 73–77.
21. Рославцева С.А., Еремина О.Ю., Баканова Е.И. и др. Исследование механизмов резистентности насекомых к инсектицидам (на примере природных популяций комнатных мух *Musca domestica*) // *Агрохимия*. 1998. № 10. С. 14–23.
22. Давлианидзе Т.А., Еремина О.Ю., Олифер В.В. Резистентность к инсектицидам комнатной мухи *Musca domestica* в центре европейской части России // *Вестник защиты растений*. 2022. Т. 105, № 3. С. 114–121. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-3-15346>
EDN: <https://elibrary.ru/lidwqd>
23. Naqqash M.N., Gökçe A., Bakhsh A., Salim M. Insecticide resistance and its molecular basis in urban insect pests // *Parasitol. Res.* 2016. Vol. 115, N 4. P. 1363–1373.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4898-9>
EDN: <https://elibrary.ru/knemyd>
24. Мельничук А.Д., Крестоношина К.С., Кинарейкина А.Г. и др. Анализ инсектицидной устойчивости к пиретроиду, фосфорорганическим соединениям и карбаматам у *Musca domestica* L. методом ПЦР-ПДРФ // *Ветеринария сегодня*. 2025. Т. 14, № 1. С. 101–108. DOI: <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-1-101-108>
EDN: <https://elibrary.ru/zltowz>
25. Левченко М.А., Силиванова Е.А., Хлызова Т.А. и др. Чувствительность природной популяции *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) к пиретроидным инсектицидам // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2017. № 4. С. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-147-151>
EDN: <https://elibrary.ru/ymeyas>
26. Полякова Ю.Б. Комнатная муха *Musca domestica* L. (Diptera, Muscidae) как биоиндикатор техногенного загрязнения окружающей среды // *Энтомологическое обозрение*. 1998. Т. 77, № 2. С. 289–294.
EDN: <https://elibrary.ru/hvfbbj>
27. Павлов С.Д., Павлова Р.П., Мавлютов С.М. О резистентности насекомых комплекса гнус и комнатной мухи к действию современных инсектицидов // *Энтомологические исследования в Северной Азии: материалы VII Межрегионального совещания энтомологов Сибири и Дальнего Востока в рамках Сибирской зоологической конференции (Новосибирск, 20–24 сентября 2006 г.)*. Новосибирск, 2006. С. 416–418.
EDN: <https://elibrary.ru/ttwhrz>
28. Давлианидзе Т.А., Еремина О.Ю., Олифер В.В. Кишечное действие современных инсектицидов на мультирезистентные культуры комнатных мух *Musca domestica* // *Вестник защиты растений*. 2023. Т. 106, № 3. С. 156–164. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-156-164>

- org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-15487
EDN: <https://elibrary.ru/mkvasp>
29. Scott J.G. Evolution of resistance to pyrethroid insecticides in *Musca domestica* // Pest Manag. Sci. 2017. Vol. 73, N 4. P. 716–722.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4328>
EDN: <https://elibrary.ru/wkcfnv>
 30. Roca-Acevedo G., Boscaro I., Toloza A.C. Global pattern of kdr-type alleles in *Musca domestica* (L.) // Curr. Trop. Med. Rep. 2023. Vol. 10, N 1. P. 1–10.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40475-022-00281-6>
EDN: <https://elibrary.ru/ibimxq>
 31. Силиванова Е.А., Кинарейкина А.Г. Метаболическая резистентность к инсектицидам у комнатной мухи *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) // Концептуальные и прикладные аспекты научных исследований и образования в области зоологии беспозвоночных: сборник статей VI Международной конференции (Томск, 20–23 октября 2025 г.) / под ред. А.В. Симаковой. Томск; 2025. С. 131–134. DOI: <https://doi.org/10.17223/978-5-907890-82-4-2025-26>
EDN: <https://elibrary.ru/wbwyjr>
 32. Левченко М.А., Силиванова Е.А., Плашкина В.А. и др. Резистентность природных популяций *Musca domestica* L. к современным инсектицидам // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2019. № 4. С. 407–412. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.201904011>
EDN: <https://elibrary.ru/kfvdtw>
 33. Левченко М.А. Оценка эффективности фипронила и хлорфенапира против *Musca domestica* L. на объектах ветеринарного надзора // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 12. С. 147–151. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-147-151>
EDN: <https://elibrary.ru/uceubi>
 34. Левченко М.А., Силиванова Е.А., Шумилова П.А., Сенникова Н.А. Инсектицидная чувствительность и ферментативная активность у *Musca domestica* L. природных популяций // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2021. С. 428–435. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202104008>
EDN: <https://elibrary.ru/vntmak>
 35. Силиванова Е.А., Шумилова П.А., Левченко М.А. Чувствительность к инсектицидам и активность ферментов детоксикации у *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) природной популяции // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 12. С. 102–109. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-102-109>
EDN: <https://elibrary.ru/oizswv>
 36. González-Morales M.A., DeVries Z.C., Santangelo R.G., et al. Multiple mechanisms confer fipronil resistance in the German cockroach: Enhanced detoxification and Rdl mutation // J. Med. Entomol. 2022. Vol. 59, N 5. P. 1721–1731.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjac100>
EDN: <https://elibrary.ru/titaqp>
 37. Block C.J., Miles L.S., Lewis C.D., et al. First evidence of the A302S Rdl insecticide resistance mutation in populations of the bed bug, *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) in North America // J. Med. Entomol. 2025. Vol. 62, N 3. P. 740–744.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjac033>
EDN: <https://elibrary.ru/bomgst>
 38. Нурисламова А.Р., Кинарейкина А.Г., Янгирова Л.Я. и др. Сравнительная токсичность хлорфенапира для имаго *Musca domestica* разных линий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 12. С. 113–120.
DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-12-113-120> EDN: <https://elibrary.ru/pjwuua>
 39. Ihara M. Ligand-gated ion channels as targets of neuroactive insecticides // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2022. Vol. 86, N 2. P. 157–164. DOI: <https://doi.org/10.1093/bbb/zbab202>
EDN: <https://elibrary.ru/goruox>
 40. Sial M.U., Mehmood K., Saeed S., et al. Neonicotinoid's resistance monitoring, diagnostic mechanisms and cytochrome P450 expression in green peach aphid [*Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae)] // PLoS One. 2022. Vol. 17, N 8. P. e0272184.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272184>
EDN: <https://elibrary.ru/sthkzu>
 41. Zhang K., Chen L., Chen J., et al. Mutation V65I in the $\beta 1$ subunit of the nicotinic acetylcholine receptor confers neonicotinoid and sulfoxaflor resistance in insects // J. Agric. Food Chem. 2024. Vol. 72, N 11. P. 5671–5681.
DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09456>
EDN: <https://elibrary.ru/whxhgi>
 42. Abbas N., Ijaz M., Shad S.A., Binyameen M. Assessment of resistance risk to fipronil and cross resistance to other insecticides in the *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) // Vet. Parasitol. 2016. Vol. 223. P. 71–76.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.04.026>
 43. Abbas N., Khan H.A.A., Shad S.A. Resistance of the house fly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to lambda-cyhalothrin: mode of inheritance, realized heritability, and cross-resistance to other insecticides // Ecotoxicology. 2014. Vol. 23. P. 791–801.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1217-7>
EDN: <https://elibrary.ru/pdecoh>

REFERENCES

1. Eremina O.Yu. Insects – mechanical vectors of pathogens causing human infectious diseases (literature review). Disinfection Affairs. 2020;(3):41–54.
DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2020-1-37-54>
EDN: <https://elibrary.ru/ppbfgy> (In Russ.)
2. Sulaiman I.M., Jacobs E., Simpson S., Kerdahi K. Identification of 18 vector species belonging to Group I, Group II, and Group III "Dirty 22" species known to contaminate food and spread foodborne pathogens: DNA barcoding study of public health importance. Int. J. Trop. Insect Sci. 2017;37(1):1–10.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742758416000217>
EDN: <https://elibrary.ru/yxmgef>
3. Hafez A.M. First evaluation of field evolved resistance to commonly used insecticides in house fly

- populations from Saudi Arabian dairy farms. *Insects*. 2021;12(12):1120.
DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12121120>
EDN: <https://elibrary.ru/uvvilp>
4. Khan H.A.A. Characterization of permethrin resistance in a *Musca domestica* strain: Resistance development, cross-resistance potential and realized heritability. *Pest Manag. Sci.* 2019;75:2969–2974.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5409>
EDN: <https://elibrary.ru/nvnrtk>
 5. Abbas N., Abubakar M., Hassan M.W., et al. Risk assessment of flonicamid resistance in *Musca domestica* (Diptera: Muscidae): Resistance monitoring, inheritance, and cross-resistance potential. *J. Med. Entomol.* 2021;58:1779–1787.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjab036>
EDN: <https://elibrary.ru/crnhfj>
 6. Sparks T.C., Crossthwaite A.J., Nauen R., et al. Insecticides, biologics and nematocides: updates to IRAC's mode of action classification – a tool for resistance management. *Pestic. Biochem. Physiol.* 2020;167:104587.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
EDN: <https://elibrary.ru/ztiajj>
 7. Mota-Sanchez D., Wise J.C. The Arthropod Pesticide Resistance Database. 2026. URL: <https://www.pesticideresistance.org/search.php>
 8. Zhang Y., Guo M., Ma Z., et al. Esterase-mediated spinosad resistance in house flies *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Ecotoxicology*. 2020;29(1):35–44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02125-y>
EDN: <https://elibrary.ru/sgxufb>
 9. Cetin H., Yanikoglu A., Akarsu E., et al. Monitoring of thiamethoxam resistance in Turkish house fly strains, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *J. Arthropod Borne Dis.* 2023;17(3):206–213.
DOI: <https://doi.org/10.18502/jad.v17i3.14982>
EDN: <https://elibrary.ru/mxtpbk>
 10. Khan H.A.A. Lack of fitness costs associated with resistance to permethrin in *Musca domestica*. *Sci. Rep.* 2024;14(1):245.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50469-7>
EDN: <https://elibrary.ru/swbako>
 11. Determination of the level of sensitivity of arthropods of medical significance to insectoacaricides: methodological guidelines MU 3.5.2.4105-24. Moscow; 2024. (In Russ.)
 12. Sokolyanskaya M.P., Amirkhanov D.V. Dynamics of the formation of resistance of the housefly to insecticides from different chemical classes. *Plant Protection Bulletin*. 2008;(4):22–32.
DOI: <https://doi.org/10.31993/1727-1320>
EDN: <https://elibrary.ru/kaummp> (In Russ.)
 13. Sukhoruchenko G.I., Dolzhenko V.I., Gannibal F.B., et al. Resistance of harmful arthropods, phytopathogenic fungi and rodents to pesticides. St. Petersburg; 2024. 672 p.
EDN: <https://elibrary.ru/thepjl> (In Russ.)
 14. Derbeneva-Ukhova V.P., Morozova V.P. A case of the emergence of DDT resistance in the housefly. *Medical Parasitology and Parasitic Diseases*. 1950;19(5):464–467. (In Russ.)
 15. Sukhova M.N., Gvozdeva I.V., Misnik M.M., et al. Susceptibility to chlorophos, trichlormetaphos, metaphos, DDT, HCH, and polychloropinene in housefly populations after long-term use of these insecticides. *Hygiene, Microbiology and Epidemiology*. 1965;(8):7–13. (In Russ.)
 16. Roslavitseva S.A. Resistance to insectoacaricides in arthropods of epidemiological and sanitary-hygienic significance. Moscow; 2006.
EDN: <https://elibrary.ru/qlnznb> (In Russ.)
 17. Sukhova M.N., Gvozdeva I.V., Teterovskaya T.O., et al. On the population size of synanthropic flies in various regions of the USSR and ways of their further destruction. In: Problems of Parasitology. Kyiv; 1972;2:311–312. (In Russ.)
 18. Roslavitseva S.A., Eremina O.Yu., Bakanova E.I., Polyakova Yu.B. Study of some enzyme systems in natural populations of houseflies *Musca domestica* highly resistant to organophosphorus insecticides. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*. 1993;(5):722–731. (In Russ.)
 19. Eremina O.Yu., Bakanova E.I., Roslavitseva S.A. Study of the possibilities of using some enzyme systems of natural populations of houseflies as biological indicators of environmental quality. *Toxicological Bulletin*. 1995;(1):32–38. (In Russ.)
 20. Eremina O.Yu., Bakanova E.I., Polyakova Yu.V., et al. Biochemical characteristics of natural populations of houseflies in connection with industrial and pesticide pollution of the environment. *Agrochemistry*. 1997;(9):73–77. (In Russ.)
 21. Roslavitseva S.A., Eremina O.Yu., Bakanova E.I., et al. Study of the mechanisms of insect resistance to insecticides (using natural populations of houseflies *Musca domestica* as an example). *Agrochemistry*. 1998;(10):14–23. (In Russ.)
 22. Davlianidze T.A., Eremina O.Yu., Olifer V.V. Insecticide resistance of the housefly *Musca domestica* in the central European part of Russia. *Plant Protection Bulletin*. 2022;105(3):114–121. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-3-15346>
EDN: <https://elibrary.ru/lidwqd> (In Russ.)
 23. Naqqash M.N., Gökçe A., Bakhsh A., Salim M. Insecticide resistance and its molecular basis in urban insect pests. *Parasitol. Res.* 2016;115(4):1363–1373. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4898-9>
EDN: <https://elibrary.ru/knemyd>
 24. Melnichuk A.D., Krestonoshina K.S., Kinareykina A.G., et al. Analysis of insecticidal resistance to pyrethroids, organophosphorus compounds and carbamates in *Musca domestica* L. by the PCR-RFLP method. *Veterinary Science Today*. 2025;14(1):101–108. DOI: <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-1-101-108>
EDN: <https://elibrary.ru/zltowz> (In Russ.)
 25. Levchenko M.A., Silivanova E.A., Khlyzova T.A., et al. Sensitivity of the natural population of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to pyrethroid insecticides. *Russian Journal of Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2017;(4):71–75. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-147-151>
EDN: <https://elibrary.ru/ymeyas> (In Russ.)

26. Polyakova Yu.B. Housefly *Musca domestica* L. (Diptera, Muscidae) as a bioindicator of technogenic pollution of the environment. *Entomological Review*. 1998;77(2):289–294.
EDN: <https://elibrary.ru/hvfbbj> (In Russ.)
27. Pavlov S.D., Pavlova R.P., Mavlyutov S.M. On the resistance of insects of the midge-housefly complex to the action of modern insecticides. In: Entomological studies in Northern Asia: Proceedings of VII Interregional meeting of entomologists of Siberia and the Far East within the framework of the Siberian Zoological Conference (Novosibirsk, September 20–24, 2006). Novosibirsk; 2006:416–418.
EDN: <https://elibrary.ru/ttwhrz> (In Russ.)
28. Davlianidze T.A., Eremina O.Yu., Olifer V.V. Intestinal action of modern insecticides on multi-resistant cultures of houseflies *Musca domestica*. *Plant Protection Bulletin*. 2023;106(3):156–164. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-15487>
EDN: <https://elibrary.ru/mkvasp> (In Russ.)
29. Scott J.G. Evolution of resistance to pyrethroid insecticides in *Musca domestica*. *Pest Manag. Sci*. 2017;73(4):716–722.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4328>
EDN: <https://elibrary.ru/wkcfnv>
30. Roca-Acevedo G., Boscaro I., Toloza A.C. Global pattern of kdr-type alleles in *Musca domestica* (L.). *Curr. Trop. Med. Rep.* 2023;10(1):1–10.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40475-022-00281-6>
EDN: <https://elibrary.ru/ibimxq>
31. Silivanova E.A., Kinareykina A.G. Metabolic resistance to insecticides in the housefly *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). In: Conceptual and applied aspects of scientific research and education in the field of invertebrate zoology: collection of articles of the VI International Conference (Tomsk, October 20–23, 2025). Tomsk; 2025:131–134. DOI: <https://doi.org/10.17223/978-5-907890-82-4-2025-26>
EDN: <https://elibrary.ru/wbwyjr> (In Russ.)
32. Levchenko M.A., Silivanova E.A., Plashkina V.A., et al. Resistance of natural populations of *Musca domestica* L. to modern insecticides. *Russian Journal of Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2019;(4):407–412. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.201904011>
EDN: <https://elibrary.ru/kfvdwtw> (In Russ.)
33. Levchenko M.A. Evaluation of the effectiveness of fipronil and chlorfenapyr against *Musca domestica* L. at veterinary inspection sites. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2020;(12):147–151. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-147-151>
EDN: <https://elibrary.ru/uceubi> (In Russ.)
34. Levchenko M.A., Silivanova E.A., Shumilova P.A., Sennikova N.A. Insecticide susceptibility and enzymatic activity in *Musca domestica* L. natural populations. *Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2021:428–435. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202104008>
EDN: <https://elibrary.ru/vntmak> (In Russ.)
35. Silivanova E.A., Shumilova P.A., Levchenko M.A. Sensitivity to insecticides and activity of detoxification enzymes in *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) of the natural population. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2020;(12):102–109. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-102-109>
EDN: <https://elibrary.ru/oizswv> (In Russ.)
36. González-Morales M.A., DeVries Z.C., Santangelo R.G., et al. Multiple mechanisms confer fipronil resistance in the German cockroach: enhanced detoxification and Rdl mutation. *J. Med. Entomol.* 2022;59(5):1721–1731.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjac100>
EDN: <https://elibrary.ru/titaqp>
37. Block C.J., Miles L.S., Lewis C.D., et al. First evidence of the A302S Rdl insecticide resistance mutation in populations of the bed bug, *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) in North America. *J. Med. Entomol.* 2025;62(3):740–744.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjaf033>
EDN: <https://elibrary.ru/bomgst>
38. Nurislamova A.R., Kinareykina A.G., Yangirova L.Ya., et al. Comparative toxicity of chlorfenapyr for *Musca domestica* adults of different lines. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2024;(12):113–120. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-12-113-120>
EDN: <https://elibrary.ru/pjwuua> (In Russ.)
39. Ihara M. Ligand-gated ion channels as targets of neuroactive insecticides. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2022;86(2):157–164.
DOI: <https://doi.org/10.1093/bbb/zbab202>
EDN: <https://elibrary.ru/goruoxx>
40. Sial M.U., Mehmood K., Saeed S., et al. Neonicotinoid's resistance monitoring, diagnostic mechanisms and cytochrome P450 expression in green peach aphid [*Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae)]. *PLoS One*. 2022;17(8):e0272184.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272184>
EDN: <https://elibrary.ru/sthkzu>
41. Zhang K., Chen L., Chen J., et al. Mutation V65I in the $\beta 1$ subunit of the nicotinic acetylcholine receptor confers neonicotinoid and sulfoxaflor resistance in insects. *J. Agric. Food Chem.* 2024;72(11):5671–5681. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09456>
EDN: <https://elibrary.ru/whxhgi>
42. Abbas N., Ijaz M., Shad S.A., Binyameen M. Assessment of resistance risk to fipronil and cross resistance to other insecticides in the *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Vet. Parasitol.* 2016;223:71–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.04.026>
43. Abbas N., Khan H.A.A., Shad S.A. Resistance of the house fly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to lambda-cyhalothrin: mode of inheritance, realized heritability, and cross-resistance to other insecticides. *Ecotoxicology*. 2014;23:791–801.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1217-7>
EDN: <https://elibrary.ru/pdecoh>

Сведения об авторах

Ерёмина Ольга Юрьевна — д-р биол. наук, в. н. с. отдела дезинсекции Института дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана», Москва, Россия
e-mail: eremina_insect@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8268-2230>

Олифер Вероника Валентиновна — канд. биол. наук, в. н. с. отдела дезинсекции Института дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана», Москва, Россия

e-mail: olifer.vv@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4736-7905>

Вклад авторов: *Еремина О.Ю.* — подбор литературы и написание первого варианта статьи, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; *Олифер В.В.* — редактирование текста, дополнение и утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи. Все соавторы — проведение энтомо-токсикологических исследований, написание и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Information about the authors

Olga Yu. Eremina — Dr. Sci. (Biol.), leading researcher, Institute of Disinfectology, Federal Scientific Center of

Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia

e-mail: eremina_insect@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8268-2230>

Veronika V. Olifer — Cand. Sci. (Biol.), leading researcher, Institute of Disinfectology, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow, Russia

e-mail: olifer.vv@fncg.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4736-7905>

Contributions: *Eremina O.Yu.* — selection of literature and writing the first version of the article, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; *Olifer V.V.* — text editing, addition and approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article. All co-authors — conducted entomological and toxicological studies, wrote and edited the text, approved the final version of the article, and are responsible for the integrity of all parts of the article.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Редакционная статья

EDN: <https://elibrary.ru/PAJTTL>

© РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «ДЕЗИНФЕКТОЛОГИЯ», 2026

150 лет назад установлена роль кровососущих насекомых в распространении сыпного и возвратного тифов

Российскими исследователями рубежа XIX–XX вв. были заложены основы современных представлений об этиологии и патогенезе многих инфекционных и паразитарных болезней, природе иммунитета, закономерностях распространения эпидемий. Передовых русских врачей отличали героизм, следование нравственным идеалам, готовность жертвовать собой во имя науки. Эти черты проявлялись и в опытах самозаражения, навсегда вошедших в историю отечественной науки и здравоохранения.

В 1876 г., полтора века назад, русский врач-бактериолог Осип Осипович Мочутковский установил роль кровососущих насекомых в распространении сыпного и возвратного тифов.

Столетиями человечество страдало от тифа, этиология, патогенез и пути передачи которого не были известны. До конца XIX в. не существовало дифференциации тифа на брюшной, сыпной и возвратный, но такая необходимость появилась. Эмпирически установили, что устранение водного пути передачи способствовало снижению заболеваемости тифом, но не полностью. Необходимо было понять, как же ещё может передаваться эта тяжёлая болезнь. О роли кровососущих насекомых, переносчиков сыпного и возвратного тифа, не догадывались достаточно долго.

После открытия возбудителя возвратного тифа в 1873 г. прозектор Григорий Николаевич Минх решил начать исследования в этой области. Он ввёл себе кровь больного возвратным тифом. Затем этого исследователь поставил себе термометр и взял записную книжку, чтобы фиксировать течение болезни. Так его и госпитализировали в инфекционное отделение его же больницы. Г.Н. Минх попросил заведующего инфекционным отделением Осипа Мочутковского ничего не предпринимать, чтобы исследовать болезнь в нормальном течении, и едва не погиб во время третьего приступа.



Осип Осипович Мочутковский (1845–1903)

О.О. Мочутковский хотел было снизить жар, посадив пациента в холодную ванну, но тот грозился выпрыгнуть в окно. Вскоре в крови идущего на поправку Григория Николаевича нашли тифозную спирохету – первое свидетельство того, что заражение может происходить через кровь, а кровососущие насекомые являются наиболее вероятными переносчиками.

Эксперимент произвёл на инфекциониста Осипа Осиповича Мочутковского настолько сильное впечатление, что 10 марта 1876 г. он поставил такой же опыт, но уже с сыпным тифом: ввёл себе кровь больного сыпным тифом и через 18 дней тяжело заболел. Врач чуть не умер, осложнениями стали миокардит, мигрень и ослабление памяти. Эти эксперименты позволили доказать, что возбудители сыпного и возвратного тифов находятся в крови больных. На основе полученных данных О.О. Мочутковский выдвинул предположение о том, что переносчиками этих болезней являются кровососущие насекомые, доказал, что «нет возвратного

тифа без спирохет, нет спирохет без возвратного тифа». О.О. Мочутковский экспериментально доказал наличие возбудителей сыпного и возвратного тифов в крови больного и патогенность последней в течение инфекционного периода, задолго до Шарля Жюль Анри Николя (1900 г.) установил возможность передачи сыпного тифа через укусы платяных вшей и обосновал рациональные специфические меры борьбы с этими болезнями. После этого эксперимента О.О. Мочутковский защитил диссертацию на соискание степени доктора медицины на тему «Материалы для патологии и терапии возвратного тифа».

В историческом письме редактору еженедельной газете Московского хирургического общества «Летопись врачебная» от 14 февраля 1878 г. Г.Н. Минх предложил исследователям «набрать небольшое число известных насекомых (клопов, блох...), которых легко найти...».

Однако в то время гипотеза о роли насекомых вызвала скептицизм в медицинском сообществе, поскольку оба исследователя работали в больнице и могли заразиться от пациентов. Окончательно роль вшей в передаче сыпного тифа научно подтвердил французский учёный Шарль Жюль Анри Николь в 1900 г.

На основании своих исследований О.О. Мочутковский написал «Наблюдения над возвратным тифом» — труд, опубликованный в 1880 г. (цензурное разрешение на издание — 1880–1881). Сначала работа вышла отдельными оттисками (два экземпляра) в Санкт-Петербурге в типографии Я. Трея. Позже часть материалов напечатали в журнале «Врач» (1880, № 19, 40). Одновременно О.О. Мочутковский опубликовал свой труд в немецком журнале *Deutsches Archiv für klinische Medizin* (1880, Bd. XIV, S. 165).

В «Наблюдениях над возвратным тифом» автор подробно разбирает клинические проявления болезни, анализирует течение случаев и делает выводы, которые расширили знания о природе возвратного тифа. Один из важных выводов, к которому он пришёл на основе наблюдений (в том числе за конкретным случаем, когда пациент повторно заразился через некоторое время после выздоровления), касался возможности повторного заболевания, что было важно для эпидемиологических выводов. Эта работа О.О. Мочутковского стала частью цепочки исследований, которая в итоге привела к пониманию механизма передачи тифов через кровососущих членистоногих.

Обзор подготовлен А.С. Аксеновой

Календарь мероприятий на июль – декабрь 2026 года

5–10 июля 2026 года, п. Эльбрус

Организаторы: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; Научный совет РАН по материалам и наноматериалам; Научный совет ПАН по высокомолекулярным соединениям; Институт проблем химической физики и медицинской химии РАН; МИРЭА — Российский технологический университет; Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева; Ивановский государственный политехнический университет; Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН; Тульский государственный университет; Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна; Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева

**XXII Международная научно-практическая конференция
«Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения»**

10–11 сентября 2026 года, г. Москва

Организатор: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова

**Научно-практическая конференция «Микробиология пищевых
продуктов: актуальные тенденции и инновационные решения»**

22–23 сентября 2026 года, г. Москва

Организатор: Институт дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора

**Конференция с международным участием «Перспективы
дезинфектологии. Дезинфекционные мероприятия в условиях
чрезвычайных ситуаций и на территориях природных очагов
инфекционных болезней»**

24–25 сентября 2026 года; г. Краснодар

Организатор: Ассоциация «ПестКонтроль Союз»

VIII ежегодная конференция Ассоциации «ПестКонтроль Союз»

20–22 октября 2026 года; г. Москва

Организатор: Наблюдательный совет Федерации лабораторной медицины

**Российский конгресс лабораторной медицины Федерации лабораторной
медицины**

21–22 октября 2026 года, г. Иркутск

*Организатор: ФКУЗ «Иркутский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский противочумный институт Сибири
и Дальнего Востока» Роспотребнадзора*

**XVIII Межгосударственная научно-практическая конференция
государств – участников СНГ «Современные проблемы санитарной
охраны территории от завоза и распространения чумы и других
опасных инфекционных болезней»**

11–12 ноября 2026 года, г. Москва*Организатор: Национальная организация дезинфекционистов*

**Научно-практическая конференция «35 лет за безопасность
и санитарно-эпидемиологическое благополучие страны»**

19–20 ноября 2026 года, г. Мытищи*Организатор: ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора*

**IV Всероссийский научный конгресс с международным участием
«Эрисмановские чтения – 2026. Гигиенические основы безопасности
жизнедеятельности человека в формировании здорового и активного
трудового долголетия»**

26–27 ноября 2026 года, г. Москва*Организатор: ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии»
Роспотребнадзора*

**XIV Конгресс с международным участием «Эпидемиология и
профилактика инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи
(ИСМП-2026)»**



Конференция



Научно-практическая конференция с международным участием «Перспективы дезинфектологии. Дезинфекционные мероприятия в условиях чрезвычайных ситуаций и на территориях природных очагов инфекционных болезней»

Уважаемые коллеги!

С 22 по 23 сентября 2026 г. в конференц-зале отеля «Измайлово Альфа» планируется проведение научно-практической конференции с международным участием «Перспективы дезинфектологии. Дезинфекционные мероприятия в условиях чрезвычайных ситуаций и на территориях природных очагов инфекционных болезней». Адрес отеля «Измайлово Альфа»: 105187, Москва, Измайловское шоссе, д. 71, корп. А.

Организаторами мероприятия являются Роспотребнадзор (приказ от 17.04.2026 г. № 279), ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора и Институт дезинфектологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора.

В 2026 г. конференция посвящена повышению качества и безопасности дезинфекционных обработок за счёт внедрения инновационных методов и современных технологий в условиях чрезвычайных ситуаций и на территориях природных очагов инфекционных болезней.

В рамках научно-деловой программы конференции запланировано обсуждение вопросов обеззараживания воды, объектов и жилых помещений, почвы, продовольствия, а также современных подходов к дезинсекции и дератизации в условиях чрезвычайных ситуаций и на территориях природных очагов с учётом резистентности к дезинфекционным средствам. Особое внимание будет уделено работе учреждений дезинфекционного профиля с учётом лицензирования деятельности, подходам к оценке ситуации и контролю эффективности проведенных мероприятий, выбору дезинфекционных средств и оборудования в условиях чрезвычайных ситуаций.

В мероприятии примут участие учёные, специалисты-практики учреждений Роспотребнадзора; представители Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по субъектам Российской Федерации; специалисты органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в сфере охраны здоровья, в области ветеринарии; специалисты медицинских и образовательных учреждений; производители дезинфекционных средств и оборудования; поставщики услуг по дезинфекции, дезинсекции и дератизации.

В рамках конференции запланированы широкая научная программа, круглый стол, дискуссии, конкурс работ молодых учёных, а также выставка «Современные методы, средства и технологии дезинфекции и стерилизации».

Приглашаем принять участие в мероприятии.

Ознакомиться с программой и зарегистрироваться можно на странице мероприятия: <https://niid-conf.ru/>

Программа конференции подана на аккредитацию в системе НМО для специалистов с высшим медицинским образованием.

В номере:

- Цитотоксичность наночастиц оксида железа на клеточных культурах *in vitro*
- База данных исторического контроля биохимических показателей сыворотки крови крыс
- Параметры системы антиоксидантной защиты у крыс на фоне прерывистого голодания
- Эффект прерывистого голодания на вариабельность сердечного ритма крыс
- Воздействие серой крысы и домовый мыши на звукоизоляционно-утеплительные материалы и электрические кабели
- Комнатная муха *Musca domestica* — эволюция резистентности к инсектицидам в России

<https://www.dezinfektologiya.ru>

<https://ниид.рф/>