



RUSSIAN MONTHLY PEER-REVIEWED
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

**PUBLIC HEALTH AND
LIFE ENVIRONMENT**

MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

ЗНиСО

ISSN 2219-5238 (Print)
ISSN 2619-0788 (Online)

16+

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И СРЕДА ОБИТАНИЯ

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya – ZNiSO

Основан в 1993 г.

Established in 1993

№3

Том 33 · 2025

Vol. 33 · 2025

Журнал входит в рекомендованный Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК) Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Журнал зарегистрирован в каталоге периодических изданий *Uirich's Periodicals Directory*,
входит в коллекцию Национальной медицинской библиотеки (США).

Журнал представлен на платформах агрегаторов «eLIBRARY.RU», «КиберЛенинка», входит в коллекцию реферативно-аналитической базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), баз данных: Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, Scopus, РГБ, Dimensions, LENS.ORG, Google Scholar, VINITI RAN.

**Здоровье населения
и среда обитания –
ЗНиСО**

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 33 № 3 2025
Выходит 12 раз в год
Основан в 1993 г.

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС 77-71110
от 22 сентября 2017 г. (печатное
издание)

Учредитель: Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии»
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
(ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора)

Цель: распространение основных результатов научных исследований и практических достижений в области гигиены, эпидемиологии, общественного здоровья и здравоохранения, медицины труда, социологии медицины, медико-социальной экспертизы и медико-социальной реабилитации на российском и международном уровне.

Задачи журнала:

- Расширять свою издательскую деятельность путем повышения географического охвата публикуемых материалов (в том числе с помощью большего вовлечения представителей международного научного сообщества).
- Неукоснительно следовать принципам исследовательской и издательской этики, беспристрастно оценивать и тщательно отбирать публикации, для исключения неэтичных действий или плагиата со стороны авторов, нарушения общепринятых принципов проведения исследований.
- Обеспечить свободу контента, редакторов и редсовета журнала от коммерческого, финансового или иного давления, дискредитирующего его беспристрастность или снижающего доверие к нему.

Все рукописи подвергаются рецензированию.
Всем статьям присваивается индивидуальный код DOI (Crossref DOI prefix: 10.35627).

Для публикации в журнале: статьи в электронном виде должны быть отправлены через личный кабинет автора на сайте zniso.fcge.ru/

© ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора,
2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А.Ю. Попова
Д.м.н., проф., Заслуженный врач Российской Федерации; Руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главный государственный санитарный врач Российской Федерации; заведующий кафедрой организации санитарно-эпидемиологической службы ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора Р.К. Фридман

К.м.н.; главный врач ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора Г.М. Трухина (научный редактор)

Д.м.н., проф., Заслуженный деятель науки Российской Федерации; руководитель отдела микробиологических методов исследования окружающей среды института комплексных проблем гигиены ФБУН «ФНЦ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)

Ответственный секретарь Н.А. Горбачева

К.м.н.; заместитель заведующего учебно-издательским отделом ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)

В.Г. Акимкин д.м.н., проф., академик РАН, Заслуженный врач Российской Федерации; директор ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора; заведующий кафедрой дезинфектологии ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) (г. Москва, Российская Федерация)

Е.В. Ануфриева д.м.н., доц.; заместитель директора по научной работе ГАУ ДПО «Уральский институт (научный редактор) правления здравоохранением имени А.Б. Блохина»; главный детский внештатный специалист по медицинской помощи в образовательных организациях Минздрава России по Уральскому федеральному округу (г. Екатеринбург, Российская Федерация)

А.М. Большаков д.м.н., проф. (г. Москва, Российская Федерация)

Н.В. Зайцева д.м.н., проф., акад. РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; научный руководитель ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровья населения» Роспотребнадзора (г. Пермь, Российская Федерация)

О.Ю. Милушкина д.м.н., доц.; проректор по учебной работе, заведующий кафедрой гигиены педиатрического факультета ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)

Н.В. Рудаков д.м.н., проф., акад. РАЕН; директор ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии ФГБОУ ВО «Омский ГМУ» Минздрава России (г. Омск, Российская Федерация)

О.Е. Троценко д.м.н.; директор ФБУН «Хабаровский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» Роспотребнадзора (г. Хабаровск, Российская Федерация)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

А.В. Алексинов д.м.н., проф.; заместитель начальника ФГБУ «Третий центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского» Минобороны России по исследовательской и научной работе (г. Москва, Российская Федерация)

В.А. Алешкин д.б.н., проф., Заслуженный деятель науки Российской Федерации; научный руководитель ФБУН «Московский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)

С.В. Балахонов д.м.н., проф.; директор ФКУЗ «Иркутский научно-исследовательский противочумный институт» Роспотребнадзора (г. Иркутск, Российская Федерация)

Н.А. Бокарева д.м.н., доц.; профессор кафедры гигиены педиатрического факультета ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)

Е.Л. Борщук д.м.н., проф.; Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации; заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения №1 ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Оренбург, Российская Федерация)

Н.И. Брико д.м.н., проф., акад. РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; директор института общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана, заведующий кафедрой эпидемиологии и доказательной медицины ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) (г. Москва, Российская Федерация)

В.Б. Гурвич д.м.н., Заслуженный врач Российской Федерации; научный руководитель ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора (г. Екатеринбург, Российская Федерация)

Т.К. Дзагурова д.м.н.; заведующий лабораторией геморрагических лихорадок ФГАНУ «ФНЦИРИП им. М.П. Чумакова РАН» (Институт полиомиелита) (г. Москва, Российская Федерация)

С.Н. Киселев д.м.н., проф.; проректор по учебно-воспитательной работе, заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Хабаровск, Российская Федерация)

О.В. Клепиков д.б.н., проф.; профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж, Российская Федерация)

В.Т. Комов д.б.н., проф.; заместитель директора по научной работе ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН» (г. Борок, Ярославская обл., Российская Федерация)

Э.И. Коренберг д.б.н., проф., акад. РАЕН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный научный сотрудник, заведующий лабораторией переносчиков инфекций ФГБУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)

В.М. Корзун д.б.н.; старший научный сотрудник, заведующий зоолого-паразитологическим отделом ФКУЗ «Иркутский орден Трудового Красного Знамени НИИ противочумный институт Сибири и Дальнего Востока» Роспотребнадзора (г. Иркутск, Российская Федерация)

Е.А. Кузьмина к.м.н.; заместитель главного врача ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация)

В.В. Кутырев д.м.н., проф., акад. РАН; директор ФКУЗ «Российский научно-исследовательский противочумный институт „Микроб“» Роспотребнадзора (г. Саратов, Российская Федерация)

Н.А. Лебедева-Несеяра д.социол.н., доц.; заведующий лабораторией методов анализа социальных рисков ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровья населения» Роспотребнадзора (г. Пермь, Российская Федерация)

А.В. Мельцер д.м.н., доц.; проректор по развитию регионального здравоохранения и медико-профилактическому направлению, заведующий кафедрой профилактической медицины и охраны здоровья ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А.Н. Покида	к.социол.н.; директор Научно-исследовательского центра социально-политического мониторинга Института общественных наук ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации) (г. Москва, Российская Федерация)
Н.В. Полунина	д.м.н., проф., акад. РАН; заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения имени академика Ю.П. Лисицына педиатрического факультета ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)
Л.В. Прокопенко	д.м.н., проф.; заведующая лабораторией физических факторов отдела по изучению гигиенических проблем в медицине труда ФГБУН «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (г. Москва, Российская Федерация)
И.К. Романович	д.м.н., проф., акад. РАН; директор ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Роспотребнадзора (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)
В.Ю. Семенов	д.м.н., проф.; заместитель директора по организационно-методической работе Института коронарной и сосудистой хирургии им. В.И. Бураковского ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)
С.А. Судынин	д.социол.н., доц.; заведующий кафедрой общей социологии и социальной работы факультета социальных наук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (г. Нижний Новгород, Российская Федерация)
А.В. Суров	д.б.н., членкор РАН; заместитель директора по науке, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией сравнительной этиологии биокоммуникации ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» РАН (г. Москва, Российская Федерация)
В.А. Тутельян	д.м.н., проф., акад. РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи»; член Президиума РАН, главный внештатный специалист – диетолог Минздрава России, заведующий кафедрой гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), эксперт ВОЗ по безопасности пищи (г. Москва, Российская Федерация)
Л.А. Хляп	к.б.н.; старший научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» РАН (ИПЭЭ РАН) (г. Москва, Российская Федерация)
В.П. Чащин	д.м.н., проф., Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)
А.Б. Шевелев	д.б.н.; главный научный сотрудник группы биотехнологии и геномного редактирования ИОГен РАН (г. Москва, Российская Федерация)
Д.А. Шпилев	д.социол.н., доц.; профессор кафедры криминологии Нижегородской академии МВД России, профессор кафедры общей социологии и социальной работы факультета социальных наук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (г. Нижний Новгород, Российская Федерация)
М.Ю. Щелканов	д.б.н., доц.; директор ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова» Роспотребнадзора, заведующий базовой кафедрой эпидемиологии, микробиологии и паразитологии с Международным научно-образовательным Центром биологической безопасности в Институте наук о жизни и биомедицины ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», заведующий лабораторией вирусологии ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН (г. Владивосток, Российская Федерация)
В.О. Щепин	д.м.н., проф., членкор РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный научный сотрудник, руководитель научного направления ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко» (г. Москва, Российская Федерация)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

К. Баждарич	доктор психологии; старший научный сотрудник кафедры медицинской информатики медицинского факультета Университета Риеки (г. Риека, Хорватия)
А.Т. Досмухаметов	к.м.н., руководитель Управления международного сотрудничества, менеджмента образовательных и научных программ Филиала «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологического экспертизы и мониторинга» (НПЦ СЭЭиМ) РГПП на ПХВ «Национального Центра общественного здравоохранения» (НЦОЗ) Министерства здравоохранения Республики Казахстан (г. Алматы, Республика Казахстан)
В.С. Глушанко	д.м.н., заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения с курсом ФПК и ПК, профессор учреждения образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» Министерства здравоохранения Республики Беларусь (г. Витебск, Республика Беларусь)
М.А. оглы Казимов	д.м.н., проф.; заведующий кафедрой общей гигиены и экологии Азербайджанского медицинского университета (г. Баку, Азербайджан)
Ю.П. Курхинен	д.б.н.; приглашенный учений (программа исследований в области органической и эволюционной биологии), Хельсинский университет, (Финляндия), ведущий научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем Института леса Карельского научно-исследовательского центра РАН (г. Петрозаводск, Российская Федерация)
С.И. Сычик	к.м.н., доц.; директор Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» (г. Минск, Беларусь)
И. Томассен	Cand. real. (аналит. химия), профессор Национального института гигиены труда (г. Осло, Норвегия); ведущий научный лаборатории арктического биомониторинга САФУ (г. Архангельск, Российская Федерация)
Ю.О. Удланд	доктор философии (мед.), профессор глобального здравоохранения, Норвежский университет естественных и технических наук (г. Тронхейм, Норвегия); ведущий научный сотрудник института экологии НИУ ВШЭ (г. Москва, Российская Федерация)
Г. Ханн	доктор философии (мед.), профессор; председатель общественной организации «Форум имени Р. Коха и И.И. Мечникова», почетный профессор медицинского университета Шарите (г. Берлин, Германия)
А.М. Цацакис	доктор философии (органическая химия), доктор наук (биофармакология), профессор, иностранный член Российской академии наук, полноправный член Всемирной академии наук, почетный член Федерации европейских токсикологов и европейских обществ токсикологии (Eurotox); заведующий кафедрой токсикологии и судебно-медицинской экспертизы Школы медицины Университета Крита и Университетской клиники Ираклиона (г. Ираклион, Греция)
Ф.-М. Чжан	д.м.н., заведующий кафедрой микробиологии, директор Китайско-российского института инфекции и иммунологии при Харбинском медицинском университете; вице-президент Хэйлунцзянской академии медицинских наук (г. Харбин, Китай)

Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 33 № 3 2025
Выходит 12 раз в год
Основан в 1993 г.

Все права защищены.
Перепечатка и любое воспроиз-
ведение материалов и иллюстра-
ций в печатном или электронном
виде из журнала ЗНиСО допус-
кается только с письменного
разрешения учредителя и изда-
теля – ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотреб-
надзора.
При использовании материалов
ссылка на журнал ЗНиСО
обязательна.

Мнение редакции может не сов-
падать с мнением авторов.
Ответственность за достоверность
информации, содержащейся
в рекламных материалах, несут
рекламодатели.

Контакты редакции:
117105, Москва, Варшавское
шоссе, д. 19А
E-mail: zniso@fcgie.ru
Тел.: +7 (495) 633-1817 доб. 240
факс: +7 (495) 954-0310
Сайт журнала: zniso.fcgie.ru

Издатель:
ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора
117105, Москва, Варшавское
шоссе, д. 19А
E-mail: gsen@fcgie.ru
Тел.: +7 (495) 954-45-36
fcgie.ru

Редактор Я.О. Кин
Корректор Л.А. Зелексон
Переводчик О.Н. Лежнина
Верстка Е.В. Ломанова

Журнал распространяется
по подписке
Подписной индекс по каталогу
агентства «Урал-Пресс» – 40682
Статьи доступны по адресу
www.elibrary.ru
Подписка на электронную версию
журнала: <https://www.elibrary.ru>

По вопросам размещения
рекламы в номере обращаться:
zniso@fcgie.ru,
тел.: +7 (495) 633-1817

Опубликовано 28.03.2025
Формат издания 60x84/8
Печ. л. 9,0
Тираж 1000 экз.
Цена свободная

Здоровье населения и среда
обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 7-72

Отпечатано в типографии
ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора,
117105, Москва, Варшавское
шоссе, д. 19А

© ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора,
2025

EDITORIAL BOARD

Anna Yu. Popova, Editor-in-Chief Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation; Head of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Head of the Department for Organization of Sanitary and Epidemiological Service, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation	Roman K. Friedman, Deputy Editor-in-Chief Cand. Sci. (Med.); Head Doctor of the Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation
Galina M. Trukhina, Deputy Editor-in-Chief (Scientific Editor) Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Head of the Department of Microbiological Methods of Environmental Research, Institute of Complex Problems of Hygiene, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russian Federation	Nataliya A. Gorbacheva, Executive Secretary Cand. Sci. (Med.); Deputy Head of the Department for Educational and Editorial Activities, Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation
Vasiliy G. Akimkin Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Doctor of the Russian Federation; Director of the Central Research Institute of Epidemiology; Head of the Department of Disinfectology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation	Elena V. Anufrieva (Scientific Editor) Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Deputy Director for Research, A.B. Blokhin Ural Institute of Health Care Management; Chief Freelance Specialist in Medical Care in Educational Institutions of the Russian Ministry of Health in the Ural Federal District, Yekaterinburg, Russian Federation
Alexey M. Bolshakov Nina V. Zaitseva Dr. Sci. (Med.), Professor, Moscow, Russian Federation	Olga Yu. Milushkina Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Vice-Rector for Academic Affairs, Head of the Department of Hygiene, Faculty of Pediatrics, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation
Nikolai V. Rudakov Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences; Director of the Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation	Olga E. Trotsenko Dr. Sci. (Med.), Director of the Khabarovsk Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Khabarovsk, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

Vladimir A. Aleshkin Dr. Sci. (Biol.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director of Gabrichesky Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, Russian Federation	Alexander V. Alekhnovich Dr. Sci. (Med.), Professor; Deputy Head for Research and Scientific Work, Vishnevsky Third Central Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation
Sergey A. Balakhonov Dr. Sci. (Med.), Professor; Director of Irkutsk Anti-Plague Research Institute, Irkutsk, Russian Federation	Natalia A. Bokareva Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Professor of the Department of Hygiene, Faculty of Pediatrics, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation
Evgeniy L. Borshchuk Dr. Sci. (Med.), Professor; Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation; Head of the First Department of Public Health and Health Care, Orenburg State Medical University, Orenburg, Russian Federation	Nikolai I. Briko Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Director of F.F. Erisman Institute of Public Health; Head of the Department of Epidemiology and Evidence-Based Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation
Vladimir B. Gurvich Dr. Sci. (Med.), Honored Doctor of the Russian Federation; Scientific Director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, Russian Federation	Tamara K. Dzagurova Dr. Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Hemorrhagic Fevers, Chumakov Federal Scientific Center for Research and Development of Immunobiological Preparations (Institut of Poliomielitis), Moscow, Russian Federation
Sergey N. Kiselev Dr. Sci. (Med.), Professor; Vice-Rector for Education, Head of the Department of Public Health and Health Care, Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation	Oleg V. Klepikov Dr. Sci. (Biol.), Professor; Professor of the Department of Geocology and Environmental Monitoring Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
Victor T. Komov Dr. Sci. (Biol.), Professor; Deputy Director for Research, I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters, Borok, Yaroslavl Region, Russian Federation	Eduard I. Korenberg Dr. Sci. (Biol.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Head of the Laboratory of Disease Vectors, Gamaleya Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, Russian Federation
Vladimir M. Korzun Dr. Sci. (Biol.); Senior Researcher, Head of the Zoological and Parasitological Department, Irkutsk Anti-Plague Research Institute of Siberia and the Far East, Irkutsk, Russian Federation	Elena A. Kuzmina Cand. Sci. (Med.); Deputy Head Doctor, Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation
Vladimir V. Kutyrev Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Director of the Russian Anti-Plague Research Institute "Microbe", Saratov, Russian Federation	Natalia A. Lebedeva-Nesevrya Dr. Sci. (Sociol.), Assoc. Prof.; Head of the Laboratory of Social Risk Analysis Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russian Federation

Alexander V. Meltser	Dr. Sci. (Med.), Professor; Vice-Rector for Development of Regional Health Care and Preventive Medicine, Head of the Department of Preventive Medicine and Health Protection, I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation
Andrei N. Pokida	Cand. Sci. (Sociol.), Director of the Research Center for Socio-Political Monitoring, Institute of Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation
Natalia V. Polunina	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Head of Yu.P. Lisitsyn Department of Public Health and Health Care, Pediatric Faculty, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation
Lyudmila V. Prokopenko	Dr. Sci. (Med.), Professor; Chief Researcher, Department for the Study of Hygienic Problems in Occupational Health, N.F. Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation
Ivan K. Romanovich	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Director of St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Saint Petersburg, Russian Federation
Vladimir Yu. Semenov	Dr. Sci. (Med.), Professor; Deputy Director for Organizational and Methodological Work, V.I. Burakovskiy Institute of Cardiac Surgery, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russian Federation
Sergey A. Sudyin	Dr. Sci. (Sociol.), Head of the Department of General Sociology and Social Work, Faculty of Social Sciences, National Research Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Alexey V. Surov	Dr. Sci. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Deputy Director for Science, Chief Researcher, Head of the Laboratory for Comparative Ethology of Biocommunication, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russian Federation
Victor A. Tutelyan	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director of the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation
Liudmila A. Khlyap	Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Institute of Ecology and Evolution named after A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Valery P. Chashchin	Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russian Federation
Alexey B. Shevelev	Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Biotechnology and Genomic Editing Group, N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Moscow, Russian Federation
Dmitry A. Shpilev	Dr. Sci. (Sociol.), Assoc. Prof.; Professor of the Department of General Sociology and Social Work, Faculty of Social Sciences, N.I. Lobachevsky National Research State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Mikhail Yu. Shchelkanov	Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.; Director of G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Head of the Basic Department of Epidemiology, Microbiology and Parasitology with the International Research and Educational Center for Biological Safety, School of Life Sciences and Biomedicine, Far Eastern Federal University; Head of the Virology Laboratory, Federal Research Center for East Asia Terrestrial Biota Biodiversity, Vladivostok, Russian Federation
Vladimir O. Shchepin	Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Head of Research Direction, N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russian Federation

FOREIGN EDITORIAL COUNCIL

Ksenia Bazhdarich	PhD, Senior Researcher, Medical Informatics Department, Faculty of Medicine, University of Rijeka, Rijeka, Croatia
Askhat T. Dosemukhametov	Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of International Cooperation, Management of Educational and Research Programs, Scientific and Practical Center for Sanitary and Epidemiological Expertise and Monitoring, National Center of Public Health Care of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan
Vasiliy S. Glushanko	Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Public Health and Health Care with the course of the Faculty of Advanced Training and Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, Vitebsk, Republic of Belarus
Mirza A. Kazimov	Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Health and Environment, Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan
Juri P. Kurhinen	Dr. Sci. (Biol.), Visiting Scientist, Research Program in Organismal and Evolutionary Biology, University of Helsinki, Finland; Leading Researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Protection of Forest Ecosystems, Forest Institute, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation
Yngvar Thomassen	Candidatus realium (Chem.), Senior Advisor, National Institute of Occupational Health, Oslo, Norway; Leading Scientist, Arctic Biomonitoring Laboratory, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation
Aristidis Michael Tsatsakis	PhD (Org-Chem), DSc (Biol-Pharm), Professor, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Full Member of the World Academy of Sciences, Honorary Member of EUROTOX; Director of the Department of Toxicology and Forensic Science, School of Medicine, University of Crete and the University Hospital of Heraklion, Heraklion, Greece
Sergey I. Sychik	Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Director of the Republican Scientific and Practical Center for Hygiene, Minsk, Republic of Belarus
Jon Øyvind Odland	MD, PhD, Professor of Global Health, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway; Chair of AMAP Human Health Assessment Group, Tromsø University, Tromsø, Norway
Helmut Hahn	MD, PhD, Professor, President of the R. Koch Medical Society, Berlin, Germany
Feng-Min Zhang	Dr. Sci. (Med.), Chairman of the Department of Microbiology, Director of the China-Russia Institute of Infection and Immunology, Harbin Medical University; Vice President of Heilongjiang Academy of Medical Sciences, Harbin, China

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya – ZNISO

Public Health and Life Environment – PH&LE

Russian monthly peer-reviewed scientific and practical journal

Volume 33, Issue 3, 2025

Established in 1993

All rights reserved. Reprinting and any reproduction of materials and illustrations in printed or electronic form is allowed only with the written permission of the founder and publisher – FBHI Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. A reference to the journal is required when quoting.

Editorial opinion may not coincide with the opinion of the authors. Advertisers are solely responsible for the contents of advertising materials.

Editorial Contacts:
Public Health and Life Environment
Federal Center for Hygiene and
Epidemiology
19A Varshavskoe Shosse, Moscow,
117105, Russian Federation
E-mail: zniso@fcgie.ru
Tel.: +7 495 633-1817 Ext. 240
Fax: +7 495 954-0310
Website: zniso.fcgie.ru

Publisher:
Federal Center for Hygiene and
Epidemiology
19A Varshavskoe Shosse, Moscow,
117105, Russian Federation
E-mail: gse@fcgie.ru
Tel.: +7 495 954-4536
Website: fcgie.ru

Editor Yaroslava O. Kin
Proofreader Lev A. Zeleksion
Interpreter Olga N. Lezhnina
Layout Elena V. Lomanova

The journal is distributed by subscription.
"Ural-Press" Agency Catalog
subscription index – 40682
Articles are available at
www.elibrary.ru
Subscription to the electronic
version of the journal at
www.elibrary.ru
For advertising in the journal,
please write to zniso@fcgie.ru.

Published: March 28, 2025
Publication format: 60x84/8
Printed sheets: 9,0
Circulation: 1,000 copies
Free price

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya. 2025;33(3):7-72.

Published at the Printing House of
the Federal Center for Hygiene and
Epidemiology, 19A Varshavskoe
Shosse, Moscow, 117105

© Federal Center for Hygiene
and Epidemiology of
Rospotrebnadzor, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОЙ ГИГИЕНЫ

Салагай О.О., Сахарова Г.М., Антонов Н.С., Боричевская Е.И. Анализ федерального законодательства в сфере защиты граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции 7

Сеничкина А.М., Портенко С.А., Шарова И.Н., Корешкова О.А., Блинова К.Д., Осина Н.А., Малюкова Т.А. Конструирование панелей шифрованных образцов для подготовки специалистов Роспотребнадзора и валидации новых методик в лабораториях 17

МЕДИЦИНА ТРУДА

Сюрин С.А., Ковшов А.А. Особенности этиопатогенеза пневмокониоза и хронического бронхита у работников пылевых профессий предприятий в Арктике 25

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ

Битюмина Л.А., Куликова Н.Г., Михайлова Ю.В., Каюмова М.У., Рузиев М.М., Шеленков А.А., Карпенко А.Е., Кондратьева Д.К., Манзенюк И.Н., Акимкин В.Г. Фенотипический и генотипический профиль устойчивости к противомикробным препаратам изолятов *Staphylococcus aureus*, выделенных из пищевой продукции на территории Республики Таджикистан 33

Муталиева А.С., Габиден А.Б., Тлеубергенова М.Ж., Куватбаева А.М., Тулемагамбетова А.Е., Утегенова Э.С., Смагул М.А., Есмагамбетова А.С. Эпидемиологический и молекулярно-генетический мониторинг коревой инфекции в Казахстане в 2023 году 41

Исмара К.И., Суприяди Д., Фитриани. Структурная модель факторов соблюдения гигиены рук медсестрами больниц округа Джембер, Индонезия 49

Кузнецова К.Ю., Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Герасимов В.Н., Мальцев В.В., Петрова С.А. Научное обоснование популяционного мониторинга сообщества свободноживущих простейших природных биотопов. Часть 1. Обзор 57

Сироткин М.Б. Условия возможного расширения ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита (на примере Магаданской области и Норвегии) 66

CONTENTS

ISSUES OF MANAGEMENT AND PUBLIC HEALTH

Salagay O.O., Sakharova G.M., Antonov N.S., Borichevskaya E.I. Analysis of federal legislation on protection of citizens from exposure to secondhand tobacco smoke and consequences of tobacco or nicotine product use 7

Senichkina A.M., Portenko S.A., Sharova I.N., Koreshkova O.A., Blinova K.D., Osina N.A., Malyukova T.A. Development of coded sample panels for training of Rosпотребнадзор specialists and validation of new laboratory techniques 17

OCCUPATIONAL MEDICINE

Syurin S.A., Kovshov A.A. Features of etiopathogenesis of pneumoconiosis and chronic bronchitis in workers of dusty occupations at enterprises in the Arctic 25

EPIDEMIOLOGY

Bityumina L.A., Kulikova N.G., Mikhaylova Yu.V., Kayumova M.U., Ruziev M.M., Shelenkov A.A., Karpenko A.E., Kondrateva D.K., Manzeniuk I.N., Akimkin V.G. Phenotypic and genomic profile of foodborne antimicrobial resistant *Staphylococcus aureus* isolated in the Republic of Tajikistan 33

Mutaliyeva A.S., Gabiden A.B., Tleubergenova M.Zh., Kuatbaeva A.M., Tulemagambetova A.E., Utegenova E.S., Smagul M.A., Yesmagambetova A.S. Epidemiological and molecular genetic monitoring of measles in Kazakhstan in 2023 41

Ismara K.I., Supriadi D., Fitriani. A structural model of hand hygiene compliance factors among hospital nurses in Jember, Indonesia 49

Kuznetsova K.Y., Rakhmanin Y.A., Mikhailova R.I., Gerasimov V.N., Maltsev V.V., Petrova S.A. Scientific substantiation of population monitoring of free-living protozoan community in natural biotopes. Communication 1: A review 57

Sirotkin M.B. Conditions for the potential northward expansion of ranges of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis (based on the example of the Magadan Region and Norway) 66



Анализ федерального законодательства в сфере защиты граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции

O.O. Салагай¹, Г.М. Сахарова², Н.С. Антонов², Е.И. Боричевская³

¹ Министерство здравоохранения Российской Федерации,

Рахмановский пер., д. 3, г. Москва, 127994, Российская Федерация

² ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России, ул. Добролюбова, д. 11, г. Москва, 127254, Российская Федерация

³ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, просп. Ленинградский, д. 49/2, г. Москва, 125167, Российская Федерация

Резюме

Введение. В 2013 г. вступил в силу Федеральный закон от 23.02.2013 № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции».

Цель исследования: анализ развития Закона в 2013–2023 гг. с оценкой эффективности внедрения его норм.

Материалы и методы. Эффективность и уровень внедрения норм Закона оценивались с помощью опроса экспертов, работающих в области борьбы против табака в субъектах Российской Федерации. С этой целью была разработана анкета «Оценка эффективности законодательных мер по борьбе против табака». В экспертную группу были включены специалисты, определенные органами государственной власти субъектов Российской Федерации в сфере охраны здоровья. Всего в группу экспертов было включено 402 специалиста из 76 субъектов Российской Федерации.

Результаты. В 2013–2023 гг. в Закон вносились изменения и дополнения посредством принятия федеральных законов. Всего было принято 10 федеральных законов и одно распоряжение Правительства Российской Федерации. К наиболее эффективным мерам эксперты отнесли обеспечение запретов на рекламу, стимулирование продажи и спонсорства со стороны табачных компаний (26,2 %); информирование населения о вреде потребления табака/никотина (25,6 %); предложение медицинской помощи в целях прекращения потребления табака/никотина (20,1 %) и защиту людей от окружающего табачного дыма / аэрозоля ЭСДН (19,5 %). 19,7 % экспертов считали, что уровень внедрения мер недостаточный, а 7,2 % экспертов оценили его как низкий.

Заключение. После принятия в 2013 г. Закон постоянно совершенствовался с учетом оценки эффективности принятых мер по борьбе против табака и появления новых вызовов и тенденций. По мнению экспертов, дальнейшее повышение эффективности Закона может быть обусловлено в первую очередь усилением контроля за его исполнением.

Ключевые слова: табак, никотинсодержащая продукция, антитабачное законодательство, вред табака, меры по борьбе против табака, правовые акты, Российская Федерация.

Для цитирования: Салагай О.О., Сахарова Г.М., Антонов Н.С., Боричевская Е.И. Анализ федерального законодательства в сфере защиты граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 7–16. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-7-16

Analysis of Federal Legislation on Protection of Citizens from Exposure to Secondhand Tobacco Smoke and Consequences of Tobacco or Nicotine Product Use

Oleg O. Salagay,¹ Galina M. Sakharova,² Nikolay S. Antonov,² Elizaveta I. Borichevskaya³

¹ Ministry of Health of the Russian Federation, 3 Rakhamanovsky Lane, Moscow, 127994, Russian Federation

² Russian Research Institute of Health, 11 Dobrolubov Street, Moscow, 127254, Russian Federation

³ Financial University under the Government of the Russian Federation,
49/2 Leningradsky Avenue, Moscow, 125167, Russian Federation

Summary

Background: In 2013, the Federal Law No. 15-FZ of February 23, 2013 on Protecting Health of Citizens from Exposure to Secondhand Tobacco Smoke and Consequences of Tobacco Use (hereinafter referred to as the Law) came into force.

Objective: To analyze the Law development in 2013–2023 and to assess the effectiveness of implementing its norms.

Materials and methods: To assess the effectiveness and level of implementation of the Law's provisions, a survey of experts working in the field of tobacco control in the regions of the Russian Federation was conducted using a specially developed questionnaire entitled "Assessment of Effectiveness of Legislative Tobacco Control Measures". The expert panel included 402 specialists nominated by state authorities of 76 regions of the Russian Federation.

Results: In 2013–2023, the Law was amended and supplemented by adopting ten federal laws and a decree of the Russian Government. According to the experts, the most effective tobacco control measures included bans on advertising, marketing, and sponsorship by tobacco companies (26.2 %); informing the population about dangers of tobacco/nicotine use (25.6 %); offering stop smoking treatment (20.1 %), and protecting people from secondhand tobacco smoke/ESDN aerosol (19.5 %). Besides, 19.7 % of the experts believed that the level of implementation of measures was insufficient while 7.2 % rated it as low.

Conclusions: Since its adoption in 2013, the Law has been continuously improved, taking into account the assessment of effectiveness of its tobacco control measures, new challenges and trends. According to the experts, the effectiveness of the Law may be further improved by strengthening control over its implementation.

Keywords: tobacco, nicotine products, tobacco control legislation, tobacco hazard, tobacco control measures, legal acts, Russian Federation.

Cite as: Salagay OO, Sakharova GM, Antonov NS, Borichevskaya EI. Analysis of federal legislation on protection of citizens from exposure to secondhand tobacco smoke and consequences of tobacco or nicotine product use. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(2):7–16. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-2-7-16

Введение. Распространенность потребления табака во всем мире в конце XX века достигла уровня эпидемии [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения в 1998 г. употребление табака привело к потере, по крайней мере, 3,5 млн человеческих жизней¹. Если бы сложившаяся тенденция не изменилась, то к 2030 г. табак стал бы причиной 10 млн смертей в мире [2].

Существуют многочисленные научные доказательства того, что табак является существенным и самым распространенным фактором риска для здоровья [1–5]. Обобщенный анализ риска, связанного с воздействием табака на здоровье населения, проведенный под руководством академика Г.Г. Онищенко в 2014 г., показал, что по критерию оценки шансов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний среди активно курящих респондентов составил 1,21, для курящих со стажем курения более 5 лет – 2,33 [6]. Риск развития болезней органов дыхания для активно курящих составлял 1,77, а при стаже курения более 5 лет – 2,59. В исследовании О.О. Салагая и соавт. было показано увеличение индивидуальных относительных рисков развития 19 болезней (артериальная гипертония; инсульт; инфаркт миокарда; нарушение сердечного ритма; онкологические заболевания; заболевание печени, гепатит; язва желудка или 12-перстной кишки; заболевание почек, в том числе мочекаменная болезнь; остеохондроз/спондилит; остеопороз; ревматоидный артрит, артропатия; хронический бронхит; бронхиальная астма; варикозное расширение вен) из 20 заболеваний, которые были проанализированы исследователями по микроданным выборочного наблюдения состояния здоровья населения, проведенного Росстата в 2023 г. [7]. В исследовании также выявлен дозозависимый эффект влияния табака на развитие заболеваний [8]. Показано, что среди женщин вредное воздействие табака было выражено сильнее, чем среди мужчин [9]. На популяционном уровне в 2023 г. от 3 до 11 % дополнительных случаев заболеваний взрослого населения Российской Федерации были связаны с употреблением табачных и никотинсодержащих изделий [7]. Эта избыточная заболеваемость могла бы быть предотвращена за счет снижения распространенности потребления табака/никотина в популяции.

Большим значением для успешной реализации государственной демографической политики, принятой в последние годы в Российской Федерации, является сохранение здоровья беременных женщин и детей в перинатальный период развития. В настоящее время накоплено достаточное количество доказательств роста риска акушерских и неонатальных осложнений, связанных с активным и пассивным курением женщин во время беременности. Так, исследователи показали, что с употреблением табака женщинами во время беременности могут

быть связаны дополнительно 5–8 % преждевременных родов, 13–19 % родов в срок ребенка с низкой массой тела, 23–34 % случаев внезапной детской смерти и 5–7 % смертей в детском возрасте [10]. Е. Иуси и соавт. в своем исследовании выявили связь между курением электронных сигарет и реализацией преждевременных родов [11]. После наступления беременности курящие женщины, как правило, прекращают курение, однако существенная доля курящих женщин просто снижает его интенсивность. В исследовании Т.Н. Инглик и соавт., проведенном в Российской Федерации, было показано, что только 30,0 % обследованных курящих женщин полностью прекратили курение после наступления беременности [12]. К сожалению, во многих инициативных исследованиях отмечается сохраняющаяся достаточно высокая распространенность употребления табака среди женщин репродуктивного возраста [13, 14].

Вредное воздействие на здоровье оказывает не только активное, но и пассивное курение табачных изделий [15, 16]. После введения запрета на курение табака в общественных местах производители стали рекламировать электронные сигареты как безопасную альтернативу курению табачных изделий. Однако научные исследования показали, что пассивное вдыхание продуктов аэрозоля электронных сигарет также является фактором риска, вызывая острые ингаляционные расстройства [17–19].

Учитывая быстрый рост распространенности употребления табака и его существенный вклад в заболеваемость и смертность населения во всем мире, в 1999 г. на 52-й сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения было принято решение о начале разработки Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака (РКБТ) как основного инструмента борьбы против табачной пандемии. РКБТ была принята на 56-й сессии Всемирной ассамблеи ВОЗ в 2003 г. и стала первым глобальным договором в области общественного здравоохранения, направленным на ограничение спроса и предложения табака с целью «защиты нынешнего и будущих поколений от разрушительных последствий для здоровья людей, а также социальных, экологических и экономических последствий потребления табака и воздействия табачного дыма посредством обеспечения соответствующих рамок для мер борьбы против табака, подлежащих осуществлению Сторонами на национальном, региональных международном уровнях, с тем чтобы постоянно и существенно сокращать распространенность употребления табака и воздействия табачного дыма»².

В 2008 г. Российская Федерация присоединилась к РКБТ, тем самым взяла на себя все обязательства этой конвенции³. В соответствии со статьей 5 РКБТ в Российской Федерации в 2010 г. была принята «Концепция осуществления государственной политики противодействия потреблению табака на

¹ Всемирная ассамблея здравоохранения, 52 сессия, 1999. К вопросу о разработке рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака. Всемирная организация здравоохранения. <https://iris.who.int/handle/10665/80916>

² Рамочная конвенция ВОЗ по борьбе против табака. Всемирная организация здравоохранения, 2005. <https://fctc.who.int/ru/who-fctc/overview/9241591013>

³ Федеральный закон «О присоединении Российской Федерации к Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака» от 24.04.2008 г. № 51-ФЗ (последняя редакция). Справочная правовая система КонсультантПлюс. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76462/

2010–2015 годы», в которой закреплено положение о необходимости внедрения в стране мер Конвенции в максимальном объеме⁴. В 2010 г. Правительство Российской Федерации приступило к разработке основного федерального антитабачного закона, который был принят 23.02.2013 с первоначальным названием «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» (далее – Закон). В последующие годы в Закон вносились изменения и дополнения по мере изменения ситуации с распространенностью потребления табака среди населения, появления новых видов никотинсодержащей продукции, формирования Евразийского таможенного союза, дальнейшего развития ценовой политики. В 2013 г. вступил в силу Федеральный закон от 23.02.2013 № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции». В результате государственная политика Российской Федерации, направленная на снижения распространенности факторов риска для здоровья, привела к созданию условий для устойчивого снижения распространенности основного фактора риска – потребления табака [20]. Распространенность курения табака среди взрослого населения Российской Федерации снизилась с 39,5 % в 2019 г. до 19,4 % в 2023 г., а среди подростков – с 25,2 % в 2004 г. до 9,5 % в 2021 г. [21–23].

Большое значение в процессе развития Закона имеет мониторинг эффективности внедрения его норм, позволяющий осуществлять поиск дополнительных законодательных, исполнительных, административных и/или иных мер с целью повышения гарантии достижения принятых обязательств по РКБТ. В связи с этим **целью** настоящего исследования было проведение анализа развития Закона в период с 2013 по 2023 г. с оценкой эффективности внедрения его норм экспертами, работающими в субъектах Российской Федерации в области борьбы против табака.

Материалы и методы. Эффективность и уровень внедрения отдельных норм Закона оценивались с помощью опроса экспертов, работающих в области борьбы против табака в субъектах Российской Федерации. С этой целью была разработана анкета экспертного опроса «Оценка эффективности законодательных мер по борьбе против табака». Анкета содержала две группы вопросов:

1) данные эксперта: вопросы по региону проживания, возрасту, месту работы, должности, стажу работы в области борьбы против табака (3 вопроса);

2) мнение экспертов об эффективности и уровню внедрения мер, принятых на федеральном уровне,

о возможных дополнительных мерах федерального уровня (7 вопросов).

Вопросы о мерах по борьбе против табака были сформулированы в соответствии с пакетом избранных мер MPOWER ВОЗ, направленных на сокращение спроса на табак/никотин⁵:

- 1) мониторинг потребления табака и стратегии профилактики;
- 2) защита людей от табачного дыма;
- 3) предложение помощи в целях прекращения потребления табака;
- 4) предупреждение об опасностях, связанных с табаком;
- 5) обеспечение соблюдения запретов на рекламу, стимулирование продажи и спонсорства со стороны табачных компаний;
- 6) повышение налогов на табачные изделия.

В экспертную группу были включены специалисты, определенные органами государственной власти субъектов Российской Федерации в сфере охраны здоровья. Основным критерием включения в экспертную группу была работа в области борьбы против табака хотя бы по одному из следующих направлений:

- 1) разработка нормативных актов, направленных на борьбу против табака: федеральных, региональных или местных;
- 2) внедрение мер по борьбе против табака;
- 3) организация и/или проведение лечебной и профилактической работы по прекращению потребления табака/никотина;
- 4) организация и/или проведение профилактической работы по противодействию потребления табака/никотина;
- 5) анализ и свод мероприятий в области борьбы против табака.

Всего в группу экспертов было включено 402 специалиста из 76 субъектов Российской Федерации.

Сроки проведения опроса 27.02.24–05.03.24. Опрос проводился онлайн на платформе «Яндекс. форма».

Результаты. Начиная с 2013 г. в соответствии с текущими вызовами и ситуацией в Закон вносились изменения и дополнения посредством принятия федеральных законов. Всего в указанный период было принято 10 федеральных законов и одно распоряжение Правительства Российской Федерации (табл. 1).

Изменения, существенно повлиявшие на ситуацию с распространенностью потребления табачной продукции, были внесены в Закон в 2015 и 2016 гг.: запрет на оптовую и розничную продажу табака сосательного (снюса и насыва)⁶ и запрет розничной торговли сигаретами, содержащимися в количестве более чем двадцать штук в единице потребительской

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 23.09.2010 № 1563-р об утверждении «Концепции осуществления государственной политики противодействия потреблению табака на 2010–2015 годы» и план мероприятий по реализации «Концепции осуществления государственной политики противодействия потреблению табака на 2010–2015 годы». <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-23.09.2010-N-1563-r/>

⁵ Всемирная организация здравоохранения. MPOWER: Комплекс мер по борьбе с табачной эпидемией. Всемирная организация здравоохранения, 2008. [https://www.who.int/publications/i/item/9789241596633](https://www.who.int/publications/i/item/9789241596633MPOWER: A policy package to reverse the tobacco epidemic. World Health Organization. 2008. https://www.who.int/publications/i/item/9789241596633)

⁶ Федеральный закон от 30.12.2015 № 456-ФЗ «О внесении изменений в статью 19 Федерального закона “Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака” и статью 14.53 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201512300105>

Таблица 1. Федеральные законы и распоряжения, направленные на борьбу против табака
Table 1. Federal tobacco control laws and regulations

	Нормативный правовой акт / Normative legal act	Год принятия / Year of adoption	Целевое направление / Target
1	Федеральный закон от 14.10.2014 № 307-ФЗ «О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях и отдельные законодательные акты Российской Федерации и о признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации в связи с уточнением полномочий государственных органов и муниципальных органов в части осуществления государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» / Federal Law No. 307-FZ of October 14, 2014 on Amending the Code of Administrative Offences of the Russian Federation and Certain Legislative Acts of the Russian Federation and on Invalidating Certain Provisions of Legislative Acts of the Russian Federation in Connection with Clarifying the Powers of State Bodies and Municipal Bodies in Terms of State Control (Supervision) and Municipal Control	2014	Внесение в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях изменений в соответствии со статьями Федерального закона № 15-ФЗ / Introduction of amendments to the Code of Administrative Offences of the Russian Federation in accordance with articles of the Federal Law No. 15-FZ
2	Федеральный закон от 31.12.2014 № 530-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части усиления мер противодействия обороту контрафактной продукции и контрабанде алкогольной продукции и табачных изделий» / Federal Law No. 530-FZ of December 31, 2014 on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Terms of Strengthening Measures to Counter the Trafficking of Counterfeit Products and Smuggling of Alcoholic Beverages and Tobacco Products	2014	Внесение в Уголовный кодекс Российской Федерации изменений в соответствии со статьями Федерального закона № 15-ФЗ / Introduction of amendments to the Criminal Code of the Russian Federation in accordance with Articles of the Federal Law No. 15-FZ
3	Федеральный закон от 30.12.2015 № 456-ФЗ «О внесении изменений в статью 19 Федерального закона «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» и статью 14.53 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях» / Federal Law No. 456-FZ of December 30, 2015 on Amending Article 19 of the Federal Law on Protecting Health of Citizens from Exposure to Secondhand Tobacco Smoke and Consequences of Tobacco Use and Article 14.53 of the Code of Administrative Offences of the Russian Federation	2015	Введение запрета на оптовую и розничную продажу табака сосательного (снюс, насывай) / Ban on the wholesale and retail sales of sucking tobacco (snus, nasvay)
4	Федеральный закон от 26.04.2016 № 115-ФЗ «О внесении изменения в статью 19 Федерального закона «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» / Federal Law No. 115-FZ of April 26, 2016 on Amending Article 19 of the Federal Law on Protecting Health of Citizens from Exposure to Secondhand Tobacco Smoke and Consequences of Tobacco Use	2016	Введение запрета розничной торговли сигаретами, содержащимися в количестве более чем двадцать штук в единице потребительской упаковки (пачке) / A ban on retail sales of cigarettes other than in package containing at least 20 cigarettes
5	Федеральный закон от 28.12.2016 № 471-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации» / Federal Law No. 471-FZ of December 28, 2016 on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation and Invalidation of Certain Provisions of Legislative Acts of the Russian Federation	2016	Внесение изменений в сроки вступления в силу некоторых частей статьи 18 Федерального закона № 15-ФЗ / Amendments to the effective date of certain parts of Article 18 of the Federal Law No. 15-FZ
6	Федеральный закон от 29.07.2018 № 272-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования государственного управления в сфере официального статистического учета» / Federal Law No. 272-FZ of July 29, 2018 on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation Regarding the Improvement of Public Administration in the Field of Official Statistics	2018	Внесение изменений в статью 18 «Предотвращение незаконной торговли табачной продукцией и табачными изделиями» Федерального закона № 15-ФЗ / Amendments to Article 18, Prevention of illegal trade in tobacco and tobacco products, of the Federal Law No. 15-FZ
7	Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18.11.2019 № 2732-р / Decree of the Government of the Russian Federation No. 2732-r of November 18, 2019	2019	Утверждение Концепции осуществления государственной политики противодействия потреблению табака и иной никотинсодержащей продукции в Российской Федерации на период до 2035 года и дальнейшую перспективу / Approval of the Concept for the Implementation of the State Policy on Combating the Use of Tobacco and Other Nicotine Products in the Russian Federation until 2035 and beyond
8	Федеральный закон от 31.07.2020 № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросу охраны здоровья граждан от последствий потребления никотинсодержащей продукции» / Federal Law No. 303-FZ dated July 31, 2020 on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation on Protecting Health of Citizens from Effects of Nicotine Product Use	2020	Внесение в Федеральный закон № 15-ФЗ изменений и дополнений, регулирующих обращение и потребление никотинсодержащей продукции в Российской Федерации / Introduction of amendments and additions to Federal Law No. 15-FZ regulating circulation and use of nicotine products in the Russian Federation

Продолжение таблицы 1

	Нормативный правовой акт / Normative legal act	Год принятия / Year of adoption	Целевое направление / Target
9	Федеральный закон от 08.12.2020 № 429-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» / Federal Law No. 429-FZ of December 8, 2020 on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation	2020	Внесение дополнений в статью 3 «Законодательство в сфере охраны здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» Федерального закона № 15-ФЗ / Amendments to Article 3, Legislation on protecting health of citizens from exposure to secondhand tobacco smoke and consequences of tobacco use of the Federal Law No. 15-FZ
10	Федеральный закон от 30.12.2020 № 504-ФЗ «О внесении изменений в статью 13 Федерального закона «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции» / Federal Law No. 504-FZ of December 30, 2020 on Amending Article 13 of the Federal Law on Protecting Health of Citizens from Exposure to Secondhand Tobacco Smoke and Consequences of Tobacco Use	2020	Внесение изменений (единая минимальная цена табачной продукции) в статью 13 «Ценовые и налоговые меры, направленные на сокращение спроса на табачные изделия» Федерального закона № 15-ФЗ / Amendments (single minimum price of tobacco products) to Article 13, Price and tax measures aimed at reducing demand for tobacco products, of the Federal Law No. 15-FZ
11	Федеральный закон от 28.04.2023 № 178-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» / Federal Law No. 178-FZ of April 28, 2023 on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation	2023	Введение понятия «безникотиновая жидкость» и внесение изменений в статьи 2, 13, 14, 19, и 21 Федерального закона № 15-ФЗ / Introduction of the concept of "nicotine-free liquid" and amendments to Articles 2, 13, 14, 19, and 21 of the Federal Law No. 15-FZ

упаковки (пачке)⁷. В исследованиях О.О. Салагая и соавт. [24] было показано, что распространенность потребления бездымного табака среди всего населения Российской Федерации, различных возрастных групп, а также мужчин и женщин в течение последних лет остается на низком уровне и ежегодно снижается.

Появление на рынке в период 2011–2018 гг. новой никотинсодержащей продукции, сопровождавшееся активной рекламой со стороны ее производителей и продавцов, привело к бурному росту распространенности потребления электронных средств доставки никотина и изделий из нагреваемого табака, особенно среди подростков и молодежи [22, 24]. В связи с этим в Российской Федерации была разработана и утверждена правительством «Концепция осуществления государственной политики противодействия потреблению табака и иной никотинсодержащей продукции в Российской Федерации на период до 2035 года и дальнейшую перспективу». Концепция объединила понятия табачной и никотинсодержащей продукции с целью применения к ним одних и тех же норм, направленных на снижение спроса и предложения данной продукции. В 2020 г. был принят Федеральный закон от 31.07.2020 № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросу охраны здоровья граждан

от последствий потребления никотинсодержащей продукции»⁸. Внесенные в Закон изменения распространяли все нормы, регулирующие спрос и предложения табачной продукции на никотинсодержащую продукцию. Кроме этого, был введен запрет на продажу никотинсодержащей продукции, предназначенной для жевания, сосания и нюхания. Важным изменением было то, что теперь в качестве кальянных продуктов, регулируемых Законом, рассматриваются не только табачные смеси, но и продукты, не содержащие табачного листа.

Следующим важным шагом было принятие Федерального закона от 28.04.2023 № 178-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который ввел в Закон, наряду с никотинсодержащими жидкостями, понятие «безникотиновые жидкости», что позволило применить все нормы к жидкостям, не содержащим никотин, но предназначенным для использования с помощью устройств для потребления никотинсодержащей продукции, в том числе в электронных системах доставки никотина⁹.

Анализ эффективности действия мер, принятых в Российской Федерации на федеральном уровне, эксперты оценили следующим образом. К наиболее эффективным мерам эксперты отнесли обеспечение запретов на рекламу, стимулирование продажи и спонсорства со стороны табачных компаний (26,2 %),

⁷ Федеральный закон от 26.04.2016 № 115-ФЗ «О внесении изменения в статью 19 Федерального закона «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака»». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/0001201604260052>

⁸ Федеральный закон от 31.07.2020 № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросу охраны здоровья граждан от последствий потребления никотинсодержащей продукции». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007310084>

⁹ Федерального закона от 28.04.2023 № 178-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202304280052>

информирование населения о вреде потребления табака/никотина (25,6 %), предложение медицинской помощи в целях прекращения потребления табака/никотина (20,1 %) и защита людей от окружающего табачного дыма или аэрозоля электронных средств доставки никотина (ЭСДН) (19,5 %). Только 8,3 % экспертов отметили мониторинг потребления табака/никотина в качестве эффективной меры по борьбе против табака/никотина.

По мнению 68,7 % экспертов, внедрение мер, принятых на федеральном уровне, находилось в Российской Федерации на достаточно высоком

уровне. Однако 19,7 % считали, что уровень внедрения мер недостаточный, а 7,2 % экспертов оценили его как низкий. Таким образом, треть опрошенных экспертов считали, что требуются дополнительные усилия, направленные на повышение уровня внедрения принятых на федеральном уровне мер.

Дополнительные меры, принятие которых на федеральном уровне, по мнению экспертов, позволит усилить борьбу против табака и приведет к дальнейшему сокращению потребления табака/никотина, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Дополнительные меры, принятие которых на федеральном уровне, по мнению экспертов, обеспечит дальнейшее сокращение потребления табака/никотина

Table 2. Additional measures, the adoption of which at the federal level, according to the experts, will ensure a further reduction in tobacco/nicotine use

	Дополнительные меры федерального уровня, рекомендуемые экспертами / Additional federal-level measures recommended by the experts	Доля экспертов / Share of experts, %
1	Полный запрет продажи на территории РФ табачной и никотинсодержащей продукции / A complete ban on tobacco and nicotine product sales in the Russian Federation По отдельным видам продукции / By certain types of products: Табачная продукция / Tobacco products Электронные сигареты, вейпы / Electronic cigarettes, vapes	16,2 4,5 11,7
2	Ограничение продажи табачной и никотинсодержащей продукции (например, сокращение точек продаж, запрет продажи в розничной сети, запрет продажи через маркетплейсы и в сети Интернет, ограничение продажи по времени, разрешение продажи только в специализированных удаленных труднодоступных (на окраинах населенных пунктов) магазинах) / Restriction of tobacco and nicotine product sales (e.g., reduction of points of sale, ban on sales in the retail network, ban on sales through marketplaces and on the Internet, time limitation of sales, permission to sell only in specialized remote, hard-to-reach stores located on the outskirts)	11,1
3	Повысить контроль за выполнением норм Федерального закона № 15-ФЗ, таких как запрет продажи табака и никотинсодержащей продукции несовершеннолетним, запрет курения в общественных местах, запрет курения в подъездах многоквартирных домов, вовлечение детей в употребление табака/никотина, работа таможни / Strengthening control over implementation of the norms of Federal Law No. 15-FZ, such as the ban on sales of tobacco and nicotine products to minors, the ban on smoking in public places, the ban on smoking in the entrances of apartment buildings, involvement of children in tobacco /nicotine use, customs work	9,8
4	Повышение цены на табачную и никотинсодержащую продукцию / Increasing prices of tobacco and nicotine products По отдельным видам продукции / By certain types of products: На табачную продукцию (сигареты) / Tobacco products (cigarettes) На электронные сигареты, вейпы / E-cigarettes and vapes	9,3 6,9 2,4
5	Информирование населения о вреде потребления табака/никотина (например, повышение осведомленности о рисках для здоровья среди граждан всех возрастов, проведение антитабачных акций, увеличение социальной антитабачной рекламы, внедрение профилактических программ) / Informing the public about the dangers of tobacco/nicotine use (e.g., raising awareness of health risks among citizens of all ages, conducting anti-smoking campaigns, enhancing social anti-smoking advertising, preventive programs)	7,2
6	Повышение административной ответственности физических и юридических лиц, допускающих нарушение Федерального закона / Increasing the administrative responsibility of individuals and legal entities violating the Federal Law Из них повышение размера штрафов / Of these, increase in fines	7,2 4,0
7	Дополнительные меры не требуются, поскольку на федеральном уровне принято достаточно мер при условии их полного выполнения / Additional measures are not required since sufficient measures have been taken at the federal level, provided they are fully implemented	5,0
8	Обеспечение широкодоступной медицинской помощью по прекращению употребления табака и никотина / Providing widely available stop smoking treatment	3,7
9	Проведение профилактической работы среди детей, подростков и в семьях. Разработка и внедрение школьных профилактических программ / Preventive work among children, adolescents and families. Development and implementation of prevention programs at schools	3,4
10	Пропаганда здорового образа жизни / Promoting a healthy lifestyle	3,4
11	Повышение возраста покупателей, которым запрещено продавать табачную и никотинсодержащую продукцию / Raising the minimum age for tobacco and nicotine product sales Предлагается запретить продажу лицам, не достигшим возраста 20 лет, либо 21 года, либо 25 лет / It is proposed to raise the minimum age to 20, 21 or 25 years	2,4

Продолжение таблицы 2

	Дополнительные меры федерального уровня, рекомендуемые экспертами / Additional federal-level measures recommended by the experts	Доля экспертов / Share of experts, %
12	Разработка и внедрение корпоративных профилактических программ, поощрение работодателями некурящих работников / Development and implementation of corporate prevention programs, encouragement of non-smoking employees by employers	2,1
13	Дальнейшее расширение перечня общественных мест, где запрещено курение табака и электронных сигарет / Further expansion of the list of public places where smoking tobacco and electronic cigarettes is prohibited Предлагается запрет курения на улицах, остановках общественного транспорта / Banning smoking in the streets and public transport stops is proposed	2,1
14	Повышение ответственности родителей за употребление их детьми табачной и никотинсодержащей продукции / Increasing parental responsibility for their children's tobacco and nicotine product use	1,6
15	Запрет всех видов реклам табачной и никотинсодержащей продукции, включая демонстрацию употребления этой продукции в теле- и кинофильмах, видео и т. д. / Prohibiting all types of advertising tobacco and nicotine products, including demonstrations of the use of these products on television and movies, videos, etc.	1,3
16	Увеличение границ территории вокруг образовательных организаций, на которой запрещена продажа табачной и никотинсодержащей продукции, до 200 м / Increasing the boundaries of the territory around educational institutions, where the sale of tobacco and nicotine products is prohibited, to 200 m	1,1
17	Обучение студентов высших и средних медицинских образовательных организаций, последипломное образование врачей по диагностике и лечению табачной (никотиновой) зависимости / Training of medical university and college students, postgraduate training of medical doctors in the diagnosis and treatment of tobacco (nicotine) addiction	0,8

В табл. 2 указано, что 16,2 % экспертов предложили ввести полный запрет продажи табака (4,5 %) и никотинсодержащей продукции (11,7 %) на территории Российской Федерации, что безусловно существенно снизило бы распространенность потребления табака/никотина в стране.

Усилить ограничение продажи табачной и никотинсодержащей продукции предложили 11,1 % экспертов за счет сокращения точек продаж (запрет продажи в розничной сети, через маркетплейсы и сети Интернет), ввести продажу продукции только в специализированных магазинах, находящихся на окраинах населенных пунктов или в местах, в которые доступ затруднен, ввести ограничения продажи продукции по времени. Дополнительные меры по повышению контроля за выполнением норм Закона предложили ввести 9,8 % экспертов. Особенno была отмечена необходимость усиления контроля за соблюдением запрета курения в общественных местах, среди которых эксперты выделили подъезды многоквартирных домов.

Также эксперты (1,6 %) считали необходимым усилить ответственность родителей за употребление их детьми табачной и никотинсодержащей продукции. По мнению экспертов, важным является дальнейшее повышение цены на табачную (6,9 %) и никотинсодержащую продукцию (2,4 %). Эксперты предложили принять меры по дальнейшему расширению информирования населения о вреде потребления табака/никотина (7,2 %) и повышению ответственности физических и юридических лиц, допускающих нарушения норм Закона (7,2 %). В целом, по мнению экспертов, мер по борьбе против табака, принятых на федеральном уровне, достаточно для снижения потребления табака/никотина среди населения, однако требуется повышение контроля за их вы-

полнением и повышение ответственности за их нарушение.

Обсуждение. В период с 2013 по 2023 г. осуществлялось постоянное развитие Федерального закона от 23.02.2013 № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции». Развитие Закона проводилось в соответствии с формирующими вызовами, связанными с появлением новой никотинсодержащей продукции, новых стратегий и действий табачных компаний, а также с целью укрепления и повышения эффективности ранее принятых норм. По мнению экспертов, наиболее эффективными являлись следующие меры по борьбе против табака: обеспечение запретов на рекламу, стимулирование продажи и спонсорства со стороны табачных компаний; информирование населения о вреде потребления табака/никотина; предложение медицинской помощи в целях прекращения потребления табака/никотина. Эксперты также отметили, что принятие региональных нормативных правовых актов способствовало более успешному внедрению в регионе федеральных мер по борьбе против табака.

В качестве дополнительных мер, принятие которых, по мнению экспертов, будет способствовать дальнейшему снижению потребления табака/никотина, эксперты отметили повышение контроля за исполнением норм Закона, дальнейшее ограничение мест продаж табачной и никотинсодержащей продукции, включая запрет продажи в розничной сети, супермаркетах, на маркетплейсах и в сети Интернет, а также ограничение продажи этой продукции по времени и разрешение продажи только в специализированных магазинах, находящихся на окраинах населенных пунктов.

Эксперты предложили рассмотреть вопрос полного запрета продажи на территории Российской Федерации любой табачной и никотинсодержащей продукции, что безусловно приведет к существенному снижению потребления табака и никотинсодержащей продукции среди населения.

Заключение. Формирование здорового образа жизни в Российской Федерации стало важным направлением в области охраны здоровья граждан, одним из приоритетов которого является политика, направленная на снижение потребления табака и никотинсодержащей продукции. Принятый в 2013 г. Федеральный закон от 23.02.2013 № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции» в полном объеме отражает основные положения Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака и является эффективным инструментом противодействия потреблению табака/ никотина среди населения Российской Федерации. В течение 10-летнего периода действия Закона в стране были созданы условия устойчивого снижения распространенности потребления табачной и никотинсодержащей продукции. Во многом это было обусловлено постоянным совершенствованием Закона с учетом оценки эффективности принятых мер по борьбе против табака и появления новых вызовов и тенденций. По мнению экспертов, дальнейшее повышение эффективности Закона может быть обусловлено в первую очередь усилением контроля за его исполнением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Song S, Lei L, Lui H, et al. Impact of changing the prevalence of smoking, alcohol consumption and overweight/obesity on cancer incidence in China from 2021 to 2050: A simulation modelling study. *eClinicalMedicine*, 2023;63:102163. doi: 10.1016/j.eclim.2023.102163
2. Allen LN, Wigley S, Holmer H, Barlow P. Non-communicable disease policy implementation from 2014 to 2021: A repeated cross-sectional analysis of global policy data for 194 countries. *Lancet Glob Health*. 2023;11(4):e525–e533. doi: 10.1016/S2214-109X(23)00042-6
3. U.S. Department of Health and Human Services. *Smoking Cessation: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health; 2020. Accessed March 27, 2025. <https://www.hhs.gov/sites/default/files/2020-cessation-sgr-full-report.pdf>
4. Chan KH, Wright N, Xiao D, et al.; China Kadoorie Biobank collaborative group. Tobacco smoking and risks of more than 470 diseases in China: A prospective cohort study. *Lancet Public Health*. 2022;7(12):e1014–e1026. doi: 10.1016/S2468-2667(22)00227-4
5. GBD 2015 Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*. 2016;388(10053):1659–1724. doi: 10.1016/S0140-6736(16)31679-8
6. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития. М.: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 738 с.
7. Салагай О.О., Антонов Н.С., Сахарова Г.М., Стадник Н.М. Влияние потребления табака на индивидуальный и популяционный риск развития неинфекционных заболеваний в Российской Федерации // Общественное здоровье. 2024. Т. 2. № 4. С. 18–31, doi: 10.21045/2782-1676-2024-4-2-18-31
8. Надеждин А.В., Надеждин С.А., Тетенова Е.Ю., Колгашкин А.Ю., Федоров М.В., Кошкин Е.А., Кучеров Ю.Н., Брюн Е.А. Опыт разработки мобильного приложения для лиц, страдающих табачной зависимостью // Наркология. 2019. Т. 18. № 8. С. 69–85. doi: 10.25557/1682-8313.2019.08.69-85
9. Гакова Е.И., Акимов М.Ю., Каюмова М.М., Кузнецова В.А. Гендерные особенности отношения к табакокурению при разных уровнях образования и семейного статуса у мужчин и женщин трудоспособного возраста г. Тюмень // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2017. Т. 16. № 5. С. 57–62. doi: 10.15829/1728-8800-2017-5-57-62
10. Dietz PM, England LJ, Shapiro-Mendoza CK, Tong VT, Farr SL, Callaghan WM. Infant morbidity and mortality attributable to prenatal smoking in the U.S. *Am J Prev Med*. 2010;39(1):45–52. doi: 10.1016/j.amepre.2010.03.009
11. Иуси Е.С., Шарипова М.С., Каспарова А.Э., Гилёва С.Л., Чёрная Е.Е. Влияние курения различных сигарет на риск реализации преждевременных родов // Научный медицинский вестник Югры. 2022. Т. 32. № 2. С. 75–77. doi: 10.25017/2306-1367-2022-32-2-75-77.
12. Фадеева Е.В. Сравнительная оценка распространенности курения и употребления алкоголя женщинами репродуктивного возраста до беременности и в пренатальный период // Вестник психотерапии. 2024. № 91. С. 14–29. doi: 10.25016/2782-652X-2024-0-91-14-29
13. Инглик Т.Н., Чернявская Н.М., Айбазова Л.Б. Эпидемиологические аспекты табакокурения как фактора риска среди работниц торговой сферы // Анализ риска здоровью. 2019. № 1. С. 109–117. doi: 10.21668/health.risk/2019.1.12
14. Акимов А.М., Каюмова М.М. Двадцатилетняя динамика распространенности табакокурения как фактора риска сердечно-сосудистых заболеваний среди женщин открытой популяции среднеурбанизированного сибирского города // Сибирский научный медицинский журнал. 2021. Т. 41. № 1. С. 117–123. doi: 10.18699/SSMJ20210112
15. Заричная Е.В., Якубова И.Ш., Ковшов А.А., Шалухо Е.С., Суворова А.В. Характеристика активного и пассивного курительного поведения населения Санкт-Петербурга // Профилактическая и клиническая медицина. 2022. № 1(82). С. 11–19. doi: 10.47843/2074-9120_2022_1_11
16. Андреева Е.А., Похазникова М.А., Попов В.В., Кузнецова О.Ю. Распространенность хронической обструктивной болезни легких и факторов риска ее развития в Санкт-Петербурге и Архангельске (по данным исследования РЕСПЕКТ) // Российский семейный врач. 2022. Т. 26. № 4. С. 17–24. doi: 10.17816/RFD112584
17. Заричная Е.В., Федоров В.Н., Якубова И.Ш. Оценка острого ингаляционного риска здоровью от воздействия продуктов потребления никотинсодержащей продукции в воздухе закрытых помещений // Анализ риска здоровью. 2021. № 2. С. 61–71. doi: 10.21668/health.risk/2021.2.06
18. Богачева А.С., Заричная Е.В., Якубова И.Ш., Новикова Н.Ю., Лаушкин М.А. Курение электронных сигарет студентами медицинского вуза // Профилактическая медицина-2019: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2019 года /

- под ред. А.В. Мельцера, И.Ш. Якубовой. СПб: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, 2019. С. 75-79.
19. Шубочкина Е.И., Гурьянова М.П., Курганский А.М., Храмцов П.И., Горелова Ж.Ю., Ануфриева Е.В. Влияние курения электронных сигарет на здоровье подростков и молодежи // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 6. С. 54–63. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-6-54-63
20. Гамбaryan M.Г., Драпкина О.М. Эффективность реализации антитабачных законодательных мер в отношении распространенности курения в 10 субъектах Российской Федерации с 2013 по 2018 г. // Профилактическая медицина. 2021. Т. 24. № 2. С. 44–51. doi: 10.17116/profmed20212402144
21. Салагай О.О., Сахарова Г.М., Антонов Н.С., Никитина С.Ю., Стадник Н.М., Стародубов В.И. Оценка распространенности поведенческих факторов риска и их влияния на здоровье взрослого населения в Российской Федерации // Вопросы статистики. 2023. Т. 30. № 2. С. 72–86. doi: 10.34023/2313-6383-2023-30-2-72-86
22. Сахарова Г.М., Антонов Н.С., Салагай О.О., Донитова В.В. Глобальное обследование употребления табака среди молодежи в возрасте 13–15 лет в Российской Федерации: сравнение тенденций в 2004 и 2015 гг. Пульмонология. 2017. Т. 27. № 2. С. 179–186. doi: 10.18093/0869-0189-2017-27-2-179-186
23. Левшин В.Ф., Слепченко Н.И. Динамика характеристики курительного поведения среди населения Российской Федерации // Наркология. 2019. № 11. С. 51–60. doi: 10.25557/1682-8313.2019.11.51-60
24. Салагай О.О., Антонов Н.С., Сахарова Г.М. Анализ структуры и динамики потребления табака и никотиносодержащей продукции в Российской Федерации в 2019–2022 гг. // Профилактическая медицина. 2022. Т. 25. № 9. С. 15–23. doi: 10.17116/profmed20222509115

REFERENCES

1. Song S, Lei L, Lui H, et al. Impact of changing the prevalence of smoking, alcohol consumption and overweight/obesity on cancer incidence in China from 2021 to 2050: A simulation modelling study. *eClinicalMedicine*. 2023;63:102163. doi: 10.1016/j.eclim.2023.102163
2. Allen LN, Wigley S, Holmer H, Barlow P. Non-communicable disease policy implementation from 2014 to 2021: A repeated cross-sectional analysis of global policy data for 194 countries. *Lancet Glob Health*. 2023;11(4):e525–e533. doi: 10.1016/S2214-109X(23)00042-6
3. U.S. Department of Health and Human Services. *Smoking Cessation: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health; 2020. Accessed March 27, 2025. <https://www.hhs.gov/sites/default/files/2020-cessation-sgr-full-report.pdf>
4. Chan KH, Wright N, Xiao D, et al.; China Kadoorie Biobank collaborative group. Tobacco smoking and risks of more than 470 diseases in China: A prospective cohort study. *Lancet Public Health*. 2022;7(12):e1014–e1026. doi: 10.1016/S2468-2667(22)00227-4
5. GBD 2015 Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*. 2016;388(10053):1659–1724. doi: 10.1016/S0140-6736(16)31679-8
6. Onishchenko GG, Zaitseva NV, May IV. [Health Risk Analysis in the Strategy of State Socio-Economic Development.] Perm: Perm Nat. Res. Polytech. Univ. Publ.; 2014. (In Russ.)
7. Salagay OO, Antonov NS, Sakhrova GM, Stadnik NM. The impact of tobacco consumption on the individual and population risk of non-communicable diseases in the Russian Federation. *Obshchestvennoe Zdorov'e*. 2024;4(2):18–31. (In Russ.) doi: 10.21045/2782-1676-2024-4-2-18-31
8. Nadezhdin AV, Nadezhdin SA, Tetenova EJu, et al. Development of mobile app for dependent tobacco user. *Narkologiya*. 2019;18(8):69–85. (In Russ.) doi: 10.25557/1682-8313.2019.08.69-85
9. Gakova EI, Akimov MYu, Kayumova MM, Kuznetsov VA. Gender specifics of the attitudes toward tobacco smoking in various educational levels and family status among economically active men and women in Tyumen city. *Kardiovaskulyarnaya Terapiya i Profilaktika*. 2017;16(5):57–62. (In Russ.) doi: 10.15829/1728-8800-2017-5-57-62
10. Dietz PM, England LJ, Shapiro-Mendoza CK, Tong VT, Farr SL, Callaghan WM. Infant morbidity and mortality attributable to prenatal smoking in the U.S. *Am J Prev Med*. 2010;39(1):45–52. doi: 10.1016/j.amepre.2010.03.009
11. Iusli ES, Sharipova MS, Kasparova AE, Gilyova SL, Chernaya EE. Effect of smoking different cigarettes on the risk of preterm birth. *Nauchnyy Meditsinskiy Vestnik Yugry*. 2022;32(2):75–77. (In Russ.) doi: 10.25017/2306-1367-2022-32-2-75-77
12. Fadeeva EV. Comparative assessment of the prevalence of smoking and alcohol consumption among reproductive age women before pregnancy and during the prenatal period. *Vestnik Psykhoterapii*. 2024;(91):14–29. (In Russ.) doi: 10.25016/2782-652X-2024-0-91-14-29
13. Ingliz TN, Chernyavskaya NM, Aybazova LB. Epidemiologic aspects related to tobacco smoking as risk factors for female workers employed in retail trade. *Health Risk Analysis*. 2019;(1):109–117. doi: 10.21668/health.risk/2019.1.12.eng
14. Akimov AM, Kayumova MM. Twenty-year dynamics of the prevalence of tobacco smoking as a risk factor for cardiovascular diseases among women in an open population of a mid-urbanized Siberian city. *Sibirskiy Nauchnyy Meditsinskiy Zhurnal*. 2021;41(1):117–123. (In Russ.) doi: 10.18699/SSMJ20210112
15. Zaritskaya EV, Iakubova ISh, Kovshov AA, Shalukho ES, Suvorova AV. Characteristics of active and passive smoking behaviour among Saint-Petersburg population. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina*. 2022;(1(82)):11–19. (In Russ.) doi: 10.47843/2074-9120_2022_1_11
16. Andreeva EA, Pokhaznikova MA, Popov VV, Kuznetsova OYu. Prevalence of chronic obstructive pulmonary disease and its risk factors among residents of Saint Petersburg and Arkhangelsk (based on the RESPECT project). *Rossiyskiy Semeyny Vrach*. 2022;26(4):17–24. (In Russ.) doi: 10.17816/RFD112584
17. Zaritskaya EV, Fedorov VN, Iakubova IS. Assessing acute inhalation health risk caused by exposure to products created by nicotine-containing stuff consumption in enclosed spaces. *Health Risk Analysis*. 2021;(2):62–71. doi: 10.21668/health.risk/2021.2.06.eng
18. Bogacheva AS, Zaritskaya EV, Yakubova ISh, Novikova NJu, Laushkin MA. [Smoking electronic cigarettes by medical university students.] In: *Preventive Medicine – 2019: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*, St. Petersburg, November 14–15, 2019. St. Petersburg:

- North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; 2019:75-79. (In Russ.)
19. Shubochkina EI, Guryanova MP, Kurgansky AM, Khramtsov PI, Gorelova JYu, Anufrieva EV. Health risks for adolescents and young adults posed by electronic cigarettes. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(6):54-63. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-6-54-63
20. Gambaryan MG, Drapkina OM. Impact of implementation of tobacco control legislative measures on smoking prevalence in 10 Russian Federal Subjects from 2013 to 2018. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2021;24(2):44-51. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20212402144
21. Salagay OO, Sakharova GM, Antonov NS, Nikitina SYu, Stadnik NM, Starodubov VI. Assessment of the prevalence of behavioral risk factors and their impact on the health of the adult population in the Russian Federation.
22. Sakharova G.M., Antonov N.S., Salagay O.O., Donitova V.V. Global survey on tobacco consumption by young subjects 13 to 15 years of age in Russian Federation (2004–2015). *Pulmonologiya*. 2017;27(2):179-186. (In Russ.) doi: 10.18093/0869-0189-2017-27-2-179-186
23. Levshin VF, Slepchenko NI. Dynamics of characteristics of smoking behavior among the population of the Russian Federation. *Narkologiya*. 2019;18(11):51-60. (In Russ.) doi: 10.25557/1682-8313.2019.11.51-60
24. Salagay OO, Antonov NS, Sakharova GM. Analysis of the structure and dynamics of consumption of tobacco and nicotine-containing products in the Russian Federation in 2019–2022. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2022;25(9):15-23. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20222509115

Сведения об авторах:

Салагай Олег Олегович – кандидат медицинских наук, статс-секретарь – заместитель министра, Министерство здравоохранения Российской Федерации; e-mail: salagayoo@minzdrav.gov.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4501-7514>.

✉ **Сахарова Галина Михайловна** – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: sakharovagm@mednet.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7230-2647>.

Антонов Николай Сергеевич – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: antonovns@mednet.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0279-1080>

Боричевская Елизавета Игоревна – ассистент департамента социологии факультета социальных наук и массовых коммуникаций Финансового университета при Правительстве Российской Федерации; e-mail: eiborichevskaya@fa.ru

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн: *Салагай О.О.*; сбор данных: *Боричевская Е.И.*; анализ и интерпретация результатов: *Салагай О.О., Сахарова Г.М., Антонов Н.С.*; обзор литературы, подготовка текста рукописи: *Сахарова Г.М., Антонов Н.С.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует проведения этической экспертизы.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 29.11.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

Oleg O. Salagay, Cand. Sci. (Med.), State Secretary – Deputy Minister of Health of the Russian Federation, Ministry of Health of the Russian Federation; e-mail: salagayoo@minzdrav.gov.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4501-7514>.

✉ **Galina M. Sakharova**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, Russian Research Institute of Health; e-mail: sakharovagm@mednet.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7230-2647>.

Nikolay S. Antonov, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Russian Research Institute of Health; email: antonovns@mednet.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0279-1080>.

Elizaveta I. Borichevskaya, Assistant, Department of Sociology, Faculty of Social Sciences and Mass Communications, Financial University under the Government of the Russian Federation; e-mail: eiborichevskaya@fa.ru.

Author contributions: study conception and design: *Salagay O.O.*; data collection: *Borichevskaya E.I.*; analysis and interpretation of results: *Salagay O.O., Sakharova G.M., Antonov N.S.*; bibliography compilation and referencing, draft manuscript preparation: *Sakharova G.M., Antonov N.S.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: November 29, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025



Конструирование панелей шифрованных образцов для подготовки специалистов Роспотребнадзора и валидации новых методик в лабораториях

А.М. Сеничкина, С.А. Портенко, И.Н. Шарова, О.А. Корешкова, К.Д. Блинова, Н.А. Осина, Т.А. Малюкова

ФКУН «Российский научно-исследовательский противочумный институт “Микроб”» Роспотребнадзора,
ул. Университетская, д. 46, г. Саратов, 410005, Российская Федерация

Резюме

Введение. Для подготовки специалистов Роспотребнадзора, а также при проведении учений команд быстрого реагирования специализированных противоэпидемических бригад, организации референс-центрами внешнего контроля качества деятельности лабораторий учреждений Роспотребнадзора, валидации методик в лабораториях, использующих методы индикации патогенных биологических агентов, участия лабораторий Роспотребнадзора в проверках квалификации и межлабораторных сличительных испытаниях необходимы панели контрольных образцов, содержащие патогенные биологические агенты.

Цель исследования – конструирование панелей шифрованных образцов ДНК и *к*ДНК возбудителей опасных инфекционных болезней для подготовки специалистов учреждений и мобильных формирований Роспотребнадзора, валидации новых методик в лабораториях.

Материалы и методы. В работе использовали лиофилизированные образцы *к*ДНК риновируса, SARS-CoV-2 и ДНК *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Brucella suis*, *Bacillus anthracis*. ДНК получали из бактериальных суспензий вышеуказанных микроорганизмов, *к*ДНК – из положительных контролей наборов реагентов российского производства, «отрицательные» образцы – из сыворотки эмбриональной телячьей. Все образцы высушивали с добавлением 15 % раствора сахарозы.

Результаты. Сконструированы панели контрольных образцов для проведения индикации возбудителей особо опасных бактериальных и наиболее распространенных вирусных патогенов молекулярно-генетическими методами. Подобраны оптимальные сроки и температурные условия хранения панелей. Высушенные образцы хранили при температурах +4 °C, +26 °C, +37 °C, –20 °C в течение 30 дней, оценивая методом полимеразной цепной реакции стабильность препаратов при хранении. Выбран наиболее оптимальный период хранения образцов – 7 суток. Далее пробы формировали в панели контрольных образцов, соблюдая принцип конфиденциальности, и рассылали в лаборатории.

Заключение. Указанные панели контрольных образцов могут быть использованы при обучении специалистов Роспотребнадзора навыкам проведения индикации патогенных микроорганизмов методом полимеразной цепной реакции, в том числе в мобильных формированиях и при внедрении новых методик в лабораториях учреждений Роспотребнадзора.

Ключевые слова: шифрованные образцы, контрольные панели, особо опасные инфекции, ДНК, *к*ДНК, подготовка специалистов.

Для цитирования: Сеничкина А.М., Портенко С.А., Шарова И.Н., Корешкова О.А., Блинова К.Д., Осина Н.А., Малюкова Т.А. Конструирование панелей шифрованных образцов для подготовки специалистов Роспотребнадзора и валидации новых методик в лабораториях // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 17–24. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-17-24

Development of Coded Sample Panels for Training of Rospotrebnadzor Specialists and Validation of New Laboratory Techniques

Aislu M. Senichkina, Svetlana A. Portenko, Irina N. Sharova, Oksana A. Koreshkova,
Ksenia D. Blinova, Natalia A. Osina, Tatiana A. Malyukova

Russian Research Anti-Plague Institute “Microbe”, 46 Universitetskaya Street, Saratov, 410005, Russian Federation

Summary

Introduction: Panels of pathogen-containing control samples are necessary for training of specialists of the Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor), drills of rapid response teams of specialized anti-epidemic brigades, external quality control of Rospotrebnadzor laboratories by Reference Centers, method validation in laboratories, and participation of Rospotrebnadzor laboratories in proficiency testing (PT) and interlaboratory comparison tests (ICT).

Objective: To prepare panels of coded samples of deoxyribonucleic acids (DNA) and complementary DNA (cDNA) of pathogens of highly contagious infectious diseases to be used for training of specialists in Rospotrebnadzor institutions and mobile units and for validation of new laboratory methods.

Materials and methods: We used lyophilized samples of rhinovirus and SARS-CoV-2 cDNA and *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Brucella suis*, and *Bacillus anthracis* DNA. DNA was obtained from bacterial suspensions of the above microorganisms, cDNA was derived from positive controls contained in reagent kits produced in Russia, and “negative” samples were obtained from embryonic calf serum. All samples were dehydrated with 15 % sucrose solution.

Results: We developed panels of control samples to be used for PCR detection of highly contagious bacterial pathogens and the most common viruses. We also established their optimal storage time and temperature. To this end, dehydrated samples were kept at temperatures of +4 °C, +26 °C, +37 °C, and –20 °C during 30 days and tested for stability. The optimal storage times for the samples was determined to be 7 days. The samples were then assembled into panels, adhering to confidentiality principles, and sent to laboratories.

Conclusion: The prepared panels of control samples can be used for training of Rospotrebnadzor specialists, including those included in mobile units, in PCR testing and validating new techniques in Rospotrebnadzor laboratories.

Keywords: coded samples, control panels, highly contagious infections, DNA, cDNA, specialist training.

Cite as: Senichkina AM, Portenko SA, Sharova IN, Koreshkova OA, Blinova KD, Osina NA, Malyukova TA. Development of coded sample panels for training of Rospotrebnadzor specialists and validation of new laboratory techniques. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(3):17–24. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-17-24

Введение. В рамках функционирования референс-центров по мониторингу за возбудителями инфекционных и паразитарных болезней, а также центров индикации возбудителей инфекционных болезней I–II групп патогенности бактериальной и вирусной природы и обеспечения противоэпидемической готовности ежегодно на базе противочумных учреждений Роспотребнадзора осуществляется подготовка специалистов по лабораторной диагностике. Одним из направлений является обучение специалистов на курсах повышения квалификации по программе «Подготовка личного состава специализированных противоэпидемических бригад для работы в чрезвычайных ситуациях». Учебный план указанных курсов включает в себя практические занятия в формате решения ситуационных задач с использованием панелей контрольных образцов для индикации патогенных биологических агентов (ПБА).

Кроме того, подобные панели контрольных образцов, содержащие ПБА или их маркеры, необходимы:

- при проведении ежегодных учений команд быстрого реагирования специализированных противоэпидемических бригад (СПЭБ) Роспотребнадзора и стран ВЕЗЦА, предусматривающих выявление ПБА на базе мобильных лабораторий этих формирований с помощью комплекса методов – метода полимеразной цепной реакции (ПЦР), метода флуоресцирующих антител (МФА), иммуноферментного анализа (ИФА), иммунохроматографического анализа (ИХА), в соответствии с действующим приказом № 1116 от 01.12.2017¹;

- при организации референс-центрами по соответствующим нозологиям внешнего контроля качества деятельности лабораторий учреждений Роспотребнадзора, в том числе в части индикации ПБА бактериальной и вирусной природы;

- для участия лабораторий учреждений Роспотребнадзора, аккредитованных в национальной системе аккредитации по межгосударственному стандарту ISO/IEC 17025, в проверках квалификации (ПК) и/или межлабораторных сличительных испытаниях (МСИ) в целях подтверждения компетентности, обеспечения качества и осуществления мониторинга достоверности результатов исследований;

- для проведения верификации и валидации методик в лабораториях, использующих в своей работе методы индикации ПБА.

В Российской Федерации (РФ) доступны панели контрольных образцов, предлагаемых провайдерами МСИ (в том числе аккредитованными на соответствие ГОСТ ISO/IEC 17043-2013²), для обеспечения достоверности исследований методами ПЦР, с целью обнаружения генетических маркеров возбудителей вируса папилломы человека (ВПЧ), гепатитов В и С (РЗН № 2013/33 от 17.04.2019, РЗН № 2013/35 от 08.02.2013), микоплазмоза, кандидоза, бактериального вагиноза, COVID-19 [1, 2]. Как правило,

«положительные» образцы представляют собой препараты ДНК соответствующих ПБА, а «отрицательные» образцы готовятся на основе интактной донорской плазмы [3]. Некоторые из указанных панелей зарегистрированы в установленном порядке в РФ и нашли широкое применение для оценки качества лабораторных исследований при проведении ПК и/или МСИ в лабораториях медицинских организаций и учреждений Роспотребнадзора [4]. Однако отсутствуют данные о применении панелей контрольных образцов для внешней оценки качества работы лабораторий противочумных учреждений Роспотребнадзора, для обучения специалистов Роспотребнадзора.

В этой связи **цель исследования** – конструирование панелей шифрованных образцов дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК) и комплементарных ДНК (кДНК) возбудителей опасных инфекционных болезней для подготовки специалистов учреждений и мобильных формирований Роспотребнадзора, валидации новых методик в лабораториях.

Материалы и методы. В работе использовали лиофилизированные образцы кДНК вирусной природы и ДНК возбудителей опасных инфекционных болезней бактериальной природы, приготовленных из бактериальных супензий микроорганизмов, полученных из Государственной коллекции патогенных бактерий: *Y. pestis* EV НИИЭГ, *B. anthracis* 71/12 (*pXO1⁺, pXO2⁺*), *V. cholerae* 569 В (*ctxA⁺, tcpAB⁺*), *F. tularensis* 15 НИИЭГ, *B. suis* 1330. Обеззараживание бактериальных супензий осуществляли в соответствии с МУ 1.3.2569-09 «Организация работы лабораторий, использующих методы амплификации нуклеиновых кислот при работе с материалом, содержащим микроорганизмы I–IV групп патогенности». Выделение нуклеиновых кислот проводили согласно инструкциям к наборам для выделения (экстракции) нуклеиновых кислот «ДНК-сорб-В», «Рибо-сорб», «Рибо-преп» (Россия). В качестве кДНК возбудителей инфекционных болезней вирусной природы использовали положительные контрольные образцы из наборов реагентов российского производства для выявления РНК коронавируса (SARS-CoV-2), риновируса (*hRv*) методом ПЦР. Образцы ДНК и кДНК высушивали с добавлением стабилизатора – 15 % раствора сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ч.д.а. (Россия) в вакуумном концентраторе CentriVap (США). Высушенные образцы (ДНК, кДНК и «отрицательные» пробы) разводили деионизованной водой в объеме 100 мкл, тщательно перемешивали на воротке, предварительно выдерживая их при комнатной температуре в течение 30–60 с. Для проведения ПЦР использовали наборы реагентов, зарегистрированные в РФ: «Ген *Yersinia pestis* – индикация – РГФ», «Ген *Francisella tularensis* – РГФ» (Россия), «АмплиСенс® *Vibrio cholerae*-FL», «АмплиСенс® *Brucella spp.*-FL», «АмплиСенс® *Bacillus anthracis*-FRT», «АмплиСенс® COVID-19-FL», «АмплиСенс® ОРВИ-скрин-FL» (Россия), работу проводили в соответствии с инструкциями

¹ Приказ Роспотребнадзора от 01.12.2017 № 1116 «О совершенствовании системы мониторинга, лабораторной диагностики инфекционных и паразитарных болезней и индикации ПБА в Российской Федерации».

² Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации» от 22.11.2013 № 1941-ст, введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии введен с 01.03.2015.

производителей. Реакцию амплификации осуществляли на приборе Rotor-Gene Q (Германия). Концентрацию ДНК, кДНК измеряли на флуориметре Qubit 3.0 (США).

Результаты. Ранее нами был предложен способ стабилизации препаратов ДНК патогенов методом высушивания [5]. На основе предложенного способа на первом этапе работы готовили пробы ДНК бактериальных патогенов в конечной концентрации 1×10^6 м.к./мл. Препараты кДНК создавали путем разведения в соотношении 1:1 положительных контрольных образцов из наборов реагентов «АмплиСенс® COVID-19-FL», «АмплиСенс® ОРВИ-скрин-FL» 15 % раствором сахарозы. В качестве «отрицательных» образцов были использованы пробы, приготовленные из «Сыворотки эмбриональной телячьей жидкости (Fetal-Biol, «Биолот») и 15 % раствора сахарозы в соотношении 1:1.

Далее готовые препараты ДНК, кДНК и «отрицательные» пробы высушивали под вакуумом при температуре +4 °C в течение 30 мин. Все образцы были проверены как до, так и после высушивания методом ПЦР с использованием соответствующих наборов реагентов для обнаружения возбудителей чумы, туляремии, сибирской язвы, бруцеллеза, холеры, ОРВИ, COVID-19.

Результаты контроля образцов показали, что высушивание не влияет на аналитические характеристики препаратов (таблица, рис. 1).

Для определения сроков стабильности высушенных препаратов образцы ДНК, кДНК хранили при температурах: +4 °C, +26 °C, +37 °C, -20 °C в течение 30 дней (суток). Выбор сроков и температурного режима хранения был обусловлен не только сроками годности, но и условиями транспортировки препаратов. В течение всего периода хранения осуществляли контроль специфической активности препаратов ДНК, кДНК (таблица).

Результаты контроля специфической активности препаратов нуклеиновых кислот показали, что при хранении при различных температурных режимах ДНК, кДНК в приготовленных образцах не разрушились, в ряде случаев отмечено снижение концентрации ДНК, кДНК.

Установлено, что при хранении образцов ДНК в течение всего срока наблюдения при -20 °C их концентрация изменялась незначительно: от 3000 до 2997 нг/мкл – для ДНК возбудителя чумы, от 2966 до 2964 нг/мкл – для ДНК возбудителя туляремии, от 2946 до 2912 нг/мкл – для ДНК возбудителя бруцеллеза, от 2936 до 2908 нг/мкл – для ДНК возбудителя сибирской язвы. Концентрация образцов кДНК при хранении при -20 °C оставалась на уровне 2810–2901 нг/мкл – для hRv, 2857–2866 нг/мкл – для SARS-CoV-2.

При хранении образцов ДНК при +4 °C в период всего срока наблюдения концентрация нуклеиновой кислоты претерпела незначительные изменения: от 3000 до 2991 нг/мкл – для ДНК *Y. pestis*, от 2990 до 2950 нг/мкл – для ДНК *F. tularensis*, от 2966 до 2925 нг/мкл – для ДНК *B. suis*, от 2828 до 2815 нг/мкл – для ДНК *B. anthracis*. Концентрация кДНК hRv в случае хранения при температуре +4 °C держалась в пределах 2798–2799 нг/мкл, для SARS-CoV-2 – 2600–2611 нг/мкл.

Хранение контрольных образцов при плюс 26 °C в течение 7–30 суток показало, что концентрация ДНК практически не изменилась по сравнению с исходным значением: от 3000 до 2991 нг/мкл – для ДНК чумного микробы, от 3000 до 2990 нг/мкл – для ДНК туляремийного микробы, от 2980 до 2954 нг/мкл – для ДНК бруцелл, от 2915 до 2901 нг/мкл – для ДНК сибирязвенного микробы. Изменения в концентрации кДНК составили: для hRv – от 2765 до 2715 нг/мкл, для SARS-CoV-2 – от 2599 до 2385 нг/мкл.

Таблица. Контроль стабильности высушенных препаратов нуклеиновых кислот при хранении в различных условиях на примере ДНК *Y. pestis* EV НИИЭГ, кДНК риновируса (hRv) флуориметрическим и ПЦР методами

Table. Stability control of dehydrated nucleic acid preparations stored under various conditions using fluorimetric and PCR methods based on the example of *Y. pestis* EV NIIIEG DNA and rhinovirus (hRv) cDNA

Значение / Value	Сразу после высушивания / Immediately after dehydration	Через 7 суток хранения / After 7 days of storage (°C)				Через 14 суток хранения / After 14 days of storage (°C)				Через 30 суток хранения / After 30 days of storage (°C)			
		+37	+26	+4	-20	+37	+26	+4	-20	+37	+26	+4	-20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ДНК <i>Y. pestis</i> EV НИИЭГ / <i>Y. pestis</i> EV DNA NIIIEG													
Пороговый цикл (Ct) / Threshold cycle (Ct)	11,20	11,95	12,22	12,86	12,18	13,0	13,7	11,80	11,44	13,8	13,0	12,0	12,1
Концентрация ДНК (нг/мкл) / DNA concentration (ng/μL)	3000	3000	2990	2991	3000	2994	2990	2999	2998	2989	2991	2999	2997
кДНК hRv / hRv cDNA													
Пороговый цикл (Ct) / Threshold cycle (Ct)	15,20	15,95	16,22	16,86	15,18	16,6	15,8	16,91	15,44	15,8	16,0	15,0	15,0
Концентрация кДНК (нг/мкл) / cDNA concentration (ng/μL)	2765	2895	2806	2801	2904	2800	2800	2799	2901	2764	2715	2798	2810

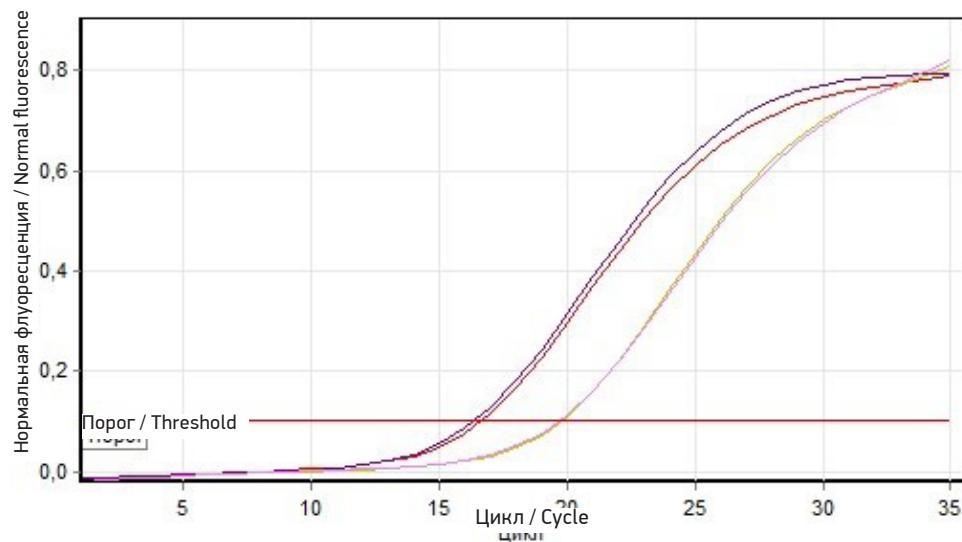
В случае хранения контрольных образцов в течение всего срока наблюдения при 37 °C свыше 7 суток отмечено незначительное снижение содержания ДНК в образцах: от 3000 нг/мкл до значений 2989 нг/мкл – для ДНК *Y. pestis*, от 2999 нг/мкл до 2894 нг/мкл – для *F. tularensis*, от 2945 нг/мкл до 2812 нг/мкл – для *B. suis*, от 2920 нг/мкл до 2865 нг/мкл – для *B. anthracis*. Концентрация кДНК при хранении при температуре 37 °C свыше 7 суток практически не снижалась и была на уровне: для *hRv* – от 2765 нг/мкл до 2764 нг/мкл, для *SARS-CoV-2* – от 2620 нг/мкл до 2600 нг/мкл.

Таким образом, установлено, что сроки хранения контрольных образцов нуклеиновых кислот в высушенном состоянии от 7 до 30 суток вне зависимости от температурного режима практически не оказывают влияния на концентрацию ДНК. Использование сахарозы в качестве стабилизатора позволило получить образцы ДНК, стабильно сохраняющие свою активность в диапазоне температур от –20 до +37 °C без значительного снижения аналитических характеристик в течение 30 суток. В связи с тем

что сроки транспортировки контрольных образцов чаще всего укладываются в 7-дневный период, возможность хранения образцов в условиях положительных (+4, +26, +37 °C) температур позволяет обеспечить их доставку без соблюдения режимов «холодовой цепи».

Высушенные препараты нуклеиновых кислот проходили исследование на специфическую стерильность в отделе биологического и технологического контроля ФКУН «Российский противочумный институт «Микроб»» Роспотребнадзора. Положительные результаты подтверждены «Протоколом исследования специфической стерильности препаратов».

При формировании панели контрольных образцов использовали препараты ДНК и (или) кДНК, «отрицательные» пробы. Образцы шифровали с соблюдением принципа конфиденциальности – каждой пробирке присваивали порядковый номер без указания информации о наличии маркера патогена. Помимо контрольных препаратов, каждая панель включала пробирку с растворителем (деионизованная вода) в объеме, достаточном для разведения всех



№	Наименование образца / Sample name	Тип / Type	Значения Ct / Ct values
1.	Контрольный образец № 1 / Control sample №. 1	Образец кДНК / cDNA sample	15,20
2.	Контрольный образец № 2 / Control sample №. 2	Образец сыворотки / Serum sample	Отр / Negative
3.	Контрольный образец № 3 / Control sample №. 3	Образец кДНК / cDNA sample	18,99
4.	Контрольный образец № 4 / Control sample №. 4	Образец сыворотки / Serum sample	Отр / Negative
5.	Контрольный образец № 5 / Control sample №. 5	Образец сыворотки / Serum sample	Отр / Negative
6.	Контрольный образец № 6 / Control sample №. 6	Образец кДНК / cDNA sample	15,22
7.	ОКВ / Negative extraction control	Вода деионизованная / Deionized water	Отр / Negative
8.	K+	Положительный контроль / Positive control	19,01
9.	K-	Отрицательный контроль / Negative control	Отр / Negative

Рис. 1. Результаты контроля панели шифрованных образцов после высушивания методом ПЦР (на примере кДНК *hRv*, учет результатов по каналу ROX на приборе Rotor-Gene Q)

Fig. 1. Results of PCR testing of a panel of coded samples after dehydration (*hRv* cDNA, ROX dye readings, Rotor-Gene Q)

образцов. Все перечисленные образцы вместе с растворителем упаковывали в пакеты, которые снабжали внешней этикеткой, содержащей: информацию о количестве и объеме контрольных образцов и растворителя, краткое название учреждения-изготовителя, дату изготовления, срок годности, температурные режимы хранения (рис. 2). Каждая панель контрольных образцов сопровождалась пакетом сопроводительных документов, включавшим в себя: инструкцию, направление и бланк ответа. В инструкции представлены назначение панели, порядок подготовки контрольных образцов к исследованию, условия хранения панели, сведения об учреждении-изготовителе (рис. 2).

Обсуждение. Панели контрольных образцов применяются в лабораториях различного профиля для внешней оценки качества проводимых исследований [6–16]. Разработчики таких панелей используют эталонные пробы (образцы), характеризующиеся заданными свойствами и определенными параметрами, по которым можно оценивать качество выполняемых исследований. Так, для внешней оценки качества в лабораториях массового ПЦР-тестирования на SARS-CoV-2 в Индии, Южной Корее, Таиланде, странах Восточного Средиземноморья использовались панели контрольных образцов, содержащие инактивированные штаммы возбудителей COVID-19, желтой лихорадки, лихорадок денге, Зика и Чикунгунья [17–21]. По данным авторов панели успешно апробированы в зарубежных лабораториях. Альтернативой таким образцам служат пробы, содержащие ДНК возбудителей инфекционных болезней, которые широко применяются в нашей стране

для оценки качества проводимых исследований в лабораториях. Например, О.Ю. Шипулина и соавт. (2007) применяли панели контрольных образцов, содержащие ДНК ВПЧ различного канцерогенного риска (низкого, высокого), для оценки аналитической чувствительности ВПЧ-тестов. Авторами показана возможность использования контрольных проб ДНК ВПЧ при валидации ВПЧ-тестов в лабораториях. А.П. Сафоновой и соавт. (2010) были применены контрольные панели «Вирус гепатита С» и «Вирус гепатита В» для оценки внутрилабораторного контроля качества исследований. Такие панели необходимы при проведении МСИ, валидации методик в испытательных лабораториях.

Сконструированные нами контрольные панели, содержащие ДНК/кДНК бактериальных и вирусных патогенов, проходили апробацию на базе лабораторий учреждений Роспотребнадзора – противочумных институтов, противочумных станций, а также в мобильных лабораториях при проведении учений команд быстрого реагирования СПЭБ Роспотребнадзора и стран Содружества Независимых Государств (СНГ), Восточной Европы, Закавказья и Центральной Азии (ВЕЗЦА).

Для каждого учреждения готовилась индивидуальная контрольная панель, шифрование по которой не дублировалось, и рассыпалась с сопроводительными документами. Время в пути составляло от 72 часов до 7 суток.

Всего проведено свыше 200 исследований контрольных шифрованных образцов методом ПЦР при проведении: семи курсов профессиональной

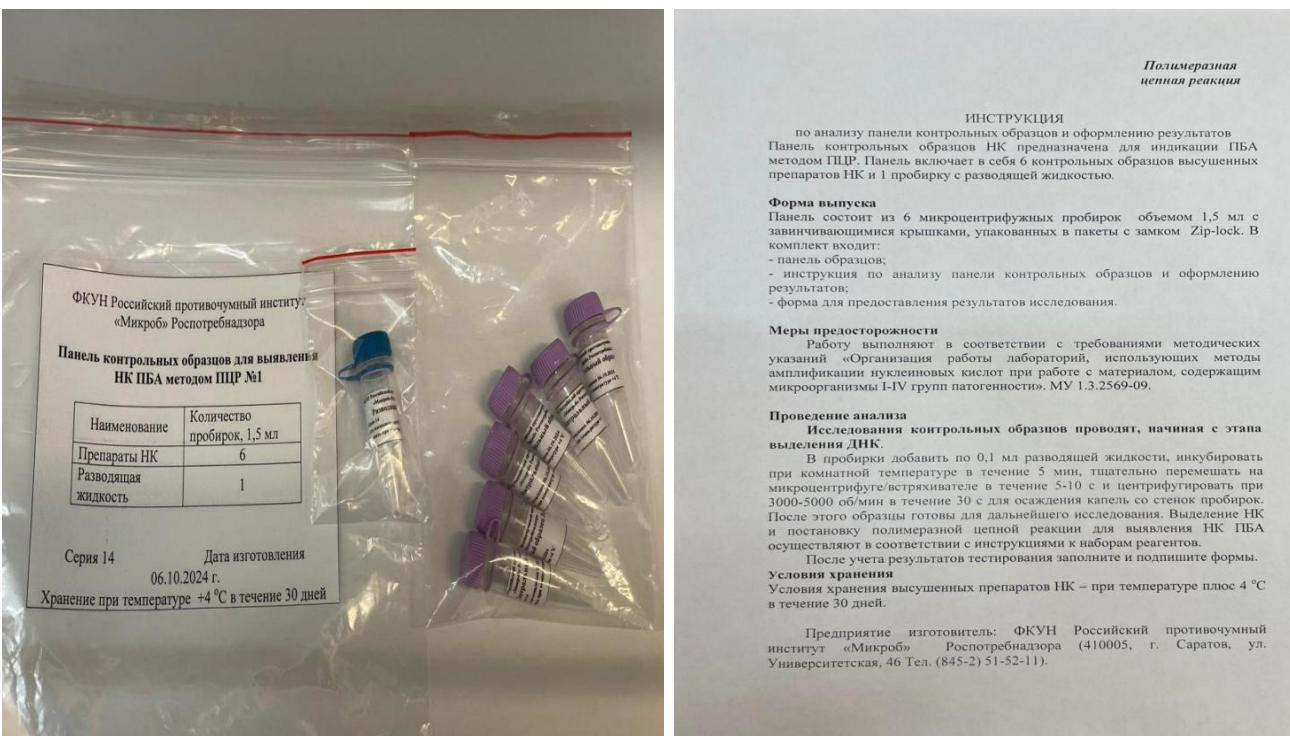


Рис. 2. Образец сформированной контрольной панели по индикации ПБА методом ПЦР (на примере ДНК возбудителя чумы) и инструкции по применению

Fig. 2. An example of the assembled control panel for PCR detection of microbial pathogens (Y. pestis DNA) and instructions for use

подготовки по программе «Подготовка личного состава специализированных противоэпидемических бригад для работы в чрезвычайных ситуациях» для специалистов Роспотребнадзора РФ, стран СНГ и ВЕЗЦА (2020–2024 г.), девяти этапов внешнего контроля качества исследований на чуму в противочумных учреждениях с 2011 по 2019 г., восьми международных учений команд быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации санитарно-эпидемиологического характера стран СНГ, ВЕЗЦА на базе мобильных лабораторий Роспотребнадзора. Проведенный нами анализ полученных результатов исследований панелей контрольных образцов на базе лабораторий учреждений Роспотребнадзора и в мобильных лабораториях при проведении учений команд быстрого реагирования показал, что всеми лабораториями маркеры возбудителей были выявлены согласно протоколам шифрования проб. Установлено, что предложенный ранее способ выслушивания препаратов нуклеиновых кислот эффективно сохраняет ДНК и кДНК при транспортировании препаратов в течение 7 суток.

Заключение. Таким образом, сконструированы панели контрольных образцов, содержащие ДНК, кДНК возбудителей чумы, туляремии, холеры, бруцеллеза, сибирской язвы, новой коронавирусной инфекции, ОРВИ для проведения обучения специалистов учреждений Роспотребнадзора по индикации ПБА методом ПЦР, в том числе в мобильных лабораториях, для внешней оценки качества исследований на чуму в противочумных организациях.

В процессе изготовления панелей нами подобраны наиболее оптимальные сроки и температурные режимы их хранения с учетом условий транспортирования и сроков годности. В дальнейшем подобные панели контрольных образцов, содержащие нуклеиновые кислоты особо опасных бактериальных и наиболее распространенных вирусных патогенов, могут быть использованы при внедрении новых методик в лабораториях учреждений Роспотребнадзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романюк Т.Н., Шипулина О.Ю., Дмитрюкова М.В. Разработка панели образцов для контроля качества ВПЧ-тестирования на основе жидкостной технологии // Лабораторная служба. 2016. Т. 5. № 3. С. 57.
2. Шипулина О.Ю., Сильвестрова О.Ю., Творогова М.Г., Малахов В.Н. Разработка и использование панели контрольных образцов для проведения контроля качества выделения ДНК вируса папилломы человека высокого онкогенного риска // Сборник материалов IV междисциплинарной научно-практической конференции «Урогенитальные инфекции и репродуктивное здоровье: клинико-лабораторная диагностика и терапия». Москва, 17–18 марта. М., 2011. С. 98–99.
3. Сафонова А.П., Шипулина О.Ю. Опыт организации и проведения внутрилабораторного контроля качества в лаборатории молекулярных методов центра молекулярной диагностики ФГУН ЦНИИ Эпидемиологии // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Молекулярная диагностика – 2010», Москва, 24–26 ноября 2010 года / Под ред. В.И. Покровского. М., 2010. Т. 4, Раздел 23. С. 372–377.
4. Шипулина О.Ю., Куевда Д.А., Ермакова Н.В., Шишова А.В. Разработка панели контрольных образцов ДНК вирусов папилломы человека, ее валидация и тестиирование в ВПЧ-тестах «АмплиСенс» // Генодиагностика инфекционных болезней – 2007 (Молекулярная диагностика – 2007): сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. М., 2007. Т. 3. С. 153–155.
5. Сеничкина А.М., Осина Н.А., Шарова И.Н. Разработка способа стабилизации препаратов ДНК возбудителей особо опасных инфекционных болезней путем выслушивания // Материалы XIV Межгосударственной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФКУЗ РосНИПЧИ «Микроб», Саратов, 20–21 ноября 2018 года / Под ред. А.Ю. Поповой, В.В. Кутырева. Саратов: РосНИПЧИ «Микроб», 2018. С. 354–356.
6. Степановских В.В., Кузьмин И.М. Применение стандартных образцов в аналитических лабораториях металлургических предприятий // Аналитика и контроль. 1998. № 3/4. С. 90–92.
7. Хайдукова И.Л. Оценка качества выявления маркеров инфекционных заболеваний методами ИФА // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. № 9(1). С. 8.
8. Заикин Е.В. Внешняя оценка качества выявления генетических маркеров инфекционных заболеваний методом ПЦР в рамках ФСВОК // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. № 9(1). С. 8–9.
9. Терещенко А.Г., Пикула Н.П. Внутрилабораторный контроль качества результатов химического анализа. Томск: СТТ, 2017. 266 с.
10. Семёнов С.Ю., Стерликов А.В., Тананыкин Н.И. и др. Внешний контроль качества исследований в испытательных лабораториях при проведении прямых измерений // Медицина экстремальных ситуаций. 2018. Т. 20. № 2. С. 223–231.
11. Кушнарев В.А., Кудайбергенова А.Г., Завалишина Л.Э. Применение внутрилабораторного и внешнего контроля качества иммуногистохимических исследований для улучшения выявления рецепторов эстрогенов и прогестеронов // Архив патологии. 2021. Т. 83. № 2. С. 5–9. doi: 10.17116/patol2021830215
12. Журавков А.А., Колбин А.С. Внешний контроль при проведении исследований RWD/RWE: методологический подход // Качественная клиническая практика. 2022. № 2. С. 21–27. doi: 10.37489/2588-0519-2022-2-21-27.
13. Krleza JL, Dorotic A, Grzunov A. External quality assessment of medical laboratories in Croatia: Preliminary evaluation of post-analytical laboratory testing. *Biochem Med (Zagreb)*. 2017;27(1):144–152. doi: 10.11613/BM.2017.018
14. Krleza JL, Celap I, Tanaskovic JV. External Quality Assessment in Croatia: Problems, challenges, and specific circumstances. *Biochem Med (Zagreb)*. 2017;27(1):86–92. doi: 10.11613/BM.2017.011
15. Kristensen GB, Meijer P. Interpretation of EQA results and EQA-based trouble shooting. *Biochem Med (Zagreb)*. 2017;27(1):49–62. doi: 10.11613/BM.2017.007
16. Badrick T, Gay S, McCaughey EJ, Georgiou A. External Quality Assessment beyond the analytical phase: An Australian perspective. *Biochem Med (Zagreb)*. 2017;27(1):73–80. doi: 10.11613/BM.2017.009
17. Favaloro EJ, Bonar R. External quality assessment/proficiency testing and internal quality control for the PFA-100 and PFA-200: An update. *Semin Thromb Hemost*. 2014;40(2):239–253. doi: 10.1055/s-0034-1365844
18. Squires RC, Oxenford CJ, Cognat S, Konings F. Performance of Eastern Mediterranean Region laboratories

- in the World Health Organization external quality assessment programme for arbovirus diagnostics. *East Mediterr Health J.* 2020;26(5):616-619. doi: 10.26719/emhj.20.015
19. Sung H, Han MG, Yoo CK, et al. Nationwide external quality assessment of SARS-CoV-2 molecular testing, South Korea. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(10):2353-2360. doi: 10.3201/eid2610.202551
20. Kaur H, Mukhopadhyay L, Gupta N, et al. External quality assessment of COVID-19 real time reverse transcription PCR laboratories in India. *PLoS One.* 2022;17(2):e0263736. doi: 10.1371/journal.pone.0263736
21. Saeng-Aroon S, Changsom D, Boonmuang R, et al. First round of external quality assessment scheme for SARS-CoV-2 laboratories during the COVID-19 pandemic in Thailand. *Health Secur.* 2023;21(3):183-192. doi: 10.1089/hs.2022.0117

REFERENCES

1. Romanyuk TN, Shipulina OY, Dmitriyukova MV. The development of a panel of samples for quality control of HPV testing for liquid-based technology. *Laboratornaya Sluzhba.* 2016;5(3):57. (In Russ.)
2. Shipulina OY, Silveystrova OY, Tvorogova MG, Malakhov VN. [Development and use of control sample panel for quality control of high-risk human papillomavirus DNA isolation.] In: *Urogenital Infections and Reproductive Health: Clinical and Laboratory Diagnostics and Therapy: Proceedings of the IV Interdisciplinary Scientific and Practical Conference, Moscow, March 17-18. 2011. Moscow; 2011:98-99.* (In Russ.)
3. Safonova AP, Shipulina OYu. [Experience in organizing and conducting internal laboratory quality control in the laboratory of molecular methods of the Center for Molecular Diagnostics of the Central Research Institute of Epidemiology]. In: Pokrovsky VI, ed. *Molecular Diagnostics – 2010: Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Moscow, November 24–26, 2010.* Moscow: Kiseleva NV Publ.; 2010;4:372-377. (In Russ.)
4. Shipulina OYu, Kuevda DA, Ermakova NV, Shishova AV, Nasonova VS, Trofimova OB. [Development of a panel of control DNA samples of human papillomavirus, its validation and AmpliSens HPV testing.] In: Pokrovsky VI, ed. *Molecular Diagnostics – 2007: Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, November 28–30, 2007.* Moscow: Universitetskaya Kniga Publ.; 2007;3:153-155. (In Russ.)
5. Senichkina AM, Osina NA, Sharova IN. Development of the method for stabilization of DNA preparations for particularly dangerous infections applying sublimation. In: Popova AY, Kutyrev VV, eds. *Provision of Sanitary-Epidemiological Welfare in the CIS Member-States: Proceedings of the XIV Interstate Scientific and Practical Conference, Saratov, November 20–21, 2018.* Saratov: Amirit Publ.; 2018:354-356. (In Russ.)
6. Stepanovskikh VV, Kuzmin IM. [Application of standard samples in analytical laboratories of metallurgical enterprises.] *Analitika i Kontrol'.* 1998;2(3-4):90-92. (In Russ.)
7. Khaidukova IL. [Evaluation of the quality of detection of infectious disease markers using ELISA.] *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika.* 2013;9(1):8. (In Russ.)
8. Zaikin EV. [External assessment of the quality of detection of genetic markers of infectious diseases by PCR within the Federal System of External Quality Control]. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika.* 2013;9(1):8-9. (In Russ.)
9. Tereshchenko AG, Pikula NP. [Internal Laboratory Quality Control of Chemical Analysis Results.] Tomsk: STT Publ.; 2017. (In Russ.)
10. Semenov SYu, Sterlikov AV, Tananykin NI, Kolbutova KB, Kurilenko YuV, Voronkov AV. External control of the research quality in testing laboratories in performing direct measurements. *Meditina Ekstremalnykh Situatsiy.* 2018;20(2):223-231. (In Russ.)
11. Kushnarev VA, Kudaibergenova AG, Zavalishina LE. The use of intralaboratory and external quality control of immunohistochemical studies to improve the detection of estrogen and progesterone receptors. *Arkhiv Patologii.* 2021;83(2):5-9. (In Russ.) doi: 10.17116/patol2021830215
12. Zhuravkov AA, Kolbin AS. External control during RWD/RWE research: A methodological approach. *Kachestvennaya Klinicheskaya Praktika.* 2022;(2):21-27. (In Russ.) doi: 10.37489/2588-0519-2022-2-21-27
13. Krleza JL, Dorotic A, Grzunov A. External quality assessment of medical laboratories in Croatia: Preliminary evaluation of post-analytical laboratory testing. *Biochem Med (Zagreb).* 2017;27(1):144-152. doi: 10.11613/BM.2017.018
14. Krleza JL, Celap I, Tanaskovic JV. External Quality Assessment in Croatia: Problems, challenges, and specific circumstances. *Biochem Med (Zagreb).* 2017;27(1):86-92. doi: 10.11613/BM.2017.011
15. Kristensen GB, Meijer P. Interpretation of EQA results and EQA-based trouble shooting. *Biochem Med (Zagreb).* 2017;27(1):49-62. doi: 10.11613/BM.2017.007
16. Badrick T, Gay S, McCaughey EJ, Georgiou A. External Quality Assessment beyond the analytical phase: An Australian perspective. *Biochem Med (Zagreb).* 2017;27(1):73-80. doi: 10.11613/BM.2017.009
17. Favaloro EJ, Bonar R. External quality assessment/proficiency testing and internal quality control for the PFA-100 and PFA-200: An update. *Semin Thromb Hemost.* 2014;40(2):239-253. doi: 10.1055/s-0034-1365844
18. Squires RC, Oxenford CJ, Cognat S, Konings F. Performance of Eastern Mediterranean Region laboratories in the World Health Organization external quality assessment programme for arbovirus diagnostics. *East Mediterr Health J.* 2020;26(5):616-619. doi: 10.26719/emhj.20.015
19. Sung H, Han MG, Yoo CK, et al. Nationwide external quality assessment of SARS-CoV-2 molecular testing, South Korea. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(10):2353-2360. doi: 10.3201/eid2610.202551
20. Kaur H, Mukhopadhyay L, Gupta N, et al. External quality assessment of COVID-19 real time reverse transcription PCR laboratories in India. *PLoS One.* 2022;17(2):e0263736. doi: 10.1371/journal.pone.0263736
21. Saeng-Aroon S, Changsom D, Boonmuang R, et al. First round of external quality assessment scheme for SARS-CoV-2 laboratories during the COVID-19 pandemic in Thailand. *Health Secur.* 2023;21(3):183-192. doi: 10.1089/hs.2022.0117

Сведения об авторах:

✉ Сеничкина Айслу Мухаметовна – к.б.н., старший научный сотрудник отдела диагностики инфекционных болезней; e-mail: senichkina81@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1026-2680>.

Портенко Светлана Анатольевна – к.б.н., заведующий отделом диагностики инфекционных болезней; e-mail: portenko_sa@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8334-9173>.

Шарова Ирина Николаевна – к.б.н., главный научный сотрудник отдела биологической безопасности; e-mail: rusrapi@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0037-3048>.

Осина Наталья Александровна – к.б.н., заведующий отделом микробиологии; e-mail: rusrapi@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0954-5683>.

Корешкова Оксана Андреевна – младший научный сотрудник отдела диагностики инфекционных болезней; e-mail: 79869975952@ya.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2029-0646>.

Блинова Ксения Дмитриевна – младший научный сотрудник отдела диагностики инфекционных болезней; e-mail: blinova_kd@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5416-6714>.

Малюкова Татьяна Анатольевна – к.м.н., ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом образовательных программ и подготовки специалистов; e-mail: training@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5629-4111>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Сеничкина А.М.*; сбор данных: *Сеничкина А.М.*, *Блинова К.Д.*; анализ и интерпретация результатов: *Корешкова О.А.*; обзор литературы, подготовка текста рукописи: *Осина Н.А.*, *Портенко С.А.*, *Шарова И.Н.*, *Малюкова Т.А.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 10.01.25 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

✉ Aislu M. **Senichkina**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Department of Infectious Disease Diagnostics; e-mail: senichkina81@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1026-2680>.

Svetlana A. **Portenko**, Cand. Sci. (Biol.), Head of the Department of Infectious Disease Diagnostics; e-mail: portenko_sa@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8334-9173>.

Irina N. **Sharova**, Cand. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Department of Biological Safety; e-mail: rusrapi@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0037-3048>.

Oksana A. **Koreshkova**, Junior Researcher, Department of Infectious Disease Diagnostics; e-mail: 79869975952@ya.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2029-0646>.

Ksenia D. **Blinova**, Junior Researcher, Department of Infectious Disease Diagnostics; e-mail: blinova_kd@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5416-6714>.

Natalia A. **Osina**, Cand. Sci. (Biol.), Head of Microbiology Department; e-mail: rusrapi@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0954-5683>.

Tatiana A. **Malyukova**, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Acting Head of the Department of Educational Programs and Specialist Training; e-mail: training@microbe.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5629-4111>.

Author contributions: study conception and design: *Senichkina A.M.*; data collection: *Senichkina A.M.*, *Blinova K.D.*; analysis and interpretation of results: *Koreshkova O.A.*; bibliography compilation and referencing, draft manuscript preparation: *Osina N.A.*, *Portenko S.A.*, *Sharova I.N.*, *Malyukova T.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: January 10, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025



Особенности этиопатогенеза пневмокониоза и хронического бронхита у работников пылевых профессий предприятий в Арктике

С.А. Сюрин¹, А.А. Ковшов^{1,2}

¹ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,
2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российской Федерации

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова»
Минздрава России, Кирочная ул., д. 41, г. Санкт-Петербург, 191015, Российской Федерации

Резюме

Введение. Несмотря на улучшение условий труда, совершенствование средств индивидуальной защиты и проведение периодических медицинских осмотров пневмокониоз продолжает выявляться у работников пылевых профессий.

Цель исследования: сравнительный анализ условий и обстоятельств развития, а также показателей распространенности пневмокониоза и хронического бронхита у работников пылевых профессий предприятий в Арктике.

Материалы и методы. За 2007–2023 годы изучены данные социально-гигиенического мониторинга «Условия труда и профессиональная заболеваемость» и данные 10 343 заболеваний из реестра выписок карт учета профессиональных заболеваний (Приказ Минздрава России от 28.05.2001 № 176). Для достижения цели были исследованы основная (пневмокониоз) и референтная (хронический бронхит) группы наблюдения. Статистическая обработка результатов проведена с использованием Microsoft Excel 2016, программы Epi Info (v.6.04d) и Statistica (v.12). Рассчитывались *t*-критерий Стьюдента, критерий согласия (χ^2), относительный риск (ОР) и 95 % доверительный интервал (95 % ДИ), коэффициент аппроксимации (R^2).

Результаты. В 2007–2021 годах впервые выявлено 77 случаев пневмокониоза. Его формирование было более вероятным у мужчин при классе условий труда 3.3 вследствие несовершенства технологических процессов и при добыче рудного сырья. В течение 15 лет не отмечено снижения случаев пневмокониоза даже при уменьшении численности экспонированных работников. Установлены существенные отличия условий и обстоятельств развития пневмокониоза и хронического бронхита ($n = 823$), число случаев которого в 2007–2021 годах снизилось преимущественно вследствие уменьшения численности экспонированных работников. Риск развития пневмокониоза в 2007–2021 годах не изменился (ОР = 1,12; 95 % ДИ 0,66–1,92), а хронического бронхита в 2001–2011 годах был выше, чем в 2017–2021 годах (ОР = 3,28; 95 % ДИ 2,64–4,06).

Заключение. В 2007–2021 годах не произошло уменьшения случаев пневмокониоза, что делает необходимым снижение экспозиции работников к аэрозолям преимущественно фиброгенного действия, соблюдение регламента периодических медицинских осмотров, а также изучение патогенетических механизмов формирования заболеваний легких в условиях современного производства. Впервые выявляемые случаи пневмокониоза должны расследоваться комиссией экспертов-профпатологов.

Ключевые слова: условия труда, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, пневмокониоз, хронический бронхит, профилактика, Арктика.

Для цитирования: Сюрин С.А., Ковшов А.А. Особенности этиопатогенеза пневмокониоза и хронического бронхита у работников пылевых профессий предприятий в Арктике // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 25–32. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-25-32

Features of Etiopathogenesis of Pneumoconiosis and Chronic Bronchitis in Workers of Dusty Occupations at Enterprises in the Arctic

Sergei A. Syurin,¹ Aleksandr A. Kovshov^{1,2}

¹ Northwest Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov,
41, Kirochnaya Street, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

Summary

Introduction: Despite periodic medical examinations, improvement of working conditions and personal protective equipment, pneumoconiosis is still diagnosed in workers of dusty occupations.

Objective: To compare conditions and circumstances of development, as well as the prevalence rates of pneumoconiosis and chronic bronchitis in workers in dusty occupations at enterprises in the Arctic.

Materials and methods: We studied public health monitoring data on working conditions and occupational diseases and information about 10,343 cases in the register of extracts from occupational disease registration cards (Order No. 176 of the Russian Ministry of Health of dated May 28, 2001) for 2007–2023. To achieve the goal, the main (pneumoconiosis) and reference (chronic bronchitis) observation groups were formed. Microsoft Excel 2016, Epi Info 6.04d, and Statistica 12 were used for statistical data analysis with the Student's *t*-test, goodness-of-fit test (χ^2), and calculation of the relative risk (RR), 95 % confidence interval (95 % CI), and approximation coefficient (R^2).

Results: In 2007–2021, 77 cases of pneumoconiosis were detected. Its development was more likely in men having class 3.3 working conditions, due to imperfect technological processes and during the extraction of ore raw materials. No decrease in the number of pneumoconiosis cases was noted over 15 years despite the decreasing number of exposed workers. We established significant differences in the conditions and circumstances of the development of pneumoconiosis and chronic bronchitis ($n = 823$), the number of cases of which decreased in 2007–2021 mainly due to a smaller exposed workforce. The risk of pneumoconiosis in 2007–2021 did not change (OR = 1.12; 95 % CI: 0.66–1.92), while that of chronic bronchitis in 2001–2011 was higher than in 2017–2021 (OR = 3.28; 95 % CI: 2.64–4.06).

Conclusion: No decrease in the number of pneumoconiosis cases was observed in 2007–2021, which necessitates reduction of workers' exposure to fibrogenic aerosols, compliance with the regulations for periodic medical examinations, and the study of pathogenetic mechanisms of development of lung diseases in the current occupational setting. Newly diagnosed cases of pneumoconiosis should be investigated by a commission of expert occupational pathologists.

Keywords: working conditions, fibrogenic aerosols, pneumoconiosis, chronic bronchitis, disease prevention, Arctic.

Cite as: Syurin SA, Kovshov AA. Features of etiopathogenesis of pneumoconiosis and chronic bronchitis in workers of dusty occupations at enterprises in the Arctic. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(3):25–32. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-25-32

Введение. Пневмокониоз в историческом аспекте можно рассматривать как старейшее профессиональное заболевание, так как неблагоприятное влияние пыли на здоровье и легкие работников было описано в медицинской литературе еще в XVI веке [1, 2]. В настоящее время причины и условия развития пневмокониоза хорошо изучены, хотя некоторые вопросы патогенеза все еще нуждаются в уточнении [3, 4].

На предприятиях, расположенных в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ)¹, условия для воздействия на работников аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) возникают главным образом при добыче и переработке каменного угля, апатит-нефелиновой, медно-никелевой, железной и некоторых других видов руды, производстве никеля и сопутствующих металлов [5]. На этих предприятиях для снижения пылевой нагрузки широко применяются различные системы пылеподавления и средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), а также медицинские методы профилактики профессиональной респираторной патологии [6, 7]. Особый интерес к изучению этой проблемы в АЗРФ обусловлен еще и тем, что производственные операции, выполняемые на открытом воздухе в холодном арктическом климате, связаны с повышенной опасностью воздействия пыли на работников. Она формируется из-за повышенного накопления пыли в приземном слое атмосферного воздуха, увеличения ингаляционного поступления и ее депонирования в организме вследствие легочной гипервентиляции и снижения эффективности фильтрующих свойств СИЗОД [8]. В подземных рудниках Арктики при производстве работ в условиях вечной мерзлоты горных пород концентрации АПФД в воздухе рабочей зоны могут многократно превышать ПДК из-за отсутствия или неэффективного применения средств борьбы с пылью [9, 10]. Помимо этого, известно, что арктические климатические условия оказывают дополнительную нагрузку на регуляторные системы организма [11–13]. Таким образом, они способны модифицировать действие вредных производственных факторов, делая возможным более частое и быстрое развитие профессиональной патологии [14, 15].

Данные исследований последних лет выявили снижение показателей распространенности (как абсолютного числа случаев, так и уровня заболеваемости) профессиональных заболеваний органов дыхания у работников предприятий в АЗРФ в основном за счет хронического бронхита [16]. При этом анализ изменений условий формирования и динамика распространенности пневмокониоза не проводился в связи с незначительным, по сравнению с хроническим бронхитом, числом заболеваний.

Цель исследования заключалась в сравнительном анализе условий и обстоятельств развития, а также показателей распространенности пневмокониоза и хронического бронхита у работников пылевых профессий предприятий в Арктике.

Материалы и методы. Проведен анализ данных социально-гигиенического мониторинга «Условия труда и профессиональная заболеваемость» и данных 10 343 заболеваний из реестра выписок из карт учета профессионального заболевания (отравления)². Для достижения поставленной цели в субъектах АЗРФ были исследованы основная (пневмокониоз) и референтная (хронический бронхит) группы наблюдения в трех пятилетних периодах: 2007–2011, 2012–2016 и 2017–2021 годы.

Проведена статистическая обработка полученных результатов с использованием Microsoft Excel 2016, программы Epi Info (v.6.04d) и Statistica (v.12). Рассчитывались *t*-критерий Стьюдента для количественных данных в несвязанных (независимых) выборках, для номинальных данных – критерий согласия χ^2 (для таблиц 2 × 2, где хотя бы в одной из ячеек число наблюдений было меньше 10 – с поправкой на правдоподобие, меньше 5 – точный критерий Фишера), относительный риск (ОР) и 95 % доверительный интервал (95 % ДИ), коэффициент аппроксимации (R^2). Числовые данные представлены как абсолютные и процентные значения, среднее арифметическое и его стандартная ошибка ($M \pm m$). Значимость нулевой гипотезы считалась критической при $p < 0,05$.

Ограничение исследования. Отсутствие данных о реальном влиянии использования СИЗОД и их характеристик на формирование хронического бронхита и пневмокониоза.

Результаты. На территории АЗРФ в течение 15 лет вследствие воздействия АПФД было зарегистрировано 77 случаев пневмокониоза и 823 случая хронического профессионального бронхита. Работники с пневмокониозом и хроническим бронхитом не отличались по гендерному составу (подавляющее число мужчин), возрасту и продолжительности стажа работы в условиях воздействия АПФД на момент установления профессионального заболевания (табл. 1).

Анализ условий и обстоятельств развития основной и референтной групп заболеваний при экспозиции к АПФД показал, что основное количество случаев заболеваний регистрировалось при вредных условиях труда 4-й степени, однако при диагностике пневмокониоза доля класса условий труда 3.3 была выше (а класса 3.4 – ниже), чем в случае хронического бронхита. Степень фиброгенности пыли (слабая, умеренная, высокая) не определяла особенностей патологического процесса в бронхах и легких. В обеих группах работников преобладала экспозиция к слабофиброгенным аэрозолям (93,5–96,7 %). Конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования чаще определялись при хроническом бронхите, а несовершенство технологических процессов – при пневмокониозе. Более 90 % всех случаев пневмокониоза и хронического бронхита выявлялись у работников, осуществлявших добычу полезных ископаемых, без значимых различий между двумя

¹ Указ Президента Российской Федерации от 02.05.2014 № 296 (ред. от 05.03.2020) «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».

² Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.05.2001 № 176 «О совершенствовании системы расследования и учета профессиональных заболеваний в Российской Федерации». Приложение 2.

Таблица 1. Общая характеристика работников с пневмокониозом и хроническим бронхитом**Table 1. General characteristics of workers with pneumoconiosis and chronic bronchitis**

Показатель / Indicator	Группы наблюдения / Study groups		p
	Пневмокониоз / Pneumoconiosis n = 77	Хронический бронхит / Chronic bronchitis n = 823	
Пол / Sex:			
мужчины, чел. / males, n	73 (94,8 %)	784 (95,3 %)	0,780
женщины, чел. / females, n	4 (5,2 %)	39 (4,7 %)	
Возраст, лет / Age, years	53,2 ± 0,9	51,5 ± 0,2	0,267
Стаж, лет / Length of service, years	24,1 ± 0,9	25,3 ± 0,2	0,180

группами. Однако при добыче угля вероятность развития хронического бронхита была выше, чем при добыче рудного сырья. Напротив, в строительстве доля работников с пневмокониозом превышала долю работников с хроническим бронхитом (табл. 2).

Важной особенностью пневмокониоза явилось его выявление у 58 (75,3 %) работников после их самостоятельного обращения за медицинской помощью в связи с ухудшением самочувствия. Только в 19 (24,7 %) случаях пневмокониоз диагностировался после установления предварительного диагноза в рамках периодических медицинских осмотров. В отличие от пневмокониоза выявление хронического бронхита чаще ($p < 0,001$) происходило по данным

периодического медицинского осмотра: 431 (52,4 %) случай. Реже ($p < 0,001$) диагноз устанавливался в результате самостоятельного обращения работника: 389 (47,6 %) случаев.

В 2007–2021 годах на предприятиях в АЗРФ отмечалось постепенное уменьшение средней годовой численности занятых на них работников: в 2012–2016 годах по сравнению с 2007–2011 годами на 48,95 чел. (8,1 %), а в 2017–2021 годах по сравнению с 2012–2016 годами – на 53,90 чел. (9,7 %). Схожая, но менее выраженная динамика наблюдалась также в численности работников, экспонированных к АПФД: снижение на 4,8 и 5,5 %. На фоне уменьшения числа всех работников и тех,

Таблица 2. Условия и обстоятельства развития пневмокониоза и хронического бронхита
Table 2. Conditions and circumstances for developing pneumoconiosis and chronic bronchitis

Показатель / Indicator	Группа наблюдения / Study group		p
	Пневмокониоз / Pneumoconiosis (n = 77)	Хронический бронхит / Chronic bronchitis (n = 823)	
<i>Класс условий труда, случаи / Class of working conditions, cases</i>			
3.1	11 (13,0 %)	147 (17,9 %)	0,282
3.2	14 (18,2 %)	126 (15,3 %)	0,507
3.3	22 (28,6 %)	126 (15,3 %)	0,003
3.4	30 (38,6 %)	424 (51,5 %)	0,036
<i>Фиброгенность аэрозолей, случаи / Fibrogenicity of aerosols, cases</i>			
Слабая фиброгенность / Mild fibrogenicity	72 (93,5 %)	796 (96,7 %)	0,186
Умеренная и высокая фиброгенность / Moderate and high fibrogenicity	5 (6,5 %)	27 (3,3 %)	
<i>Обстоятельства развития, случаи / Circumstances of development, cases</i>			
Конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования / Design flaws of machines, mechanisms and equipment	25 (32,5 %)	567 (68,9 %)	<0,001
Несовершенство технологических процессов / Imperfection of technological processes	44 (57,1 %)	206 (25,0 %)	<0,001
Несовершенство рабочих мест / Imperfection of workplaces	5 (6,5 %)	36 (4,4 %)	0,394
Неисправность машин, механизмов и другого оборудования / Malfunction of machines, mechanisms and other equipment	2 (2,6 %)	10 (1,2 %)	0,274
Прочие / Others	1 (1,3 %)	4 (0,5 %)	0,361
<i>Вид экономической деятельности, случаи / Type of economic activity, cases</i>			
Добыча полезных ископаемых / Mining, в том числе / including: каменного угля / coal рудного сырья / crude ore	70 (90,9 %) 42 (54,5 %) 28 (40,0 %)	774 (94,0 %) 735 (89,3 %) 39 (10,7 %)	0,276 <0,001 <0,001
Металлургическое производство / Metallurgical production	3 (3,9 %)	33 (4,0 %)	1,000
Строительство / Construction	4 (1,7 %)	7 (0,9 %)	0,010
Другие / Others	0	9 (1,1 %)	1,000

кто был экспонирован к АПФД, произошло снижение количества случаев впервые диагностированного хронического бронхита. В 2012–2016 годах это снижение составило 56 случаев (14,5 %). Намного более значительным оно было в 2017–2021 годах по сравнению с 2012–2016 годами: 226 случаев (68,3 %). В отличие от хронического бронхита значимая динамика числа случаев впервые выявленного пневмокониоза в течение трех выделенных пятилетних периодов отсутствовала (табл. 3). Риск развития пневмокониоза в первые пять лет по сравнению с последними пятью годами периода наблюдения существенно не изменился: OR = 1,12; 95 % ДИ 0,66–1,92. В отличие от пневмокониоза риск развития хронического профессионального бронхита в 2007–2011 годах был выше, чем в 2017–2021 годах: OR = 3,28; 95 % ДИ 2,64–4,06.

Для уточнения особенностей динамики числа случаев пневмокониоза и хронического бронхита проведен ее анализ не только по пятилетним периодам, но и по каждому из 15 лет наблюдения (рис. 1).

Ежегодное число случаев пневмокониоза в 2007–2021 годах колебалось в значительном диапазоне от 2 (2021 год) до 11 (2008 год) случаев, но отсутствовала общая направленность этой динамики к росту или снижению. Об этом свидетельствовала почти параллельная ось абсцисс линия тренда при

$R^2 = 0,048$. В отличие от пневмокониоза число случаев хронического бронхита имело четкую направленность изменений: повышение в 2008–2010 годах, сохранение максимальных значений в 2011–2013 годах, снижение показателей с 2014 года до цифр ниже исходного уровня. В целом в течение 15 лет отмечалось значимое снижение числа случаев хронического бронхита, о чем говорила направленность линии тренда при $R^2 = 0,514$.

Для определения влияния на число случаев пневмокониоза и хронического бронхита численности работников изучена динамика относительного показателя: абсолютное число случаев заболевания на 10 000 работников, экспонированных к АПФД (рис. 2). В целом изменения показателя как для хронического бронхита, так и пневмокониоза были сходными с динамикой абсолютного числа случаев, хотя тенденция к снижению заболеваемости хроническим бронхитом не была статистически значимой ($R^2 = 0,484$). При пневмокониозе линия тренда не демонстрировала связи временного фактора с числом заболеваний ($R^2 = 0,017$).

Обсуждение. Проведенное сравнительное исследование особенностей формирования пневмокониоза и хронического профессионального бронхита у работников пылевых специальностей предприятий в Арктике позволило выявить ряд

Таблица 3. Впервые выявленные пневмокониоз и хронический бронхит с учетом всех экспонированных работников к аэрозолям преимущественно фиброгенного действия

Table 3. Newly diagnosed cases of pneumoconiosis and chronic bronchitis among all workers exposed to fibrogenic aerosols

Показатель / Indicator	Период наблюдения / Observation period		
	2007–2011	2012–2016	2017–2021
Пневмокониоз / Pneumoconiosis, случаи / cases	30	23	24
Хронический бронхит / Chronic bronchitis, случаи / cases	387	331	105
Среднее годовое число работников, экспонированных к фиброгенным аэрозолям / Mean annual number of workers exposed to fibrogenic aerosols, тыс. чел. / n	23,71	22,56	21,32
Среднее годовое число всех работников / Mean annual number of all workers, тыс. чел. / n	606,50	557,55	503,65

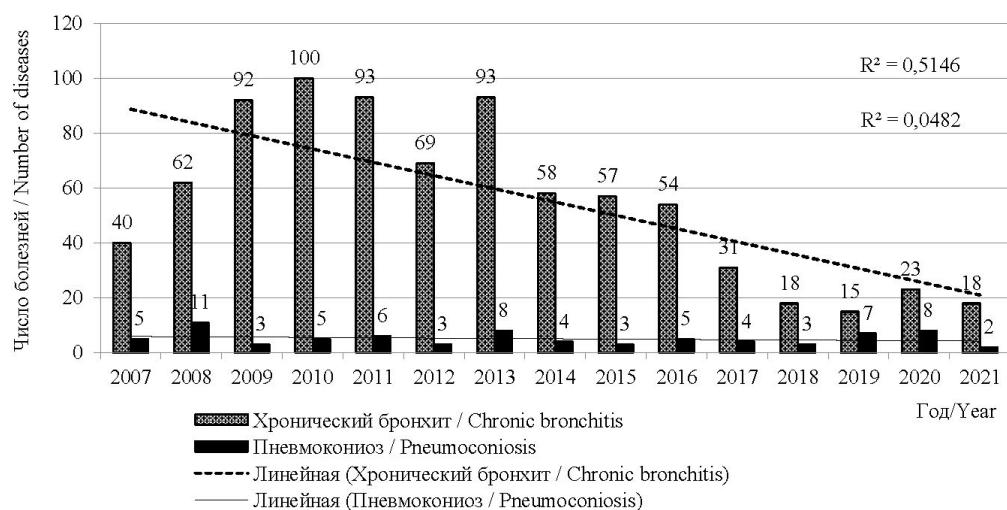


Рис. 1. Ежегодное число впервые выявленных случаев пневмокониоза и хронического бронхита в 2007–2021 годах

Fig. 1. The annual number of newly diagnosed pneumoconiosis and chronic bronchitis cases in 2007–2021

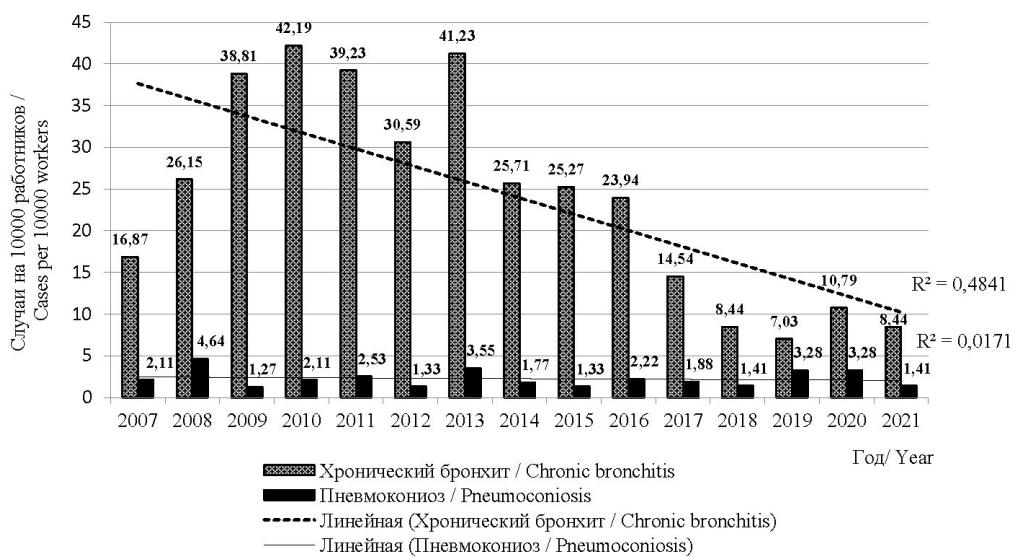


Рис. 2. Динамика числа случаев пневмокониоза и хронического бронхита на 10 000 работников, экспонированных к аэрозолям преимущественно фиброгенного действия, в 2007–2021 годах

Fig. 2. Dynamics of the number of pneumoconiosis and chronic bronchitis cases per 10,000 workers exposed to fibrogenic aerosols in 2007–2021

фактов, заслуживающих внимания и обсуждения. Прежде всего возникает вопрос, почему в одних и тех же производственных условиях у большинства экспонированных работников развивается хронический бронхит и только у некоторых – пневмокониоз (в соотношении близком к 10 : 1).

Несмотря на то что оба заболевания вызываются одним и тем же вредным производственным фактором (АПФД) и поражают одну и ту же систему организма (органы дыхания), между ними существуют значительные различия в условиях и обстоятельствах развития. Так, пока непонятно, почему вредные условия труда 3-й степени по АПФД создают преимущественные условия для формирования пневмокониоза, а 4-й степени – хронического бронхита. Также неясно, каким образом конструктивные недостатки различного оборудования способствуют формированию хронического бронхита, в то время как несовершенство технологических процессов – пневмокониоза. Вызывает интерес тот факт, что фиброгенные аэрозоли при добыче рудного сырья создает большую опасность пневмокониоза, а при добыче каменного угля – хронического бронхита.

Принципиально важна различная динамика числа впервые выявляемых случаев хронического бронхита и пневмокониоза. При хроническом бронхите отмечается их значимое снижение, что можно было бы объяснить применением в последние годы более эффективных средств коллективной защиты (вентиляция) и СИЗОД [17–19] на фоне уменьшения числа работников. Однако в случае пневмокониоза такая динамика отсутствовала. Необходимо отметить, что хронический бронхит у работников предприятий может вызываться не только профессиональными вредностями, но и бытовыми загрязнениями воздуха [20, 21], а также курением [22, 23]. Поэтому целенаправленное воздействие на эти факторы способно снизить заболеваемость хроническим бронхитом

и без изменений условий труда. Напротив, развитие пневмокониоза определяется исключительно экспозицией к АПФД и поэтому может служить индикатором эффективности применения на предприятии (отрасли хозяйства) систем вентиляции, пылеподавления и СИЗОД. Вероятно, стабильный уровень заболеваемости пневмокониозом в течение 15 лет, даже на фоне снижения заболеваемости хроническим бронхитом, следует рассматривать как показатель недостаточной эффективности профилактических мероприятий.

Полученные данные позволяют предполагать, что развитие пневмокониоза определяется не только условиями труда, включая физико-химические свойства пылевых частиц. Возможно, значительная роль принадлежит особенностям первоначальных защитных реакций организма на фиброгенные факторы. В большинстве случаев процесс проявляется воспалительными и атрофическими процессами в трахее, бронхах и бронхиолах, то есть хроническим бронхитом с различной степенью выраженности морфологических и функциональных нарушений. Значительно реже дополнительно в легочной ткани формируется прогрессирующий интерстициальный и узелковый (узловой) фиброз с частым поражением лимфатической ткани и плевры, то есть возникает та или иная клинико-рентгенологическая форма пневмокониоза и его осложнения. При современных возможностях выявления патологии органов дыхания соотношение пневмокониоза и хронического бронхита составляет 1 : 7–12. Если проводимые профилактические мероприятия достаточно эффективны при хроническом профессиональном бронхите, то в отношении пневмокониоза они не дают желаемого результата. Вероятно, для эффективной профилактики пневмокониоза необходимо не только снижение пылевой нагрузки работников, но и понимание рисков здоровью, которые создают

особенности механизмов ответных реакций организма на фиброгенные аэрозоли, включая различные звенья клеточного и гуморального иммунитета, систему оксиданты – антиоксиданты и другие [1, 3, 4, 24, 25]. Не исключено, что подобные особенности могут быть следствием генетической предрасположенности отдельных работников к действию АПФД, определяющей формирование и дальнейшее прогрессирование пневмокониозов [26].

Принципиальным остается вопрос о возможности в течение одного года (между периодическими медицинскими осмотрами) перехода рентген-негативного легочного процесса в рентген-документированный пневмокониоз, поскольку в отличие от хронического бронхита пневмокониоз чаще диагностировался после самостоятельного обращения работников за медицинской помощью, то есть характерные для пневмокониоза объективные рентгенологические данные оставались незамеченными во время медицинского осмотра. Нужно отметить, что объективные критерии формирования отдельных видов пневмокониозов в течение менее чем одного года после проведения обязательных медицинских осмотров описаны и в других работах. В частности, по данным судебно-медицинской экспертизы, признаки антракосиликоза были выявлены среди работников, у которых по результатам ежегодных периодических медицинских осмотров не обнаружено какой-либо легочной патологии [27]. Вместе с тем реальность развития пневмокониозов за столь короткий срок вызывает сомнение, и возможно, что подобная ситуация является следствием низкого качества периодических медицинских осмотров, в том числе проведения флюорографии или пленочной рентгенографии органов грудной клетки, поскольку применение подобных методов диагностики нередко не позволяет выявить незначительные изменения в паренхиме легких, тогда как цифровые лучевые методы диагностики позволяют выявить даже небольшие образования [28]. Следовательно, важным условием в профилактике пневмокониозов должны стать периодические медицинские осмотры с ежегодным проведением цифровой рентгенографии легких в двух проекциях и компьютерной томографии грудной клетки с периодичностью 1 раз в 5 лет [3].

Заключение. В 2007–2021 годах на предприятиях в Арктике не произошло уменьшения случаев впервые выявляемого пневмокониоза. Для его эффективной профилактики необходимо снижение степени экспозиции работников к АПФД, соблюдение регламента периодических медицинских осмотров, а также изучение патогенетических механизмов формирования заболеваний легких при воздействии пылевого фактора в условиях современного производства. В связи с возможностью диагностических ошибок впервые выявляемые случаи пневмокониоза должны быть предметом расследования комиссии экспертов-профпатологов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабанов С.А., Стрижаков Н.А., Лебедева М.В., Фомин В.В., Байкова А.Г. Пневмокониоз: современные взгляды //

- Терапевтический архив. 2019. Т. 91. № 3. С. 107–113. doi: 10.26442/00403660.2019.03.000066
2. Hoy RF, Jeebhay MF, Cavalin C, et al. Current global perspectives on silicosis – Convergence of old and newly emergent hazards. *Respirology*. 2022;27(6):387–398. doi: 10.1111/resp.14242
3. Стрижаков Л.А., Гарипова Р.В., Бабанов С.А., Гуляев С.В., Берхеева З.М., Лаврентьева Н.Е. Быстро прогрессирующий силикоз: клинические наблюдения // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63. № 3. С. 206–211. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-3-206-211
4. Халимов Ю.Ш., Цепкова Г.А., Власенко А.Н., Шиллов В.В., Андреенко О.Н. Поздний силикоз – редкая форма пневмокониоза // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2020. Т. 70. № 2. С. 74–78.
5. Сюрин С.А., Ковшов А.А. Условия труда и профессиональная заболеваемость на предприятиях горнодобывающей и металлургической промышленности Мурманской области // Здоровье населения и среда обитания. 2020. Т. 322. № 1. С. 34–38. doi: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-34-38
6. Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Зайцева Н.В., Шур П.З., Редько С.В., Фокин В.А. Нарушения здоровья работников, связанные с факторами риска условий труда в горнодобывающей промышленности Арктической зоны (аналитический обзор) // Анализ риска здоровья. 2023. № 1. С. 184–193. doi: 10.21668/health.risk/2023.1.17
7. Syurin SA, Kovshov AA, Odland JØ, Talykova LV. Retrospective assessment of occupational disease trends in Russian Arctic apatite miners. *Int J Circumpolar Health*. 2022;81(1):2059175. doi: 10.1080/22423982.2022.2059175
8. Чащин В.П., Сюрин С.А., Гудков А.Б., Попова О.Н., Воронин А.Ю. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющие трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.
9. Чеботарев А.Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий // Горная промышленность. 2018. Т. 139. № 3. С. 66–70. doi: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70
10. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г., Курьевов Н.Н., Сокур О.В. Актуальные вопросы улучшения условий труда и сохранения здоровья работников горнорудных предприятий // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 1. № 7. С. 424–429. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429
11. Гудков А.Б., Дегтева Г.Н., Шепелева О.А. Экологогигиенические проблемы на Арктических территориях интенсивной промышленной деятельности (обзор) // Общественное здоровье. 2021. Т. 1. № 4. С. 49–55. doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-4-49-55
12. Петрова П.Г. Эколого-физиологические аспекты адаптации человека к условиям Севера // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. Серия «Медицинские науки». 2019. Т. 15. № 2. С. 29–38. doi: 10.25587/SVFU.2019.2(15).31309
13. Donaldson S, Adlard B, Odland JØ. Overview of human health in the Arctic: Conclusions and recommendations. *Int J Circumpolar Health*. 2016;75:33807. doi: 10.3402/ijch.v75.33807
14. Antipov S. Occupational health in Siberia and Arctic zones. *Occup Environ Med*. 2018;75:A247. doi: 10.1136/oemed-2018-ICOHAbstracts.706
15. Сюрин С.А., Ковшов А.А. Условия труда и риск профессиональной патологии на предприятиях Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2019. Т. 26. № 10. С. 15–23. doi: 10.33396/1728-0869-2019-10-15-23

16. Сорин С.А., Кизеев А.Н. Проблемы профилактики профессиональной патологии в Российской Арктике // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 8. С. 783–789. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-783-789
17. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях // Горная промышленность. 2018. Т. 141. № 5. С. 33–35. doi: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35
18. Ashuro Z, Hareru HE, Soboksa NE, Abaya SW, Zele YT. Occupational exposure to dust and respiratory symptoms among Ethiopian factory workers: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2023;18(7):e0284551. doi: 10.1371/journal.pone.0284551
19. Rumchev K, Van Hoang D, Lee AH. Exposure to dust and respiratory health among Australian miners. *Int Arch Occup Environ Health*. 2023;96(3):355–363. doi: 10.1007/s00420-022-01922-z
20. Голиков Р.А., Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (Обзор литературы) // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. № 5. С. 20–31.
21. Махонько М.Н., Шкрабова Н.В., Шарипов Д.Г., Шелехова Т.В. Хронический бронхит: анализ причин и рисков развития // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 5. 31981. doi: 10.17513/spno.31981
22. Салагай О.О., Антонов Н.С., Сахарова Г.М., Переильская М.Ю., Стародубов В.И. Влияние табакокурения на развитие и течение хронического бронхита // Профилактическая медицина. 2020. Т. 23. № 4. С. 7–13.
23. Салагай О.О., Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Безрукавникова Л.М., Хотулева А.Г., Анварул Р.А. Влияние курения на формирование профессиональных заболеваний легких у работающих с промышленными аэрозолями // Общественное здоровье. 2021. № 3. С. 32–41. doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-3-32-41
24. Будаш Д.С., Бабанов С.А. Факторы гуморального иммунитета при пылевых заболеваниях легких и их прогностическое значение // Терапевт. 2017. № 3. С. 10–15.
25. Vanka KS, Shukla S, Gomez HM, et al. Understanding the pathogenesis of occupational coal and silica dust-associated lung disease. *Eur Respir Rev*. 2022;31(165):210250. doi: 10.1183/16000617.0250-2021
26. Смирнова Е.Л., Потеряева Е.Л., Максимов В.Н., Колесник К.Н., Никифорова Н.Г., Песков С.А. Прогностическая роль генетических маркеров в формировании особенностей течения пневмокониозов в постконтактном периоде // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 11. С. 41–44.
27. Бондарев О.И., Майбородин И.В., Лапий Г.А. Пневмокониоз как системный процесс в легочном гистионе // Медицина в Кузбассе. 2021. №1. С. 32–39. doi: 10.24411/2687-0053-2021-10006
28. Васильева О.С., Кравченко Н.Ю. Пневмокониоз в практике лечащего врача // *Consilium Medicum*. 2016. Т. 18. № 11. С. 39–45.

REFERENCES

1. Babanov SA, Strizhakov LA, Lebedeva MV, Fomin VV, Budash DS, Baikova AG. Pneumoconioses: Modern view. *Terapevticheskiy Arkhiv*. 2019;91(3):107-113. (In Russ.) doi: 10.26442/00403660.2019.03.000066
2. Hoy RF, Jeebhay MF, Cavalin C, et al. Current global perspectives on silicosis – Convergence of old and newly emergent hazards. *Respirology*. 2022;27(6):387-398. doi: 10.1111/resp.14242
3. Strizhakov LA, Garipova RV, Babanov SA, Gulyaev SV, Berheeva ZM, Lavrentieva NE. Rapidly progressive silicosis: Clinical observations. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2023;63(3):206-211. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-3-206-211
4. Halimov YuSh, Tsepkova GA, Vlasenko AN, Shilov VV, Andreenko ON. Late silicosis – the rare form of pneumoconiosis. *Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii*. 2020;2(70):74-78. (In Russ.) doi: 10.17816/brmma50050
5. Syurin SA, Kovshov AA. Working conditions and occupational morbidity at mining and metallurgical enterprises of the Murmansk Region. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(1(322)):34-38. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-34-38
6. Fadeev AG, Goryaev DV, Zaitseva NV, Shur PZ, Red'ko SV, Fokin VA. Health disorders in workers associated with health risks at workplaces in mining industry in the Arctic (analytical review). *Health Risk Analysis*. 2023;(1):173-182. doi: 10.21668/health.risk/2023.1.17.eng
7. Syurin SA, Kovshov AA, Odland JØ, Talykova LV. Retrospective assessment of occupational disease trends in Russian Arctic apatite miners. *Int J Circumpolar Health*. 2022;81(1):2059175. doi: 10.1080/22423982.2022.2059175
8. Tchashin VP, Siurin SA, Goudkov AB, Popova ON, Voronin AYu. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2014;(9):20-26. (In Russ.)
9. Chebotarev AG. Risks of development of dust-related occupational diseases of ore mine workers. *Gornaya Promyshlennost'*. 2018;(3(139)):66-70. (In Russ.) doi: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-66-70
10. Bukhtiyarov IV, Chebotarev AG, Courierov NN, Sokur OV. Topical issues of improving working conditions and preserving the health of workers of mining enterprises. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(7):424-429. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429
11. Gudkov AB, Degteva GN, Shepeleva OA. Ecological and hygienic problems in the Arctic territories of intensive industrial activity (review). *Obshchestvennoe Zdorov'e*. 2021;1(4):49-55. (In Russ.) doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-4-49-55
12. Petrova PG. Ecological and physiological aspects of human adaptation to the conditions of the North. *Vestnik Severo-Vostochnogo Federal'nogo Universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya: Meditsinskie Nauki*. 2019;(2(15)):29-38. (In Russ.) doi: 10.25587/SVFU.2019.2(15).31309
13. Donaldson S, Adlard B, Odland JØ. Overview of human health in the Arctic: Conclusions and recommendations. *Int J Circumpolar Health*. 2016;75:33807. doi: 10.3402/ijch.v75.33807
14. Antipov S. Occupational health in Siberia and Arctic zones. *Occup Environ Med*. 2018;75:A247. doi: 10.1136/oemed-2018-ICOHAbstracts.706
15. Syurin SA, Kovshov AA. Labor conditions and risk of occupational pathology at the enterprises of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2019;(10):15-23. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-10-15-23
16. Syurin SA, Kizeev AN. Problems of prevention of occupational pathology in the Russian Arctic. *Gigiena i Sanitariya*. 2023;102(8):783-789. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-783-789
17. Bukhtiyarov IV, Chebotarev AG. [Hygienic problems of improving working conditions at mining enterprises]. *Gornaya Promyshlennost'*. 2018;(5(141)):33-35. (In Russ.) doi: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35
18. Ashuro Z, Hareru HE, Soboksa NE, Abaya SW, Zele YT. Occupational exposure to dust and respiratory symptoms

- among Ethiopian factory workers: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2023;18(7):e0284551. doi: 10.1371/journal.pone.0284551
19. Rumchev K, Van Hoang D, Lee AH. Exposure to dust and respiratory health among Australian miners. *Int Arch Occup Environ Health.* 2023;96(3):355–363. doi: 10.1007/s00420-022-01922-z
20. Golikov RA, Surzhikov DV, Kislytsyna VV, Shtaiger VA. Influence of environmental pollution to the health of the population (review of literature). *Nauchnoe Obozrenie. Meditsinskie Nauki.* 2017;(5):20-31. (In Russ.)
21. Makhonko MN, Shkrobova NV, Sharipov DG, Shelekhova TV. Chronic bronchitis: Analysis of causes and risks of development. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya.* 2022;(5):31981. (In Russ.) doi: 10.17513/spon.31981
22. Salagay OO, Antonov NS, Sakharova GM, Peredelskaya MU, Starodubov VI. The effect of smoking on the development and progress of chronic bronchitis. *Profilakticheskaya Meditsina.* 2020;23(4):7-13. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed2020230417
23. Salagay OO, Bukhtiyarov IV, Kuzmina LP, Bezrukavnikova LM, Khotuleva AG, Anvarul RA. The influence of smoking on the formation of occupational lung diseases in workers who come into contact with industrial aerosols. *Obshchestvennoe Zdorov'e.* 2021;1(3):32-41. (In Russ.) doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-3-32-41
24. Budash DS, Babanov SA. Humoral immunity factors in case of pulmonary dust diseases and their prognostic value. *Terapevt.* 2017;(3):10-15. (In Russ.)
25. Vanka KS, Shukla S, Gomez HM, et al. Understanding the pathogenesis of occupational coal and silica dust-associated lung disease. *Eur Respir Rev.* 2022;31(165):210250. doi: 10.1183/16000617.0250-2021
26. Smirnova EL, Poteryaeva EL, Maksimov VN, Kolesnik KN, Nikiforova NG, Peskov SA. Forecasting role of genetic markers in outlining features of pneumoconiosis course in post-contact period. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2016;(11):41-44. (In Russ.)
27. Bondarev OI, Mayborodin IV, Lapiy GA. Pneumoconiosis as a system process in pulmonary histion. *Meditina v Kuzbasse.* 2021;20(1):32-39. (In Russ.) doi: 10.24411/2687-0053-2021-10006
28. Vasileva OS, Kravchenko NYu. Pneumoconiosis in the practice of the attending physician. *Consilium Medicum.* 2016;18(11):39-45. (In Russ.)

Сведения об авторах:

✉ **Сюрин Сергей Алексеевич** – д.м.н., старший научный сотрудник отдела гигиены ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

Ковшов Александр Александрович – к.м.н., заведующий отделением гигиены труда, старший научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: a.kovshov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретация результатов, подготовка рукописи: Сюрин С.А.; статистическая обработка и анализ данных, интерпретация результатов, редактирование: Ковшов А.А. Оба автора рассмотрели результаты и утвердили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 20.11.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

✉ **Sergei A. Syurin, Dr. Sci. (Med.)**, Senior Researcher, Department of Hygiene, Northwest Public Health Research Center; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

Aleksandr A. Kovshov, Cand. Sci. (Med.), Head of Occupational Hygiene Department, Senior Researcher, Northwest Public Health Research Center; Associate Professor, Department for Hygiene of Educational, Training, and Labor Conditions, and Radiation Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: a.kovshov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431>.

Author contributions: study conception and design, data collection and analysis, interpretation of results, draft manuscript preparation: Syurin S.A.; statistical processing and analysis of data, interpretation of results, editing: Kovshov A.A. Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: November 20, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025



Фенотипический и генотипический профиль устойчивости к противомикробным препаратам изолятов *Staphylococcus aureus*, выделенных из пищевой продукции на территории Республики Таджикистан

Л.А. Битюмина¹, Н.Г. Куликова¹, Ю.В. Михайлова¹, М.У. Каюмова², М.М. Рузиев², А.А. Шеленков¹, А.Е. Карпенко¹, Д.К. Кондратьева¹, И.Н. Манзенюк¹, В.Г. Акимкин¹

¹ ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора, ул. Новогиреевская, д. 3А, г. Москва, 111123, Российская Федерация

² ГУ «Таджикский научно-исследовательский институт профилактической медицины», ул. Шевченко, д. 61, г. Душанбе, 734025, Таджикистан

Резюме

Введение. *Staphylococcus aureus* является значимым возбудителем, вызывающим пищевые отравления. Высокая адаптивность и способность продуцировать термостабильные энтеротоксины делают его опасным для общественного здоровья патогеном. Мониторинг устойчивости к антибиотикам и оценка риска контаминации пищевых продуктов этим микроорганизмом являются критически важными для предотвращения и лечения пищевых токсицинфекций.

Цель исследования: оценка фенотипической и генотипической устойчивости к антибиотикам изолятов *S. aureus*, выделенных из пищевой продукции на территории Республики Таджикистан.

Материалы и методы. Исследование включало 50 изолятов *S. aureus*, выделенных из пищевой продукции на территории Республики Таджикистан в период с 2018 по 2022 г. Видовая идентификация проводилась методом MALDI-TOF MS. Фенотипическая чувствительность к противомикробным препаратам определялась методом минимальной подавляющей концентрации с помощью прибора Sensititre. Генетические детерминанты резистентности и вирулентности определялись с помощью анализа данных полногеномного секвенирования, проводимого на платформе Illumina, NextSeq 2000.

Результаты. Устойчивыми хотя бы к одному противомикробному препарату были 44,0 % (22/50) изолятов *S. aureus*, из них обладали множественной лекарственной устойчивостью 34,0 % (17/50). Наиболее распространенными были *S. aureus*, обладающие фенотипической и генотипической устойчивостью к бета-лактамам 40,0 %: гены резистентности blaZ были обнаружены у 94,0 % (16/17), mecA у 76,4 % (13/17). Анализ результатов мультилокусного сиквенс-типовирования выявил 4 различных сиквенс-типа *S. aureus* с преобладанием ST5. Также была отмечена высокая частота распространения генов вирулентности, включая энтеротоксины и лейкоцидины.

Заключение. Контаминация продуктов питания *S. aureus* представляет значительную угрозу для общественного здоровья. Полученные данные свидетельствуют о высокой резистентности к антибиотикам изученных микроорганизмов пищевого происхождения и наличии множества факторов вирулентности в их геномах, что, в свою очередь, подчеркивает необходимость постоянного мониторинга и разработки стратегий для управления рисками, связанными с распространением антибиотикорезистентности через пищевую цепочку.

Ключевые слова: *S. aureus*, антибиотикорезистентность, WGS, вирулентность.

Для цитирования: Битюмина Л.А., Куликова Н.Г., Михайлова Ю.В., Каюмова М.У., Рузиев М.М., Шеленков А.А., Карпенко А.Е., Кондратьева Д.К., Манзенюк И.Н., Акимкин В.Г. Фенотипический и генотипический профиль устойчивости к противомикробным препаратам изолятов *Staphylococcus aureus*, выделенных из пищевой продукции на территории Республики Таджикистан // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 33–40. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-33-40

Phenotypic and Genomic Profile of Foodborne Antimicrobial Resistant *Staphylococcus aureus* Isolated in the Republic of Tajikistan

Lyutsiya A. Bityumina,¹ Nina G. Kulikova,¹ Yulia V. Mikhaylova,¹ Markhabo U. Kayumova,² Murodali M. Ruziev,² Andrey A. Shelenkov,¹ Anna E. Karpenko,¹ Daria K. Kondrateva,¹ Igor N. Manzeniuk,¹ Vasiliy G. Akimkin¹

¹ Central Research Institute of Epidemiology, 3A Novogireyevskaya Street, Moscow, 111123, Russian Federation

² Tajik Research Institute of Preventive Medicine, 61 Shevchenko Street, Dushanbe, 734025, Republic of Tajikistan

Summary

Introduction: *Staphylococcus aureus* is a significant infectious agent causing food poisoning. High adaptability and the ability to produce heat-stable enterotoxins make it a dangerous pathogen of public health concern. Monitoring antibiotic resistance and assessing the risk of food contamination by this microorganism are critical to prevent and treat foodborne toxic infections.

Objective: To assess phenotypic and genotypic antibiotic resistance of *S. aureus* strains isolated from food products on the territory of the Republic of Tajikistan.

Materials and methods: The study included 50 isolates of *S. aureus* derived from foods in the Republic of Tajikistan in 2018–2022. Species identification was performed by MALDI-TOF MS. Phenotypic susceptibility to antimicrobial agents was determined by the minimum inhibition concentration method using the Sensititre system. Genetic determinants of resistance and virulence were determined by analyzing data from full-genome sequencing using Illumina NextSeq 2000 system.

Results: 44.0 % (22/50) of *S. aureus* isolates were resistant to at least one antimicrobial drug, of which 34.0 % (17/50) were multidrug resistant. *S. aureus* with phenotypic and genotypic resistance to beta-lactams were the most common (40.0 %): blaZ resistance genes were detected in 94.0 % (16/17) and mecA in 76.4 % (13/17). The analysis of multilocus sequence typing results revealed 4 different *S. aureus* sequencing types with ST5 prevailing. A high frequency of virulence genes, including enterotoxins and leukocidins, was also observed.

Conclusion: Food contamination with *S. aureus* poses a significant threat to public health. High antibiotic resistance of the foodborne microorganisms and the presence of multiple virulence genes highlight the need for continuous monitoring and development of strategies to manage the risks associated with the spread of antibiotic resistance through the food chain.

Keywords: *S. aureus*, antibiotic resistance, WGS, virulence.

Cite as: Bityumina LA, Kulikova NG, Mikhaylova YuV, Kayumova MU, Ruziev MM, Shelenkov AA, Karpenko AE, Kondrateva DK, Manzeniuk IN, Akimkin VG. Phenotypic and genomic profile of foodborne antimicrobial resistant *Staphylococcus aureus* isolated in the Republic of Tajikistan. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(3):33–40. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-33-40

Введение. Золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) представляет собой грам-положительный микроорганизм, ассоциированный с пищевыми токсикоинфекциами [1]. Этот вид бактерий обладает высокой адаптивностью и способен колонизировать различные локусы, включая кожу и слизистые оболочки человека, а также продукты питания. *S. aureus* располагает широким спектром факторов вирулентности, в том числе энтеротоксинаами, которые устойчивы к высоким температурам и могут вызывать пищевые отравления даже после тепловой обработки продуктов [2]. Продукты питания могут быть контаминырованы *S. aureus* на любом этапе производства и обработки, особенно уязвимы для загрязнения продукты, которые не требуют дополнительной тепловой обработки перед употреблением, такие как сыры, холодные закуски и кондитерские изделия [3, 4]. Учитывая потенциальную опасность *S. aureus* для общественного здоровья, важно проводить мониторинг и оценку риска контаминации пищевых продуктов этим микроорганизмом. Данные мероприятия включают в себя исследование распространенности *S. aureus* в различных пищевых продуктах, определение профилей устойчивости к антибиотикам, а также выявление и анализ изолятов *S. aureus*, способных производить энтеротоксины [5].

Исследование антибиотикорезистентных изолятов *S. aureus*, особенно метициллинрезистентного золотистого стафилококка (MRSA), имеет критическое значение. Прежде всего это клиническая значимость самого патогена (*S. aureus*), который является причиной широкого спектра инфекций – от кожных до серьезных системных заболеваний (пневмония, эндокардит и остеомиелит) [6]. Изоляты MRSA широко распространены в больничной и внебольничной среде, что увеличивает риск инфекций среди пациентов и здорового населения [7]. Молекулярно-генетический мониторинг и анализ устойчивости к антибиотикам *S. aureus*, выделенных из продовольственной продукции, являются значимыми для обеспечения продовольственной безопасности и разработки стандартов пищевой промышленности.

Согласно исследованиям, стафилококковое пищевое отравление является одним из наиболее распространенных заболеваний пищевого происхождения в мире после острых кишечных инфекций вирусной и сальмонеллезной этиологии. Известны случаи крупных вспышек, как, например, в Китае, в 2023 году было зафиксировано 46 случаев отравления [8,9], в Египте было изучено 157 случаев, а в Алжире было проанализировано 300 образцов из пищевой продукции [10–11]. В Республике Таджикистан недостаточно данных об эпидемиологии и полногеномной характеристики *S. aureus*, выделенных из продуктов питания. В связи с этим **цель исследования** – оценка фенотипической и генотипической устойчивости к антибиотикам изолятов *S. aureus*, выделенных из пищевой продукции на территории Республики Таджикистан.

Материалы и методы

Коллекция микроорганизмов. В рамках мониторинга безопасности пищевых продуктов на

территории Республики Таджикистан в период с 2018 по 2022 г. было исследовано 295 образцов пищевой продукции (кулинарной, молочной и мясной), из которых было выделено 602 изолята бактерий: энтеробактерии, стафилококки. Общее количество изученных *S. aureus* за этот период составило 8,31 % (50/602) изолятов, из них резистентными было 44 % (22/50) культур *S. aureus*. Выделение и первичная идентификация бактериальных изолятов проводились в бактериологической лаборатории ГУ «Таджикский научно-исследовательский институт профилактической медицины» (г. Душанбе, Республика Таджикистан). Окончательная видовая идентификация изолятов микроорганизмов и определение их чувствительности к противомикробным препаратам проводились в референс-центре Роспотребнадзора по мониторингу остаточного количества антибиотиков в продовольственном сырье и пищевых продуктах и антибиотикорезистентности бактерий в ФБУН «ЦНИИ эпидемиологии» Роспотребнадзора (г. Москва, Российская Федерация).

Видовая идентификация и хранение изолятов микроорганизмов. Видовую идентификацию бактерий проводили методом матрично-активированной лазерной ионизации – времяпролетной масс-спектрометрии (MALDI-TOF MS) с применением системы Microflex LT и программного обеспечения MALDI Biotyper Compass v.4.1.80 (Bruker Daltonics, Германия). Критерием надежной видовой идентификации на MALDI-TOF масс-спектрометрии было значение Score 2,0. Хранение изолятов бактерий осуществляли при температуре –70 °C в бульоне Мюллера – Хинтона с добавлением 10 % глицерина.

Определение чувствительности к противомикробным препаратам. Профили чувствительности к противомикробным препаратам пищевых изолятов микроорганизмов проводили методом микроразведений в бульоне Мюллера – Хинтона с определением МПК с помощью полуавтоматического бактериологического анализатора Sensititre (США). Инокуляция изолятов микроорганизмов проводилась с использованием 96-луночных микропланшетов с антибиотиками для грамположительных микроорганизмов GPALL1F. Анализ результатов определения чувствительности изолятов микроорганизмов, выделенных из пищевых продуктов и продовольственного сырья, в отношении противомикробных препаратов проводили с помощью программного обеспечения SWIN до категории согласно стандарту интерпретации документов Европейского комитета по определению чувствительности к антимикробным препаратам (EUCAST, версия 10.0–12.0, 2020–2022 гг. соответственно). Внутренний лабораторный контроль качества определения чувствительности проводили на культурах *S. aureus* ATCC43300 и *S. aureus* ATCC29213.

Полногеномное секвенирование. Полногеномное секвенирование (WGS) проводили у мультирезистентных изолятов *S. aureus* ($n = 17$). Экстракцию ДНК выполняли с использованием набора реагентов «РИБО-преп» (Россия). Приготовление образцов ДНК для дальнейшего секвенирования осуществляли с использованием Illumina Nextera DNA Library Prep

Kit и Illumina Nextera Index Kit. Секвенирование проводили на приборе Illumina NextSeq2000 (США).

Биоинформационный анализ. Сборки геномов на основе коротких прочтений были получены с помощью программы SPAdes версии 3.12 [12] с параметрами по умолчанию. Оценка качества сборки, проверка организмов и начальная аннотация выполнялись с использованием программного комплекса, описанного ранее [13].

Типирование изолятов микроорганизмов с использованием схемы мультилокусного типирования последовательностей (MLST) проведено с помощью веб-сайта Pasteur MLST (<https://bigsdb.pasteur.fr/>, по состоянию на 20 октября 2022 г.).

Выявление детерминант антибиотикорезистентности и генов вирулентности производили в программах Resfinder (<https://cge.food.dtu.dk/services/ResFinder/>) и Virulence finder (<https://cge.food.dtu.dk/services/VirulenceFinder/>) соответственно, с параметрами по умолчанию.

Статистическая обработка результатов.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием стандартных методов описательной статистики с помощью программы Microsoft Office Excel 2010. Статистическую значимость различий доли резистентных культур оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha < 0,05$.

Результаты. В период с 2018 по 2022 г. в Республике Таджикистан в рамках мониторинга безопасности пищевых продуктов было выделено 50 изолятов *Staphylococcus aureus*. Источниками выделения изолятов *S. aureus* на территории Республики Таджикистан служили мясная, молочная и кулинарная продукция (табл. 1).

Результаты изучения фенотипической чувствительности изолятов *S. aureus* к противобактериальным препаратам показали, что 44 % (22/50) культур были устойчивыми хотя бы к 1 противомикробному препарату. Анализ профиля чувствительности к антибиотикам изученных изолятов *S. aureus* выявил резистентность к бета-лактамным антибиотикам у $40,0 \pm 3,39$ (20/50), из них 34,0 % ± 3,17 (17/50) изолятов были метициллин-резистентными (MRSA). В 2020 и 2021 гг. было выявлено $10,0 \pm 1,27$ (5/50) ванкомицин-резистентных культур *S. aureus* (VRSA), которые были устойчивыми к бета-лактамам, ванкомицину и макролидам. Помимо MRSA и VRSA были выявлены культуры, устойчивые к фторхинолонам $22,0 \pm 2,43$ (11/50), аминогликозидам $10,0 \pm 1,27$ (5/50), тетрациклином $18,0 \pm 2,09$ (9/50), хлорамфениколу $32,0 \pm 3,08$ (16/50),rifampicину $12,0 \pm 1,49$ (6/50), ко-тримоксазолу $12,0 \pm 1,49$ (6/50), даптомицину $10,0 \pm 1,27$ (5/50), линезолиду $4,0 \pm 0,54$ (2/50) и макролидам $38,0 \pm 3,33$ (19/50) (рисунок).

Таблица 1. Обсемененность пищевой продукции *S. aureus*, выделенных на территории Республики Таджикистан в 2018–2022 гг.

Table 1. Prevalence of foodborne *S. aureus* from different sources in the Republic of Tajikistan in 2018–2022

Вид продукции / Source	Количество изолятов микроорганизмов, шт. / Isolates, n	Доля изолятов микроорганизмов, % / Isolates, %
Кулинарная продукция / Culinary products	22	$44,0 \pm 3,49$
Мясная продукция / Meat products	12	$24,0 \pm 2,58$
Молочная продукция / Dairy products	16	$32,0 \pm 3,08$

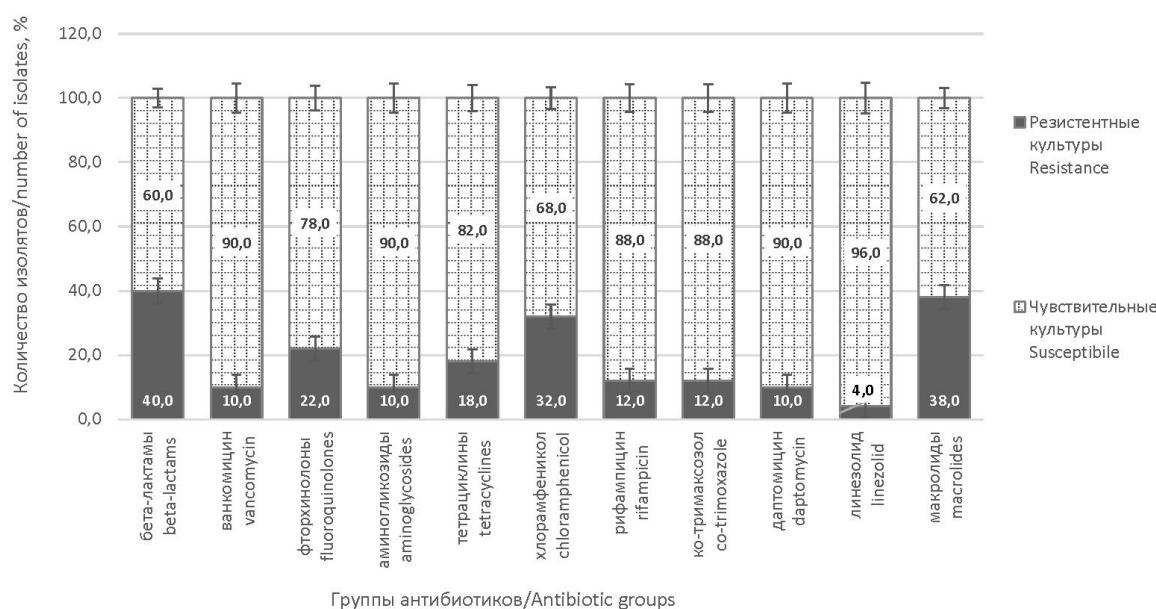


Рисунок. Профиль фенотипической чувствительности изолятов *S. aureus*, выделенных на территории Республики Таджикистан в 2018–2022 гг.

Figure. Phenotypic susceptibility profile of *S. aureus* isolates isolated in the Republic of Tajikistan in 2018–2022

Критерием для проведения полногеномного секвенирования (WGS) изолятов *S. aureus* была множественная лекарственная устойчивость (МЛУ), количество которых составило $34\% \pm 3,17$ (17/50). Анализ результатов MLST МЛУ-культур *S. aureus* выявил 4 различных сиквенс-типа (ST). Наиболее распространенным сиквенс-типов MRSA был ST5 (11/17). Также были выявлены MRSA сиквенс-типы ST22 (4/17), ST3628 (1/17), ST45 (1/17) (табл. 2).

Полученные с помощью WGS данные по профилю детерминант резистентности к антимикробным препаратам (АМП) коррелируют с фенотипическими результатами. Так, у изолятов, имеющих устойчивость к бета-лактамным антибиотикам, были обнаружены гены бета-лактамаз расширенного спектра (БЛРС) *blaZ* (16/17) и *mecA* (13/17) (табл. 2), наличие генов к тетрациклином *tetK* (3/17) выявлено у *S. aureus* с фенотипической резистентностью к тетрациклину. Ген *ermC*, отвечающий за устойчивость к макролидным антибиотикам, также был выявлен у изолятов *S. aureus* (12/17), фенотипически устойчивых к этой группе антибиотикам.

Проведенное WGS-исследование выявило набор генов вирулентности *S. aureus*, отвечающих за цитотоксины, энтеротоксины, факторы адгезии, капсулный полисахарид и синтез энзимов (табл. 3).

Анализ данных факторов вирулентности показал значительную вариабельность в наборе генов, детерминирующих синтез токсинов, гемолизинов и адгезинов у *S. aureus*.

В данном исследовании была выявлена высокая частота распространения генов, кодирующих секрецию энтеротоксинов A, B и токсина синдрома токсического шока, более чем в 50 %. Гены, детерминирующие синтез токсинов A (*sea*), B (*seb*), C (*sec*), детектированы у $58,8 \pm 5,87\%$ (10/17) изученных *S. aureus*, ген *tst* – у $52,9 \pm 6,04\%$ (9/17). Частота выявления генов лейкоцидинов (*lukE*, *lukD*), кодирующих цитотоксины, составила $70,6 \pm 5,03\%$ (12/17), лейкоцидин Пантон – Валентайна (*lukF-PV*) – $11,8 \pm 2,52\%$ (2/17). У всех изолятов обнаружены гемолизины (*hlg*). Гемолизины α и β (*hla*, *hlb*) определялись у $35,3 \pm 5,54\%$ (6/17) изолятов стафилококков. Гены адгезинов факторов слипания A и B (*clfA*, *clfB*) обнаружены у $23,5 \pm 4,36\%$ (4/17) культур. Факторы

Таблица 2. Профиль фенотипической и генотипической резистентности мультирезистентных изолятов *S. aureus*, выделенных на территории Республики Таджикистан в 2018–2022 гг.

Table 2. Profile of phenotypic and genotypic resistance of multidrug-resistant *S. aureus* isolates derived in the Republic of Tajikistan in 2018–2022

WGS номер изолята / WGS isolate number	MLST	Источник выделения изолята / Isolation source	Фенотипическая чувствительность / Phenotypic sensitivity												Генотипическая чувствительность / Genotypic sensitivity			
			бета-лактамы / beta-lactams	ваникомицин / vancomycin	фторхинолоны / fluoroquinolones	аминогликозиды / aminoglycosides	тетрациклины / tetracyclines	хлорамфеникол / chloramphenicol	рифампицин / rifampicin	ко-тримаксозол / co-trimoxazole	даптомицин / daptomycin	линезид / linezolid	макролиды / macrolides	<i>blaZ</i>	<i>mecA</i>	<i>erm(C)</i>	<i>tet(K)</i>	
Crie-F883	ST3628	Колбаса / Sausage	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	–	–	+	–	
Crie-F861	ST45	Сосиски / Hot dogs	R	S	R	S	R	S	S	S	S	S	S	+		–	+	
Crie-F847	ST22	Сосиски / Hot dogs	R	S	R	S	R	S	R	R	S	S	R	+	+	–	–	
Crie-F848	ST22	Сыр / Cheese	R	S	R	S	R	S	S	S	S	S	R	+		–	–	
Crie-F849	ST22	Пельмени / Meat dumplings	R	S	R	R	R	R	R	S	R	S	R	+	+	–	+	
Crie-F863	ST22	Колбаса / Sausage	R	S	S	S	R	R	S	S	S	S	R	+	+	–	+	
Crie-F1301	ST5	Фарш говяжий / Minced beef	R	R	R	R	R	R	S	R	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1303	ST5	Сыр / Cheese	R	S	S	S	S	R	R	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1304	ST5	Колбаса салями / Cheese	R	S	S	S	S	R	S	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1306	ST5	Кислое молоко / Sour milk	R	R	S	S	S	R	S	S	S	S	R	+		+	–	
Crie-F1307	ST5	Йогурт / Yogurt	R	S	S	S	R	R	S	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1312	ST5	Сыр / Cheese	R	S	R	S	S	R	S	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1314	ST5	Сыр голландский / Dutch cheese	R	S	S	S	S	R	S	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1315	ST5	Колбаса копченная / Smoked sausage	R	S	R	S	S	R	S	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1316	ST5	Сыр колбасный / Sausage cheese	R	S	S	S	S	R	S	S	S	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1318	ST5	Фарш говяжий / Minced beef	R	S	S	S	S	R	S	S	R	S	R	+	+	+	–	
Crie-F1319	ST5	Сосиски / Hot dogs	R	S	R	S	S	R	S	R	S	S	R	+	+	+	–	

Таблица 3. Факторы вирулентности изолятов *S. aureus*, выделенных на территории Республики Таджикистан в 2018–2022 гг.

Table 3. Virulence factors of *S. aureus* isolates derived in the Republic of Tajikistan in 2018–2022

WGS номер изолята / WGS isolate number	MLST	Лейкоцидины / Leukocidins		Гемолизины / Hemolysins		Энтеротоксины / Enterotoxins				Адгезины / Adhesins				Капсульный полисахарид / Capsular polysaccharide	Ферменты / Enzymes				
		<i>luk</i> (<i>E,D</i>)	<i>lukF-PV</i>	<i>hla</i> , <i>hlb</i>	<i>hlg</i>	<i>sea</i> , <i>seb</i> , <i>sec</i>	<i>tst</i>	<i>sel</i>	<i>seg</i> , <i>sem</i>	<i>seu</i>	<i>sdr</i> (<i>C,D,E</i>)	<i>clf</i> (<i>A,B</i>)	<i>cna</i>	<i>fnb</i> (<i>A,B</i>)	<i>cap</i>	<i>adsA</i>	<i>spa</i>	<i>coa,lip</i>	<i>sak</i>
Crie-F883	ST3628	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+
Crie-F847	ST22	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Crie-F848	ST22	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Crie-F849	ST22	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Crie-F863	ST22	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-
Crie-F861	ST45	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Crie-F1301	ST5	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Crie-F1303	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1304	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1306	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1307	ST5	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1312	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1314	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1315	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1316	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1318	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Crie-F1319	ST5	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+

вирулентности *S. aureus*, компоненты микробной поверхности (*sdrC*, *sdrD*, *sdrE*), распознающие молекулы адгезивного матрикса ответственные за первоначальный контакт с клетками-хозяевами (MSCRAMMs), были обнаружены у $35,3 \pm 5,54\%$ (6/17). Были также выявлены гены, кодирующие энзимы, которые участвуют в разрушении тканей хозяина и в обходе иммунной системы: стафилокиназа (*sak*) – $94,1 \pm 1,34\%$ (16/17), коагулаза (*coa*) и липаза (*lip*) – у $35,3 \pm 5,54\%$ (6/17) культур. Гены, кодирующие синтез капсулных полисахаридов (*cap*), были обнаружены у $41,2 \pm 5,87\%$ (7/17) культур.

Обсуждение. Золотистый стафилококк (*S. aureus*) является одним из наиболее распространенных патогенов, вызывающих пищевые отравления. Наиболее подвержены риску контаминации *S. aureus* следующие продукты: молочные изделия, мясные продукты, салаты, выпечка и другие продукты, которые часто употребляются без дополнительной тепловой обработки. Особенно велик риск при нарушении температурного режима хранения, что способствует размножению бактерий. Продукты питания, особенно молоко и сыр, могут быть резервуаром *S. aureus* с МЛУ, что можно считать важной проблемой с точки зрения безопасности пищевых продуктов. Кроме того, продукты животного происхождения могут быть причиной стафилококковых пищевых отравлений за счет продукции термостабильных энтеротоксинов [14].

В проведенных нами исследованиях на территории Республики Таджикистан *S. aureus* был выделен преимущественно из кулинарной, мясной

и молочной продукции, что совпадает с данными исследований других авторов [14, 15]. Ввиду того что *S. aureus* колонизирует кожные покровы, персонал пищевой промышленности может выступать в качестве носителя вирулентных изолятов *S. aureus* и способствовать их передаче через пищевую продукцию [16].

Результаты исследований устойчивости к антибиотикам культур *S. aureus*, выделенных из продуктов питания и продовольственного сырья на территории Республики Таджикистан, выявили высокую резистентность к бета-лактамным антибиотикам, включая MRSA. Данные результаты согласуются с результатами систематического обзора Жанг и соавт. по чувствительности культур *S. aureus* к 12 антибиотикам: наиболее высокими были показатели резистентности к бета-лактамным антибиотикам (59,63–73,85 %), а антибиотико-резистентность к ампициллину, гентамицину и хлорамфениколу со временем увеличивалась [17]. Значительная распространенность MRSA была отмечена в Индонезии, 52,5 % изолятов *S. aureus* были устойчивы к оксациллину (MRSA), у 30 % изученных изолятов был выявлен ген *tescA* [18]. В наших исследованиях ген *tescA* был обнаружен у 76,5 % (13/17) изолятов, наиболее распространенным среди изученных изолятов был ген *blaZ* – 94,1 % (16/17). Также в наших исследованиях были выявлены культуры, устойчивые к фторхинолонам (22,0 %), аминогликозидам (10,0 %), тетрациклином (18,0 %), хлорамфениколу (32,0 %), рифампицину (12,0 %), ко-тримоксазолу (12,0 %) и даптомицину (10,0 %).

Анализ результатов MLST изолятов *S. aureus* из Республики Таджикистан выявил 4 сиквенс-типа с преобладанием ST5, что сопоставимо с данными исследований других авторов, описывающих генетическое разнообразие MRSA-изолятов. Преобладающий в наших исследованиях сиквенс-тип ST5 является широко распространенным как среди госпитальных изолятов MRSA, так и среди бактериальных изолятов, выделенных из пищевой продукции [19]. Помимо ST5 в наших исследованиях был выявлен сиквенс-тип ST22, который, согласно данным литературы, является наиболее распространенным возбудителем инфекций кожи и мягких тканей [20].

Анализ результатов WGS показал высокую частоту распространения генов, кодирующих секрецию энтеротоксинов у золотистого стафилококка, что согласуется с данными метаанализа, указывающими на значительное распространение генов *sec* и *sea* [17]. В Египте было обнаружено, что 26,9 % изолятов *S. aureus* несут гены энтеротоксинов, что подтверждает значимость этих вирулентных факторов [21]. В нашем исследовании была выявлена высокая частота распространения генов, ответственных за секрецию энтеротоксинов и токсинов у *S. aureus*. Гены энтеротоксинов A, B, C (*sea*, *seb*, *sec*) обнаружены у 58,8 % изученных изолятов микроорганизмов, ген токсина синдрома токсического шока (*tst*) обнаружен у 52,9 % изученных изолятов микроорганизмов. Согласно данным метаанализа суммарный уровень энтеротоксинов золотистого стафилококка в молоке и молочных продуктах во всем мире составил 39,31 %, а самые высокие показатели были обнаружены для генов *sec* и *sea* [17]. Результаты коллег из США показали, что гены, кодирующие один или несколько факторов: стафилококковых энтеротоксинов (*seb*, *sed*), токсина синдрома токсического шока 1 (*tst*), эксфолиативного токсина (*etaA*), были обнаружены у 0,5–20 % изолятов [22]. В исследовании, проведенном в Пекине (Китай) в пищевых продуктах из свинины, приобретенных в восьми различных торговых точках, было выявлено 15 изолятов бактерий. Из них 13 изолятов содержали ген вирулентности *scn*, наличие которого свидетельствует о потенциальной патогенности этих изолятов [23].

Согласно полногеному анализу изолятов *S. aureus*, выделенных из готовых к употреблению продуктов питания в России, наиболее распространенными генами вирулентности, обнаруженными во всех исследованных изолятах, были *adA*, *aur*, *cap8 A-G*, *cap8 L-P*, *esaAB*, *essAB*, *esxA*, *ica ADR*, *isd*, *Lip* и *sspBC* [24]. В наших исследованиях были обнаружены гены липазы (*lip*) и капсулных полисахаридов (*cap*), а также стафилокиназы (*sak*), коагулазы (*coa*), цитотоксины, включая лейкоцидины (*lukE*, *lukD*) и лейкоцидин Пантон – Валентайна (*lukF-PV*), гемолизины (*hlg*, *hla*, *hlb*), адгезины факторов слипания A и B (*clfA*, *clfB*).

Таким образом, проведенное исследование выявило значительный патогенный потенциал изученных изолятов *S. aureus*, была выявлена высокая устойчивость к наиболее часто используемым антибиотикам, что повышает риски для здоровья

человека. Информативные данные, получаемые в результате комплексного подхода с применением полногеномных исследований, необходимы для разработки эффективных стратегий профилактики и лечения инфекций, вызываемых MRSA. Эти методы позволяют детально анализировать генетические особенности патогенов, выявлять гены, ответственные за устойчивость к АМП и вирулентность, что является критически важным в вопросе организации целенаправленных и действенных терапевтических и профилактических мер.

Заключение. Борьба с контаминацией продуктов питания *S. aureus* эффективна при комплексном подходе: улучшении методов детекции, оценки рисков, обучении персонала гигиеническим нормам, методам правильного хранения и подготовки пищи, а также процедурам предотвращения перекрестного загрязнения, внедрения систем управления безопасностью пищевых продуктов, таких как HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), которые позволяют проводить систематический подход к выявлению, оценке и контролю опасных факторов MRSA и взаимодействовать на международном уровне для обмена информацией и практикой профилактики распространения MRSA, что позволит ускорить реагирование и улучшить профилактику этой инфекции на глобальном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Silva-de-Jesus AC, Ferrari RG, Panzenhagen P, Conte-Junior CA. *Staphylococcus aureus* biofilm: The role in disseminating antimicrobial resistance over the meat chain. *Microbiology (Reading)*. 2022;168(10). doi: 10.1099/mic.0.001245
2. Piewngam P, Otto M. *Staphylococcus aureus* colonisation and strategies for decolonisation. *Lancet Microbe*. 2024;5(6):e606-e618. doi: 10.1016/S2666-5247(24)00040-5
3. Ou Q, Zhou J, Lin D, et al. A large meta-analysis of the global prevalence rates of *S. aureus* and MRSA contamination of milk. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2018;58(13):2213-2228. doi: 10.1080/10408398.2017.1308916
4. Resende JA, Fontes CO, Ferreira-Machado AB, Nascimento TC, Silva VL, Diniz CG. Antimicrobial-resistance genetic markers in potentially pathogenic gram positive cocci isolated from Brazilian soft cheese. *J Food Sci*. 2018;83(2):377-385. doi: 10.1111/1750-3841.14019
5. Diallo OO, Baron SA, Abat C, Colson P, Chaudet H, Rolain JM. Antibiotic resistance surveillance systems: A review. *J Glob Antimicrob Resist*. 2020;23:430-438. doi: 10.1016/j.jgar.2020.10.009
6. Скачкова Т.С., Замятин М.Н., Орлова О.А. и др. Мониторинг метициллинрезистентных штаммов стафилококка в многопрофильном стационаре Москвы с помощью молекулярно-биологических методов // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2021. Т. 20. № 1. С. 44–50. doi: 10.31631/2073-3046-2021-20-1-44-50
7. Skachkova TS, Zamyatin MN, Orlova OA, et al. Monitoring methicillin-resistant *Staphylococcus* strains in the Moscow medical and surgical center using molecular-biological methods. *Epidemiologiya i Vaktsinoprophylaktika*. 2021;20(1):44-50. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2021-20-1-44-50
8. Lakhundi S, Zhang K. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: Molecular characterization, evolution, and epidemiology. *Clin Microbiol Rev*. 2018;31(4):e00020-18. doi: 10.1128/CMR.00020-18

8. Zhao G, Lou Z, Zhu Z, et al. Epidemiological and molecular evidence of foodborne poisoning outbreak caused by enterotoxin gene cluster-harboring *Staphylococcus aureus* of new sequence type 7591. *Int J Infect Dis.* 2023;135:132-135. doi: 10.1016/j.ijid.2023.08.005
9. Ramadan HA, El-Baz AM, Goda RM, El-Sokkary MMA, El-Morsi RM. Molecular characterization of enterotoxin genes in methicillin-resistant *S. aureus* isolated from food poisoning outbreaks in Egypt. *J Health Popul Nutr.* 2023;42(1):86. doi: 10.1186/s41043-023-00416-z
10. Titouche Y, Houali K, Ruiz-Ripa L, et al. Enterotoxin genes and antimicrobial resistance in *Staphylococcus aureus* isolated from food products in Algeria. *J Appl Microbiol.* 2020;129(4):1043-1052. doi: 10.1111/jam.14665
11. Bankevich A, Nurk S, Antipov D, et al. SPAdes: A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. *J Comput Biol.* 2012;19(5):455-477. doi: 10.1089/cmb.2012.0021
12. Shelenkov A, Mikhaylova Y, Yanushevich Y, et al. Molecular typing, characterization of antimicrobial resistance, virulence profiling and analysis of whole-genome sequence of clinical *Klebsiella pneumoniae* isolates. *Antibiotics (Basel).* 2020;9(5):261. doi: 10.3390/antibiotics9050261
13. Szczuka E, Porada K, Wesołowska M, Łęska B. Occurrence and characteristics of *Staphylococcus aureus* isolated from dairy products. *Molecules.* 2022;27(14):4649. doi: 10.3390/molecules27144649
14. Jans C, Merz A, Johler S, et al. East and West African milk products are reservoirs for human and livestock-associated *Staphylococcus aureus*. *Food Microbiol.* 2017;65:64-73. doi: 10.1016/j.fm.2017.01.017
15. Gelbíčová T, Tegegne HA, Florianová M, Koláčková I, Karpišková R. Properties of *Staphylococcus aureus* strains from food processing staff. *Epidemiol Mikrobiol Imunol.* 2018;67(4):161-165.
16. Zhang J, Wang J, Jin J, et al. Prevalence, antibiotic resistance, and enterotoxin genes of *Staphylococcus aureus* isolated from milk and dairy products worldwide: A systematic review and meta-analysis. *Food Res Int.* 2022;162(Pt A):111969. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111969
17. Khairullah AR, Rehman S, Sudjarwo SA, et al. Detection of *mecA* gene and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolated from milk and risk factors from farms in Probolinggo, Indonesia. *F1000Res.* 2022;11:722. doi: 10.12688/f1000research.122225.3
18. Badawy B, Elafify M, Farag AMM, et al. Ecological distribution of virulent multidrug-resistant *Staphylococcus aureus* in livestock, environment, and dairy products. *Antibiotics (Basel).* 2022;11(11):1651. doi: 10.3390/antibiotics11111651
19. Patel K, Godden SM, Royster EE, et al. Prevalence, antibiotic resistance, virulence and genetic diversity of *Staphylococcus aureus* isolated from bulk tank milk samples of U.S. dairy herds. *BMC Genomics.* 2021;22(1):367. doi: 10.1186/s12864-021-07603-4
20. Chang Y, Gao H, Zhu Z, et al. High prevalence and properties of enterotoxin-producing *Staphylococcus aureus* ST5 strains of food sources in China. *Foodborne Pathog Dis.* 2016;13(7):386-390. doi: 10.1089/fpd.2015.2085
21. Xiao N, Yang J, Duan N, Lu B, Wang L. Community-associated *Staphylococcus aureus* PVL+ ST22 predominates in skin and soft tissue infections in Beijing, China. *Infect Drug Resist.* 2019;12:2495-2503. doi: 10.2147/IDR.S212358
22. Li H, Tang T, Stegger M, Dalsgaard A, Liu T, Leisner JJ. Characterization of antimicrobial-resistant *Staphylococcus aureus* from retail foods in Beijing, China. *Food Microbiol.* 2021;93:103603. doi: 10.1016/j.fm.2020.103603
23. Chen T, Zhao L, Liu Y, et al. Mechanisms of high-level fosfomycin resistance in *Staphylococcus aureus* epidemic lineage ST5. *J Antimicrob Chemother.* 2022;77(10):2816-2826. doi: 10.1093/jac/dkac236
24. Mikhaylova Y, Shelenkov A, Chernyshkov A, et al. Whole-genome analysis of *Staphylococcus aureus* isolates from ready-to-eat food in Russia. *Food.* 2022;11(17):2574. doi: 10.3390/foods11172574

Сведения об авторах:

Битюмина Люция Айткалиевна – младший научный сотрудник Научной группы антибиотикорезистентности пищевых патогенов ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: bitumina@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5378-0827>.

Куликова Нина Георгиевна – к.б.н., руководитель Научной группы антибиотикорезистентности пищевых патогенов ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: kulikova_ng@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1716-6969>.

Михайлова Юлия Владимировна – к.б.н., заведующая лабораторией молекулярных механизмов антибиотикорезистентности ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: mihailova@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-538X>.

Каюмова Мархабо Узаковна – к.б.н., заведующая бактериологической лабораторией ГУ «Таджикский научно-исследовательский институт профилактической медицины»; e-mail: markhabo_kayumova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-1824-8921>.

Рузиев Муродали Мехмондустович – д.м.н., директор ГУ «Таджикский научно-исследовательский институт профилактической медицины»; e-mail: m.ruziev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6267-9483>.

Шеленков Андрей Александрович – к.ф-м.н., старший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов антибиотикорезистентности ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: shelenkov@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7409-077X>.

Карпенко Анна Евгеньевна – научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов антибиотикорезистентности ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: egorova@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0486-1353>.

Кондратьева Дарья Константиновна – младший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов антибиотикорезистентности ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: kondrateva@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6693-3990>.

Манзенюк Игорь Николаевич – к.м.н., помощник директора по научной работе ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: manzeniuk@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1146-1430>.

Акимкин Василий Геннадиевич – д.м.н., проф., академик РАН, директор ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: vgakimkin@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4228-9044>.

Информация о вкладе авторов: информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация результатов, написание статьи: **Битюмина Л.А., Куликова Н.Г.**; выделение культур из пищевой

продукции и первичная идентификация: *Каюмова М.У.*; выполнение, анализ и интерпретация результатов WGS-исследований: *Шеленков А.А., Карпенко А.Е., Кондратьева Д.К.*; концепция и дизайн исследования, редактирование текста: *Михайлова Ю.В., Манзенюк И.Н.*; итоговое редактирование: *Рузиев М.М., Акимкин В.Г.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: работа была выполнена в рамках реализации распоряжений Правительства Российской Федерации № 185-р от 3 февраля 2017 г. и № 3116-р от 21 декабря 2019 г.

Конфликт интересов: соавтор статьи Акимкин В.Г. является членом редакционной коллегии научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 18.11.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

✉ Lyutsiya A. **Bityumina**, Junior Researcher, Research Group for Antimicrobial Resistance of Food Pathogens, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: bitumina@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5378-0827>.

Nina G. **Kulikova**, Cand. Sci. (Biol.), Head of the Research Group for Antimicrobial Resistance of Food Pathogens, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: kulikova_ng@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1716-6969>.

Yulia V. **Mikhaylova**, Cand. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory of Molecular Mechanisms of Antibiotic Resistance, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: mihailova@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-538X>

Markhabo U. **Kayumova**, Cand. Sci. (Biol.), Head of Bacteriological Laboratory, Tajik Research Institute of Preventive Medicine; e-mail: markhabo_kayumova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1824-8921>.

Murodali M. **Ruziev**, Dr. Sci. (Med.), Director, Tajik Research Institute of Preventive Medicine; e-mail: m.ruziev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6267-9483>.

Andrey A. **Shelenkov**, Cand. Sci. (Phys. & Maths.), Senior Researcher, Laboratory of Molecular Mechanisms of Antibiotic Resistance, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: shelenkov@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7409-077X>.

Anna E. **Karpenko**, Researcher, Laboratory of Molecular Mechanisms of Antibiotic Resistance, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: egorova@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0486-1353>.

Daria K. **Kondrateva**, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Mechanisms of Antibiotic Resistance, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: kondrateva@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6693-3990>.

Igor N. **Manzeniuk**, Cand. Sci. (Med.), Assistant Director for Research, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: manzeniuk@cmd.su; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1146-1430>.

Vasiliy G. **Akimkin**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Director, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: vgakimkin@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4228-9044>.

Author contributions: study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, draft manuscript preparation: *Bityumina L.A., Kulikova N.G.*; isolation of cultures from food products and primary identification: *Kayumova M.U.*; execution, analysis and interpretation of WGS study: *Shelenkov A.A., Karpenko A.E., Kondrateva D.K.*; study conception and design, revision and editing: *Mikhaylova Y.V., Manzeniuk I.N.*; final editing: *Ruziev M.M., Akimkin V.G.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The work was carried out within implementation of Russian Federation Government Orders No. 185-р of February 3, 2017 and No. 3116-р of December 21, 2019.

Conflict of interest: Vasiliy G. Akimkin is a member of the editorial board of the Russian journal Public Health and Life Environment; others authors have no conflicts of interest to declare.

Received: November 18, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025



Эпидемиологический и молекулярно-генетический мониторинг коревой инфекции в Казахстане в 2023 году

А.С. Муталиева, А.Б. Габиден, М.Ж. Тлеубергенова, А.М. Куатбаева, А.Е. Тулемагамбетова,
Э.С. Утегенова, М.А. Смагул, А.С. Есмагамбетова

Филиал «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга» РГП
на ПХВ «НЦОЗ» МЗ РК, ул. Ауэзова, д. 84, г. Алматы, 050000, Казахстан

Резюме

Введение. Вирус кори продолжает оставаться одной из основных причин детской заболеваемости и смертности, представляя серьезную угрозу для большинства стран. В Казахстане с марта 2023 года наблюдается осложнение эпидемиологической ситуации по кори. Основная заболеваемость регистрировалась у ранее не привитых, недостаточно или несвоевременно привитых детей и взрослых, которые формируют широкую неиммунную прослойку населения.

Цель исследования: проведение эпидемиологического и молекулярно-генетического мониторинга вирусов кори, вызвавших рост заболеваемости в Казахстане в 2023 году.

Материалы и методы. Анализ заболеваемости вирусов кори в Республике Казахстан в 2023 году проведен с использованием данных государственных статистических форм. В целях генотипирования циркулирующих штаммов кори проводился анализ нуклеотидной последовательности С-терминальной области N-гена 69 клинических образцов мочи вируса кори методом Сэнгера.

Результаты. В Казахстане в 2023 году зарегистрирован 29 731 случай кори, показатель на 100 тысяч населения составил 149,95. Значительную часть заболевших составили дети от 1 до 4 лет – 43,3 %, далее дети 5–14 лет – 19,9 % и дети до года – 16,1 %, из которых 65,9 % заболевших не были привиты против кори. По результатам анализа нуклеотидных последовательностей 69 образцов кори было выявлено, что исследованные образцы принадлежали двум генотипам – D8 и B3.

Обсуждение. Заболеваемость корью в 2023 году была зарегистрирована по всей территории Казахстана. Генотип D8 был представлен преобладающей линией 8248, идентифицированной в Таджикистане в 2021 году и циркулировавшей в Европе. Генотип B3 был связан с штаммами, впервые выявленными в Индии и Саудовской Аравии. Эти данные подтверждают, что заболеваемость корью в Казахстане была вызвана импортированием вирусов из других стран.

Заключение. Эпидемиологический и молекулярно-генетический анализ вирусов кори подтверждает продолжение циркуляции генотипов B3 и D8. Эти данные подчеркивают необходимость продолжения мониторинга и повышения уровня вакцинации для контроля распространения кори.

Ключевые слова: вирус кори, эпидемиологический анализ, молекулярно-генетический анализ, генотипирование, генотипы кори.

Для цитирования: Муталиева А.С., Габиден А.Б., Тлеубергенова М.Ж., Куатбаева А.М., Тулемагамбетова А.Е., Утегенова Э.С., Смагул М.А., Есмагамбетова А.С. Эпидемиологический и молекулярно-генетический мониторинг коревой инфекции в Казахстане в 2023 году // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 41–48. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-41-48

Epidemiological and Molecular Genetic Monitoring of Measles in Kazakhstan in 2023

Aknur S. Mutaliyeva, Altynay B. Gabiden, Madina Zh. Tleubergenova, Ainagul M. Kuatbaeva,
Aidana E. Tulemagambetova, Elmira S. Utegenova, Manar A. Smagul, Aizhan S. Yesmagambetova

Scientific and Practical Center for Sanitary and Epidemiological Expertise and Monitoring, Branch of the National
Center for Public Health, 84 Auezov Street, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

Summary

Introduction: Measles virus remains one of the main causes of childhood morbidity and mortality, posing a serious threat to most countries. Since March 2023, measles incidence rates have been growing in Kazakhstan, with the disease registered in previously unvaccinated, incompletely or untimely vaccinated children and adults representing a wide unimmunized stratum of the population.

Objective: To conduct epidemiological and molecular genetic monitoring of measles viruses causing the increase in disease incidence in Kazakhstan in 2023.

Materials and methods: The analysis of measles incidence in the Republic of Kazakhstan in 2023 was based on state statistics. In order to genotype circulating measles strains, we took 69 clinical urine samples and performed Sanger sequencing of the C-terminal region of the N-gene.

Results: In 2023, 29,731 measles cases were registered in Kazakhstan, the incidence rate being 149.95 per 100 thousand population. Most of the cases were children aged 1 to 4 years – 43.3 %, followed by children aged 5–14 years – 19.9 % and children aged 0–12 months – 16.1 %, of which 65.9 % were not vaccinated against measles. The results of nucleotide sequencing of 69 samples from measles patients showed two genotypes – D8 and B3.

Discussion: Measles cases in 2023 were registered throughout Kazakhstan. Measles virus genotype D8 was represented by the predominant line 8248, identified in Tajikistan in 2021 and circulating in Europe. Genotype B3 was associated with strains first identified in India and Saudi Arabia. These data confirm that measles incidence in Kazakhstan was attributed to viruses imported from other countries.

Conclusion: Findings of epidemiological analysis and molecular genetic testing of measles viruses confirm continued circulation of genotypes B3 and D8 and emphasize the importance of continuing monitoring and increasing vaccination rates to control the disease spread.

Keywords: measles virus, epidemiological analysis, molecular genetic testing, genotyping, measles genotypes.

Cite as: Mutaliyeva AS, Gabiden AB, Tleubergenova MZh, Kuatbaeva AM, Tulemagambetova AE, Utegenova ES, Smagul MA, Yesmagambetova AS. Epidemiological and molecular genetic monitoring of measles in Kazakhstan in 2023. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(3):41–48. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-41-48

Введение. Корь – это инфекционное заболевание, передающееся воздушно-капельным путем, которое быстро распространяется через аэрозольные капли из дыхательных путей [1–3]. Возбудителем является вирус кори – сферический, несегментированный, обоочечный, отрицательно-полярный одноцепочечный РНК-вирус, который является представителем рода *Morbillivirus* семейства *Paramyxovirus* [4, 5]. Единственными хозяевами вируса кори являются люди [6, 7].

Корь остается одной из наиболее опасных инфекционных болезней, представляющих угрозу для здоровья населения, особенно в условиях низкого уровня вакцинации и эпидемиологических факторов. По оценкам ВОЗ, с 2000 по 2022 год вакцинация против кори предотвратила 57 миллионов смертей. Несмотря на доступность безопасной и экономически эффективной вакцины, в 2022 году произошло 136 000 смертей от кори, преимущественно среди невакцинированных или недостаточно вакцинированных детей младше 5 лет¹. В последние годы в мире наблюдается рост числа случаев кори, несмотря на существующие программы вакцинации, что ставит перед здравоохранительными системами новые вызовы.

Многолетняя динамика заболеваемости корью среди населения Республики Казахстан за период с 2000 по 2023 г. демонстрирует циклический характер эпидемического процесса с периодическими подъемами и спадом заболеваемости каждые 3–5 лет (рис. 1).

По данным ВОЗ, Казахстан классифицируется как страна с эндемической передачей кори. В 2023 году осложнвшаяся ситуация с коревой инфекцией в Казахстане обусловлена рядом факторов, среди которых – миграционные процессы и сниженный уровень вакцинации в некоторых регионах. Это подтверждает необходимость применения много-

уровневого мониторинга, направленного на раннее выявление и предотвращение вспышек кори [8, 9].

Одним из ключевых инструментов для контроля заболеваемости является эпидемиологический мониторинг, который включает в себя сбор, анализ и интерпретацию данных о заболеваемости, а также выявление источников и путей передачи инфекции². Важным дополнением к этому является молекулярно-генетический мониторинг, который позволяет более глубоко исследовать вирус кори на уровне его генетической структуры. Молекулярно-генетический анализ (генотипирование) помогает выявлять новые циркулирующие штаммы, оценивать их генетическую разнообразность и устанавливать взаимосвязь между циркуляцией вируса и эпидемическими вспышками [10].

Генотипирование штаммов вируса особенно актуально при достижении фазы элиминации, так как только вирусологический мониторинг позволяет документировать прерывание трансмиссии ранее эндемичных генотипов, что является одним из основных показателей элиминации [11]. Учитывая генетические вариации в регионе N-450, на сегодня идентифицировано 24 различных генотипа кори [12]. Однако, согласно литературным данным, с 2018 года в мире циркулируют четыре основных генотипа: B3, D4, D8 и H1. Из них генотип D8 преобладает в Северной и Южной Америке, Европе, Океании и Азии, тогда как генотип B3 широко распространен в Африке и на Ближнем Востоке [13–15].

Целью данного исследования является проведение эпидемиологического и молекулярно-генетического мониторинга вирусов кори, вызвавших рост заболеваемости в Казахстане в 2023 году.

Материалы и методы

Эпидемиологический анализ. Анализ заболеваемости вирусов кори в Республике Казахстан

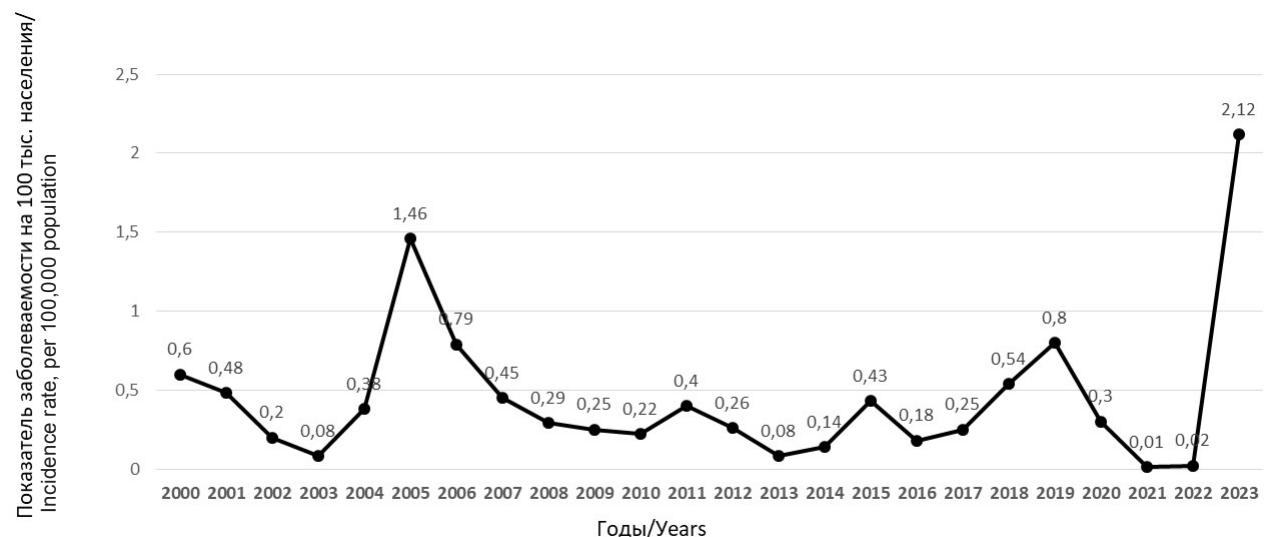


Рис. 1. Многолетняя заболеваемость корью в Республике Казахстан, показатель на 100 тыс. населения

Fig. 1. Long-term incidence of measles in the Republic of Kazakhstan, per 100,000 population

¹ World Health Organization. Корь. [Электронный ресурс.] Режим доступа: [https://www.who.int/ru/publications/m/item/who-guidance-for-the-use-of-annex-2-of-the-international-health-regulations-\(2005\)](https://www.who.int/ru/publications/m/item/who-guidance-for-the-use-of-annex-2-of-the-international-health-regulations-(2005)). Дата обращения: 23.01.2025.

² CDC. Корь (краснуха). [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.cdc.gov/measles/index.html>. Дата обращения: 23.01.2025.

в 2023 году проведен с использованием данных государственных статистических форм (Форма № 1. Отчет об отдельных инфекционных и паразитарных заболеваниях населения Республики Казахстан за 2023 г., Форма № 4. Отчет об охвате профилактическими прививками за 2012–2023 гг.).

Материалы исследования и сбор образцов. Для молекулярно-генетического исследования (секвенирования) использовались 69 клинических образцов мочи, отобранные в период с января по сентябрь 2023 года. Клинический диагноз был подтвержден путем выявления специфических коревых иммуноглобулинов IgM с использованием тест-системы иммуноферментного анализа производства компании «Вектор-Бест» (Россия).

Наибольшее количество образцов было отобрано из гг. Алматы (10 обр.) и Астаны (10 обр.), а также из Актюбинской (6 обр.), Карагандинской (5 обр.), Жетысу (5 обр.), Западно-Казахстанской (5 обр.), Мангистауской (4 обр.), Жамбылской (4 обр.), Туркестанской (3 обр.), Акмолинской (3 обр.), Костанайской (3 обр.), Павлодарской (3 обр.), Восточно-Казахстанской (3 обр.), Абай (3 обр.) и Северо-Казахстанской (2 обр.) областей.

Выделение РНК. Вирусные РНК экстрагировали из клинических образцов мочи с использованием мини-набора Pure Link RNA Mini Kit (США) в соответствии с инструкциями производителя.

ПЦР с обратной транскрипцией. Высоковариабельную область из 450 нуклеотидов на карбокси-конце белка нуклеокапсида (N-450) амплифицировали и секвенировали для генотипирования с использованием прямого (MeV216) и обратного (MeV214) праймеров. ОТ-ПЦР проводили с использованием набора набора SuperScript® III One-Step RT-PCR System with Platinum® Taq DNA

Polymerase (США) в соответствии с инструкциями производителя. Результаты ОТ-ПЦР учитывали с помощью аналитического электрофореза в 1,7 % агарозном геле с трис-боратным буфером с бромидом этидия.

Очистка и генотипирование. Образцы с подходящими по длине фрагментами кДНК очищали от реакционной смеси ОТ-ПЦР с помощью набора PureLink® PCR Purification Kit (США). Для секвенирующей реакции использовали набор BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (США) и те же праймеры, которые ранее использовали для ОТ-ПЦР. Полученные ампликоны гена N-450 были очищены с помощью набора Big Dye X Terminator Kit (США) в соответствии с инструкцией производителя и секвенированы по методу Сэнгера с использованием генетического анализатора ABI 3500.

Филогенетический анализ. Нуклеотидные последовательности С-концевого фрагмента N-гена длинной 450 нуклеотидов исследованных образцов сравнивали с последовательностями эталонных штаммов генотипов вируса кори, представленных в базе MeaNS (Нуклеотидный надзор за вирусом кори, ВОЗ)³. Для создания филогенетических деревьев использовалось приложение MEGA6 и метод Neighbor-Joining с использованием метода «множественных повторов» (bootstrap анализ, 500 повторов), а также онлайн-базы iTOL [16, 17].

Результаты. Пандемия COVID-19 оказала значительное влияние на другие вакциноуправляемые инфекции, в том числе на корь. Из-за перенаправления ресурсов на борьбу с новой коронавирусной инфекцией произошли сбои в плановой вакцинации в стране (рис. 2).

В итоге в 2020 г. по республике не был достигнут рекомендуемый Всемирной организацией

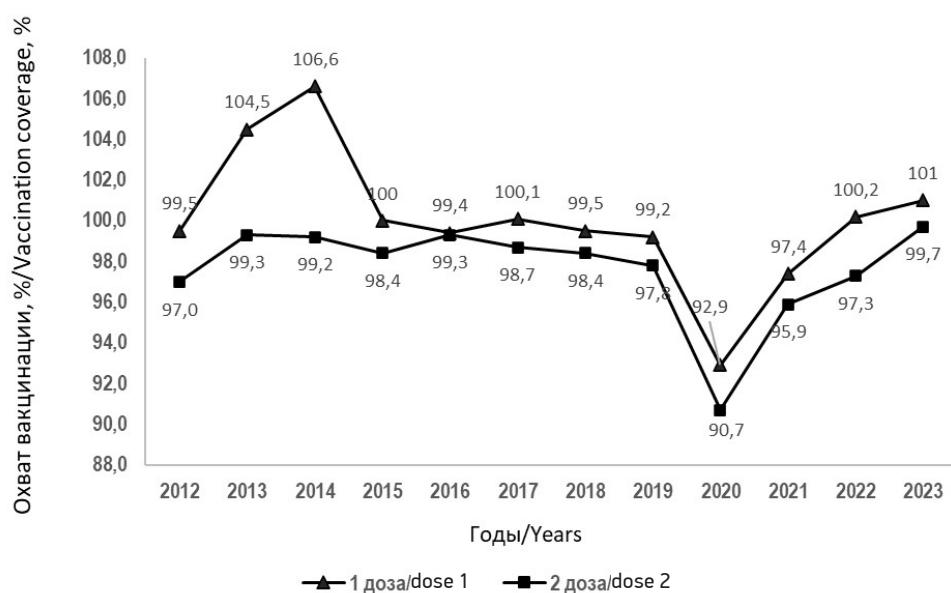


Рис. 2. Охват вакцинацией ККП в Республике Казахстан, %, 2012–2023 гг., данные национального эпидемиологического надзора

Fig. 2. MMR vaccination coverage in the Republic of Kazakhstan, %, 2012–2023, national epidemiological surveillance data

³ Дополнительная информация от ВОЗ. Корь. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.who-measles.org/>. Дата обращения: 23.01.2025.

здравоохранения показатель охвата вакцинации (не менее 95 %) от кори, краснухи, паротита (ККП), что сформулировало неиммунную прослойку населения. Таким образом, с марта 2023 года отмечалось осложнение эпидемиологической ситуации по кори. Всего за 2023 год зарегистрирован 29 731 случай кори, показатель на 100 тысяч населения составил 149,95.

Заболеваемость зарегистрирована во всех регионах республики, но максимальное количество заболевших регистрировалось в г. Алматы (4021 сл.), в Жамбылской области (3584 сл.), в г. Шымкенте (3396 сл.), в Мангистауской (2864 сл.), Алматинской (2793 сл.), Туркестанской (2285 сл.) и Актюбинской (2179 сл.) областях (рис. 3).

Заболеваемость корью по возрастам в 2023 году распределена следующим образом: до 1 года – 4776 (16,1 %), 1–4 года – 12 827 (43,3 %), 5–14 лет – 5898 (19,9 %), 15–18 лет – 1194 (4,0 %), 19 лет и старше – 4953 (16,7 %).

В результате анализа иммунных статусов заболевших было установлено, что 19 543 (65,9 %) заболевших не были привиты против кори, из них 4673 (23,09 %) случая не привиты из-за недостижения прививочного возраста, 11 133 (57,5 %) по причине отказа от вакцинации, 3441 (18,1 %) по медицинским противопоказаниям, 296 (1,2 %) случаев – иные причины (упущенные). В 5373 (18,1 %) случаях от общего числа заболевших нет данных по вакцинации.

В том числе высокий удельный вес не вакцинированных лиц против кори по причине отказов от прививок регистрируется в следующих регионах: Атырауская – 1102 (79,4 %), Актюбинская – 1074 (73,0 %), г. Алматы – 2104 (70,5 %), Карагандинская – 315 (70,1 %), Акмолинская – 173 (67,3 %), Павлодарская – 269 (64,6 %) областях. Также высока доля невакцинированных лиц из-за медицинских противопоказаний во всех регионах, где удельный вес составляет от 24,6 до 33,7 %.

Молекулярно-генетический анализ циркулирующих штаммов вируса кори. По результатам анализа нуклеотидных последовательностей 69 образцов было выявлено, что генотипированные образцы принадлежали двум генотипам – D8 и B3, причем большинство из них ($n = 63$) относились к генотипу D8. На рис. 4 представлено филогенетическое дерево кори, исследованных в Республике Казахстан в 2023 году.

Обсуждение. Пандемия COVID-19 оказала существенное воздействие на уровень вакцинации в Казахстане, что привело к снижению охвата вакцинацией ККП в 2020 году. В связи с перенаправлением ресурсов на борьбу с коронавирусной инфекцией произошли сбои в плановой вакцинации, что создало предпосылки для формирования неиммунной прослойки населения. Этот фактор стал одним из основных, способствовавших вспышке кори в 2023 году, когда уровень заболеваемости значительно возрос. Подобные явления были также зафиксированы в других странах, где пандемия привела к уменьшению уровня вакцинации и спровоцировала эпидемии вакциноуправляемых заболеваний [18].

Заболеваемость корью в 2023 году была зарегистрирована по всей территории Казахстана, при этом наибольшее количество случаев наблюдалось в крупных городах, таких как Алматы и Шымкент, а также в Жамбылской и Мангистауской областях. Эта тенденция может свидетельствовать о более высоком уровне миграции и плотности населения в этих регионах, что способствует быстрому распространению вируса. Важно отметить, что среди заболевших наибольшую долю составляют дети в возрасте 1–4 года (43,3 %), что указывает на неадекватный уровень вакцинации в данной возрастной группе, особенно среди тех, кто не получил прививку по причине отказа от нее.

По данным филогенетического анализа из 63 штаммов кори генотипа D8 – 57 штаммов (90,5 %)

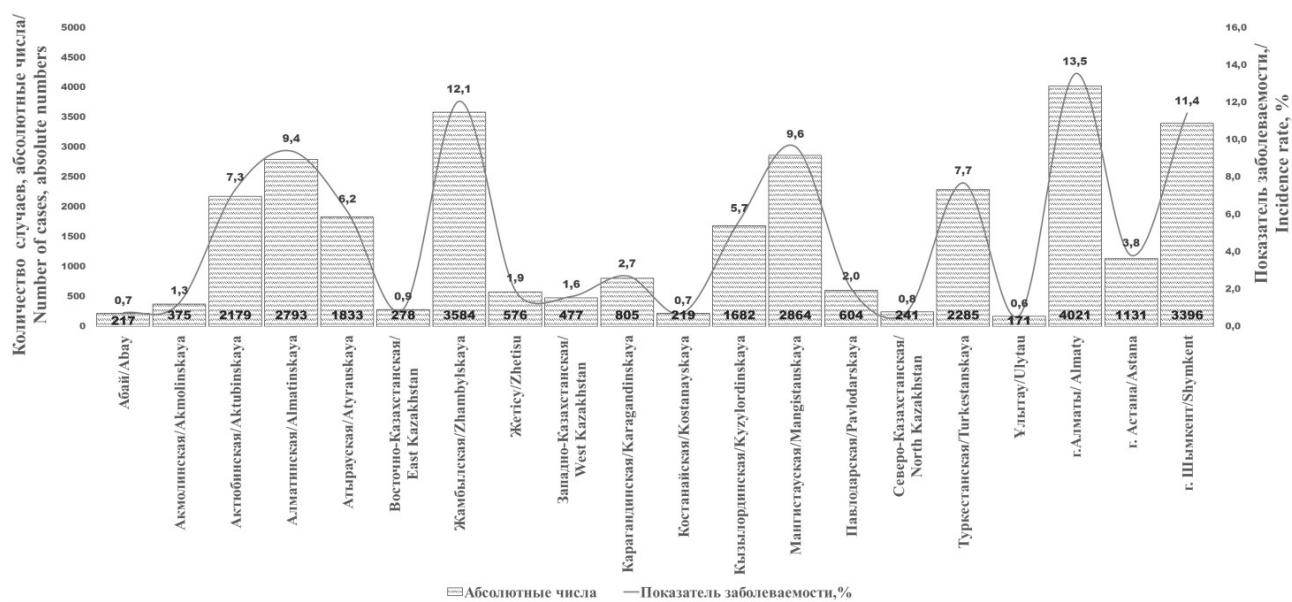


Рис. 3. Заболеваемость корью в Республике Казахстан на 2023 год

Fig. 3. Measles incidence in the Republic of Kazakhstan in 2023

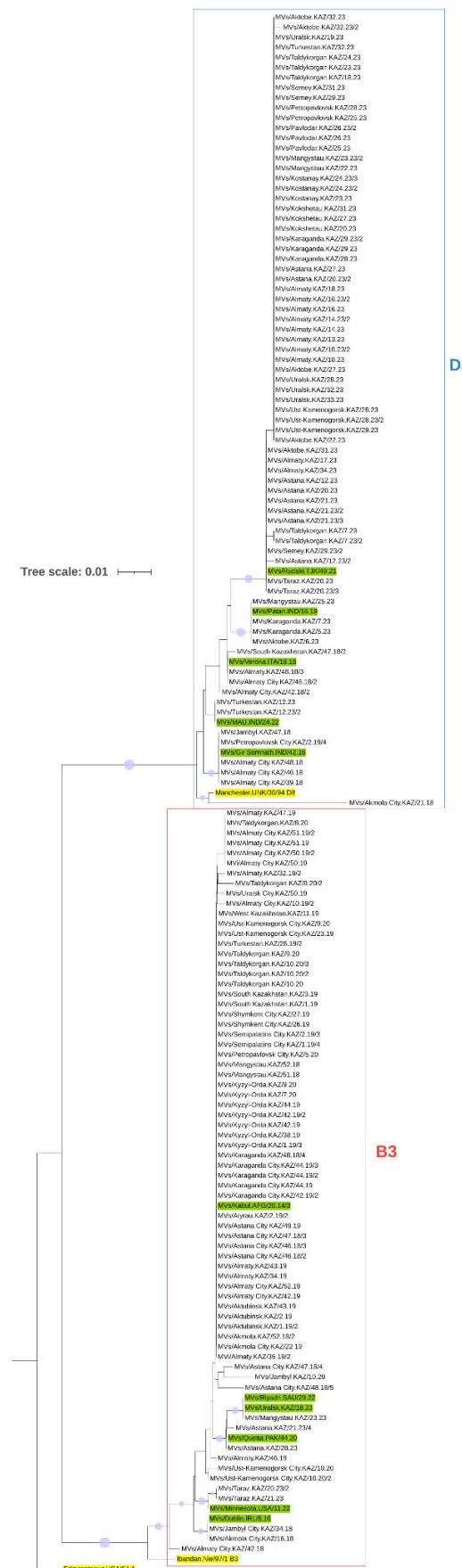


Рис. 4. Филогенетическое дерево кори, выделенных в Республике Казахстан в 2023 г.

Fig. 4. The phylogenetic tree of measles virus isolated in the Republic of Kazakhstan in 2023

представлены одной преобладающей генетической линией 8248 которые имеют сродство со штаммом MVs/Rudaki.TJK/49.21. Данная генетическая линия впервые была выявлена в Таджикистане в декабре 2021 г. и активно циркулировала на территории некоторых европейских стран, Российской Федерации и Турции, откуда он, вероятно, и был импортирован [19–21]. Филогенетический анализ 4 вируса кори (6,3 %) генотипа D8 из Карагандинской ($n = 2$), Актюбинской ($n = 1$), Мангистауской ($n = 1$) областей имели сродство со штаммом MVs/Patan.IND/16.19 (100 %), впервые обнаруженным в Индии в 2019 г. и циркулирующим в Европе (Австрия, Румыния, Россия) с 2023 года. Оставшиеся 2 штамма (3,2 %) генотипа D8 имеют 100 % совпадение со штаммом MVs/MAU.IND/24.22, относящиеся в генетической линии 8318 впервые обнаруженным в Индии в июне 2022 г. [22, 23].

В результате генотипирования всего было выявлено 6 вирусов кори генотипа В3, из них два штамма из Жамбылской области относились к генетической линии 8493 и имели совпадение со штаммом MVs/Minnesota.USA/11.22 (99,8 %), который был выявлен в Европе и Америке в 2022 г. Два штамма генотипа В3 из г. Астаны были близкородственны со штаммом MVs/Quetta.PAK/44.20, впервые выявленным в Пакистане и ОАЭ в 2022 г. Остальные два штамма генотипа В3 из Западно-Казахстанской и Мангистауской областей относились к линии 8428 и были близкородственны со штаммом MVs/Riyadh.SAU/29.22, циркулирующей в Саудовской Аравии с января 2023 года, откуда, вероятно, он был импортирован. Генотип В3 также широко распространен в Африке и на Ближнем Востоке и, по литературным источникам, считается более трансмиссивным, чем другие генотипы [24].

Молекулярно-генетический анализ этих штаммов подтверждает, что основной причиной подъема заболеваемости является завоз вирусов из других стран, что также подчеркивает необходимость улучшения контроля за международной миграцией и укрепления эпидемиологического мониторинга [25].

Эпидемиологический и молекулярно-генетический анализ штаммов, циркулирующих на территории Республики Казахстан в 2023 году, подтверждает продолжение циркуляции генотипов B3 и D8. Согласно Глобальной сети лабораторий по кори и краснухе B03 MeaNS2, в течение последних 5 лет эти генотипы вызывают вспышки заболеваемости кори во всем мире. Таким образом, подъем уровня заболеваемости корью в 2023 году, вероятнее всего, связан с импортированием штаммов кори генотипа D8 и B3. При этом на основании имеющихся данных можно предположить, что произошло несколько независимых случаев завоза штаммов кори.

Заключение. С марта 2023 года Казахстан наблюдалось осложнение эпидемиологической ситуации по кори, что подтверждалось анализом циркулирующих штаммов В3 и D8. Эти генотипы, вызывающие вспышки заболевания по всему миру, вероятно, были импортированы, что указывает на несколько независимых случаев завоза.

Молекулярно-генетический и филогенетический анализ играют ключевую роль в поддержании контроля над корью. Эти инструменты позволяют отслеживать внедрение импортированных штаммов, анализировать их устойчивость и выявлять причины распространения, что поможет избежать крупных эпидемий в будущем. Такой многогранный подход необходим для успешной элиминации кори и защиты здоровья населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Riddell MA, Rota JS, Rota PA. Review of the temporal and geographical distribution of measles virus genotypes in the prevaccine and postvaccine eras. *Virol J.* 2005;2:87. doi: 10.1186/1743-422X-2-87
2. Rota PA, Brown K, Mankertz A, et al. Global distribution of measles genotypes and measles molecular epidemiology. *J Infect Dis.* 2011;204(Suppl 1):S514-S523. doi: 10.1093/infdis/jir118
3. Santibanez S, Tischer A, Heider A, Siedler A, Hengel H. Rapid replacement of endemic measles virus genotypes. *J Gen Virol.* 2002;83(Pt 11):2699-2708. doi: 10.1099/0022-1317-83-11-2699
4. Wolfson LJ, Grais RF, Luquero FJ, Birmingham ME, Strebel PM. Estimates of measles case fatality ratios: A comprehensive review of community-based studies. *Int J Epidemiol.* 2009;38(1):192-205. doi: 10.1093/ije/dyn224
5. Moss WJ. Measles. *Lancet.* 2017;390(10111):2490-2502. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31463-0
6. Ma DZ, Pfaller CK, eds. *Measles and Related Morbilliviruses: Methods and Protocols.* Humana New York, NY; 2024. doi: 10.1007/978-1-0716-3870-5
7. Naim HY. Measles virus: a pathogen, vaccine, and a vector. *Hum Vaccin Immunother.* 2015;11(1):21-26. doi: 10.4161/hv.34298
8. Abeev A, Zhylkibayev A, Kamalova D, et al. Epidemiological outbreaks of measles virus in Kazakhstan during 2015. *Jpn J Infect Dis.* 2018;71(5):354-359. doi: 10.7883/yoken.JJID.2017.565
9. Тлеумбетова Н., Нусупбаева Г., Амандосова Д., Кулжабаева А., Дурумбетов Е., Магай А. Результаты молекулярно-генетического мониторинга вирусов кори, циркулировавших на территории Казахстана в 2015 году // Вестник КазНМУ. 2017. №4. С. 27-30.
10. Kumar S., et al. Epidemiology and control of measles: A global perspective. *Journal of Infectious Diseases.* 2019; 219(Supplement_1): S11-S18. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiy600>
11. Parker EP, et al. Global epidemiology of measles: trends and future directions. *The Lancet Infectious Diseases.* 2019;19(9):e291-e300. doi: 10.1016/S1473-3099(19)30306-1
12. Рубальская Т.С., Ерохов Д.В., Жердева П.Е., Мамаева Т.А., Тихонова Н.Т. Глобальное генетическое разнообразие вируса кори (Paramyxoviridae: Morbillivirus: Morbillivirus hominis): исторические аспекты и современное состояние // Вопросы вирусологии. 2023. Т. 68. № 5. С. 361-371. doi: 10.36233/0507-4088-187
13. Ackley SF, Hacker JK, Enanoria WTA, et al. Genotype-specific measles transmissibility: A branching process analysis. *Clin Infect Dis.* 2018;66(8):1270-1275. doi: 10.1093/cid/cix974
14. Rota PA, Bellini WJ. Update on the global distribution of genotypes of wild type measles viruses. *J Infect Dis.* 2003;187(Suppl 1):S270-S276. doi: 10.1086/368042
15. Klein N. P., et al. The changing epidemiology of measles in the 21st century. *Vaccine.* 2019; 37(37): 5485-5492. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.06.017>
16. Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol Biol Evol.* 2011;28(10):2731-2739. doi: 10.1093/molbev/msr121
17. Letunic I, Bork P. Interactive Tree Of Life (iTOL) v5: An online tool for phylogenetic tree display and annotation. *Nucleic Acids Res.* 2021;49(W1):W293-W296. doi: 10.1093/nar/gkab301
18. Ali I. Impact of COVID-19 on vaccination programs: Adverse or positive? *Hum Vaccin Immunother.* 2020;16(11):2594-2600. doi: 10.1080/21645515.2020.1787065
19. Moss WJ, Griffin DE. Paramyxoviruses: Measles. In: Kaslow RA, Stanberry LR, Powers AM, eds. *Viral Infections of Humans.* New York, NY: Springer; 2023:1-29. doi: 10.1007/978-1-4939-9544-8_23-1
20. Santibanez S, Hübschen JM, Ben Mamou MC, et al. Molecular surveillance of measles and rubella in the WHO European Region: New challenges in the elimination phase. *Clin Microbiol Infect.* 2017;23(8):516-523. doi: 10.1016/j.cmi.2017.06.030
21. Chatterjee P., Dutta, A. Molecular methods for the detection of measles virus: Current status and future prospects. *Journal of Clinical Virology.* 2022; 149: 104213. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2022.104213>
22. Lüthy IA, Kantor IN. Measles. *Medicina (B Aires).* 2020;80(2):162-168. (In Spanish.)
23. Ciceri G, Canuti M, Bianchi S, et al. Genetic variability of the measles virus hemagglutinin gene in B3 genotype strains circulating in Northern Italy. *Infect Genet Evol.* 2019;75:103943. doi: 10.1016/j.meegid.2019.103943
24. Khan S, Kulp D. Genetic diversity of measles virus strains: Insights from recent outbreaks. *Virus Research.* 2019;263:198205. doi: 10.1016/j.virusres.2019.198205
25. O'Connor P, Jankovic D, Muscat M, et al. Measles and rubella elimination in the WHO Region for Europe: Progress and challenges. *Clin Microbiol Infect.* 2017;23(8):504-510. doi: 10.1016/j.cmi.2017.01.003

REFERENCES

1. Riddell MA, Rota JS, Rota PA. Review of the temporal and geographical distribution of measles virus genotypes in the prevaccine and postvaccine eras. *Virol J.* 2005;2:87. doi: 10.1186/1743-422X-2-87
2. Rota PA, Brown K, Mankertz A, et al. Global distribution of measles genotypes and measles molecular epidemiology. *J Infect Dis.* 2011;204(Suppl 1):S514-S523. doi: 10.1093/infdis/jir118
3. Santibanez S, Tischer A, Heider A, Siedler A, Hengel H. Rapid replacement of endemic measles virus genotypes. *J Gen Virol.* 2002;83(Pt 11):2699-2708. doi: 10.1099/0022-1317-83-11-2699
4. Wolfson LJ, Grais RF, Luquero FJ, Birmingham ME, Strebel PM. Estimates of measles case fatality ratios: A comprehensive review of community-based studies. *Int J Epidemiol.* 2009;38(1):192-205. doi: 10.1093/ije/dyn224
5. Moss WJ. Measles. *Lancet.* 2017;390(10111):2490-2502. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31463-0
6. Ma DZ, Pfaller CK, eds. *Measles and Related Morbilliviruses: Methods and Protocols.* Humana New York, NY; 2024. doi: 10.1007/978-1-0716-3870-5
7. Naim HY. Measles virus: a pathogen, vaccine, and a vector. *Hum Vaccin Immunother.* 2015;11(1):21-26. doi: 10.4161/hv.34298

8. Abeev A, Zhylkibayev A, Kamalova D, et al. Epidemiological outbreaks of measles virus in Kazakhstan during 2015. *Jpn J Infect Dis.* 2018;71(5):354-359. doi: 10.7883/yoken.JJID.2017.565
9. Tleumbetova N, Nusupbayeva G, Amandosova D, Kulzhabaeva A, Durumbetov E, Magai A. Genetic variability of wild-type measles viruses, circulating in the Republic of Kazakhstan 2015 year]. *Vestnik Kazakhstanskogo Natsional'nogo Meditsinskogo Universiteta.* 2017;(4):27-30. (In Russ.)
10. Kumar S, et al. Epidemiology and control of measles: A global perspective. *Journal of Infectious Diseases.* 2019; 219(Supplement_1): S11-S18. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiy600>
11. Parker EP, et al. Global epidemiology of measles: trends and future directions. *The Lancet Infectious Diseases.* 2019;19(9):e291-e300. doi: 10.1016/S1473-3099(19)30306-1
12. Rubalskaia TS, Erokhov DV, Zherdeva PE, Mamaeva TA, Tikhonova NT. Global genetic diversity of measles virus (Paramyxoviridae: Morbillivirus: Morbillivirus hominis): Historical aspects and current state. *Voprosy Virusologii.* 2023;68(5):361-371. (In Russ.) doi: 10.36233/0507-4088-187
13. Ackley SF, Hacker JK, Enanoria WTA, et al. Genotype-specific measles transmissibility: A branching process analysis. *Clin Infect Dis.* 2018;66(8):1270-1275. doi: 10.1093/cid/cix974
14. Rota PA, Bellini WJ. Update on the global distribution of genotypes of wild type measles viruses. *J Infect Dis.* 2003;187(Suppl 1):S270-S276. doi: 10.1086/368042
15. Klein N. P., et al. The changing epidemiology of measles in the 21st century. *Vaccine.* 2019; 37(37): 5485-5492. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.06.017>
16. Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary
- distance, and maximum parsimony methods. *Mol Biol Evol.* 2011;28(10):2731-2739. doi: 10.1093/molbev/msr121
17. Letunic I., Bork P. Interactive Tree Of Life (iTOL) v5: An online tool for phylogenetic tree display and annotation. *Nucleic Acids Res.* 2021;49(W1):W293-W296. doi: 10.1093/nar/gkab301
18. Ali I. Impact of COVID-19 on vaccination programs: Adverse or positive? *Hum Vaccin Immunother.* 2020;16(11):2594-2600. doi: 10.1080/21645515.2020.1787065
19. Moss WJ, Griffin DE. Paramyxoviruses: measles. In: *Viral infections of humans: Epidemiology and control.* New York, NY: Springer US; 2023:1-29. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9544-8_23-1
20. Santibanez S, Hübschen JM, Ben Mamou MC, et al. Molecular surveillance of measles and rubella in the WHO European Region: New challenges in the elimination phase. *Clin Microbiol Infect.* 2017;23(8):516-523. doi: 10.1016/j.cmi.2017.06.030
21. Chatterjee P., Dutta, A. Molecular methods for the detection of measles virus: Current status and future prospects. *Journal of Clinical Virology.* 2022; 149: 104213. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2022.104213>
22. Lüthy IA, Kantor IN. Measles. *Medicina (B Aires).* 2020;80(2):162-168. (In Spanish.)
23. Ciceri G, Canuti M, Bianchi S, et al. Genetic variability of the measles virus hemagglutinin gene in B3 genotype strains circulating in Northern Italy. *Infect Genet Evol.* 2019;75:103943. doi: 10.1016/j.meegid.2019.103943
24. Khan S, Kulp D. Genetic diversity of measles virus strains: Insights from recent outbreaks. *Virus Research.* 2019;263:198205. doi: 10.1016/j.virusres.2019.198205
25. O'Connor P, Jankovic D, Muscat M, et al. Measles and rubella elimination in the WHO Region for Europe: Progress and challenges. *Clin Microbiol Infect.* 2017;23(8):504-510. doi: 10.1016/j.cmi.2017.01.003

Сведения об авторах:

✉ **Муталиева** Акнур Сапаралиевна – заведующая Референс-лабораторией по контролю за вирусными инфекциями; e-mail: mutaliyeva.a.s@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9608-4138>.

Габиден Алтынай Бакытовна – специалист Референс-лаборатории по контролю за вирусными инфекциями; e-mail: altinai_S@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2323-5043>.

Тлеубергенова Мадина Жасулановна – специалист Референс-лаборатории по контролю за вирусными инфекциями; e-mail: tlev.madina96@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0040-1643>.

Куатбаева Айнагуль Мухановна – директор; e-mail: a.kuatbaeva@hls.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1391-4253>.

Тулемагамбетова Айдана Еркебайкызы – врач-лаборант Референс-лаборатории по контролю за вирусными инфекциями Филиала «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга» РГП на ПХВ «НЦОЗ» МЗ РК; e-mail: atulemagambetova00@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6856-0042>.

Утегенова Эльмира Сейтбековна – заместитель директора; e-mail: Elmira_utegenova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2000-3404>.

Смагул Манар Асыровна – заместитель председателя; e-mail: manarka@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0905-8121>.

Есмагамбетова Айжан Серикбаевна – председатель; e-mail: secretariat@hls.kz; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7141-5635>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Муталиева А.С.; сбор данных: Муталиева А.С., Габиден А.Б.; анализ и интерпретация результатов: Тлеубергенова М.Ж., Габиден А.Б., Тулемагамбетова А.Е.; обзор литературы, подготовка текста рукописи: Муталиева А.С., Куатбаева А.М., Утегенова Э.С., Смагул М.А., Есмагамбетова А.С.. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 09.12.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

✉ **Aknur S. Mutaliyeva**, Head of the Reference Laboratory for the Control of Viral Infections of the Branch "Scientific and practical center of sanitary-epidemiological expertise and monitoring" of the republican state enterprise on the right of economic management "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: mutaliyeva.a.s@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9608-4138>.

Altynay B. **Gabiden**, Specialist of the Reference Laboratory for the Control of Viral Infections of the Branch "Scientific and practical center of sanitary-epidemiological expertise and monitoring" of the republican state enterprise on the right of economic management "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: altinai_S@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2323-5043>.

Madina Zh. **Tleubergeranova**, Specialist of the Reference Laboratory for the Control of Viral Infections of the Branch "Scientific and practical center of sanitary-epidemiological expertise and monitoring" of the republican state enterprise on the right of economic management "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: tleu.madina96@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0040-1643>.

Ainagul M. **Kuatbayeva**, Director of the Branch "Scientific and practical center of sanitary-epidemiological expertise and monitoring" of the republican state enterprise on the right of economic management "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: a.kuatbaeva@hls.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1391-4253>.

Aidana E. **Tulemagambetova**, Laboratory assistant of the Reference Laboratory for the Control of Viral Infections of the Branch "Scientific and practical center of sanitary-epidemiological expertise and monitoring" of the republican state enterprise on the right of economic management "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: atulemagambetova00@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6856-0042>.

Elmira S. **Utegenova**, Deputy Director of the Branch "Scientific and practical center of sanitary-epidemiological expertise and monitoring" of the republican state enterprise on the right of economic management "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: Elmira_utegenova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2000-3404>.

Манар А. **Smagul**, Deputy Chairman "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: manarka@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0905-8121>.

Aizhan S. **Yesmagambetova**, Chairman "National center of public health care" of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan; e-mail: secretariat@hls.kz; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7141-5635>.

Author contributions: study concept and design: *Mutaliyeva A.S.*; data collection: *Mutaliyeva A.S., Gabiden A.B.*, analysis and interpretation of results: *Tleubergeranova M.Zh., Gabiden A.B., Tulemagambetova A.E.*; bibliography compilation and referencing, draft manuscript preparation: *Mutaliyeva A.S., Kuatbaeva A.M., Utegenova E.S., Smagul M.A., Yesmagambetova A.S.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: December 9, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025



A Structural Model of Hand Hygiene Compliance Factors among Hospital Nurses in Jember, Indonesia

Ketut I. Ismara,¹ Didi Supriadi,² Fitriani³

¹ Yogyakarta State University, 1 Colombo Street, Special Region of Yogyakarta, 55281, Indonesia

² Sarjanawiyata Tamansiswa University, Batikan Street, UH-III/1043, Special Region of Yogyakarta, 55167, Indonesia

³ Jember University, 37 Kalimantan Street, Jember, 68121, Indonesia

Summary

Introduction: Healthcare-associated infections (HAIs) are a global epidemic that has yet to be addressed. The occurrence of nosocomial infections is strongly associated with hand hygiene compliance. With an increase in the latter, the occurrence of nosocomial infections decreases. The percentage of people who wash their hands is still low—between 35 % and 55.3 % in Indonesia and 54.7 % worldwide.

Objective: To evaluate a structural model of hand hygiene compliance determinants among nurses in Indonesian hospitals. Perceived behavioral control, facility factors, and knowledge factors are some of the determinant factors.

Materials and methods: The population in the study was nurses at Jember Regency hospitals in Indonesia. The sampling technique included a total sample of 116 nurses. The inclusion criteria used are nurses who provide direct service to the patient and are willing to respond. In this study, an exclusion clerk refers to a nurse who was on leave or engaged in academic studies at the time of data collection. Data was analyzed descriptively and inferentially using path analysis with the Structural Equation Model (SEM) and the Partial Least Squares (PLS) technique in SmartPLS software.

Results: Hospital facilities become an important predictor of hand hygiene compliance ($p < 0.05$). The respondents agreed that the facilities available at the hospital were adequate, as demonstrated by high-grade response statements (61 %). Nurses' awareness has a significant influence on hand hygiene compliance ($p < 0.05$), good knowledge leading to a positive perception of maintaining hand hygiene behaviours. The respondents' level of knowledge of hand hygiene ranged from high (40 %) to low (34 %). Perceived behavioral control significantly affects hand hygiene behaviour ($p < 0.05$). Nurses with strong perceptions and beliefs about hand hygiene are more likely to have better hand hygiene performance. Respondent compliance with hand hygiene was high (60 %). The hospital facilities and nurse knowledge have a significant effect on perceived behavioral control with an explanatory factor of 36.4 %. All factors, namely hospital facilities, nurse knowledge, and perceived behavioral control were able to explain hand hygiene compliance by 45.2 %.

Conclusions: Factors of knowledge and facilities play a crucial role in shaping perceived behavioral control in hand hygiene. These three influencing criteria have positively influenced hand hygiene compliance among nurses in Indonesian hospitals. The structural model provides insights that can be used to design more effective infection prevention strategies, especially in health care.

Keywords: hospital-acquired infections (HAIs), hand hygiene compliance, knowledge factors, facility factors, perceived behavioral control.

Cite as: Ismara KI, Supriadi D, Fitriani. A structural model of hand hygiene compliance factors among hospital nurses in Jember, Indonesia // Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya. 2025;33(3):49-56. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-49-56

Структурная модель факторов соблюдения гигиены рук медсестрами больниц округа Джембер, Индонезия

Кетут И. Иスマра¹, Диidi Суприади², Фитриани³

¹ Государственный университет Джокьякарты, ул. Коломбо, д. 1, Джокьякарта, 55281, Индонезия

² Университет Сарджанавията Тамансисва, ул. Батикан, УН-III/1043, Джокьякарта, 55167, Индонезия

³ Университет Джембера, ул. Калимантан, д. 37, Джембер, 68121, Индонезия

Резюме

Введение. Внутрибольничные инфекции (ВБИ) – это глобальная эпидемия, с которой еще предстоит справиться. Распространение нозокомиальных инфекций напрямую связано с гигиеной рук: риск возникновения ВБИ снижается с ростом степени ее соблюдения. Доля людей, которые регулярно и правильно моют руки, по-прежнему низка – от 35 до 55,3 % в Индонезии и 54,7 % во всем мире.

Цель исследования: оценка структурной модели детерминант соблюдения гигиены рук медсестрами в индонезийских больницах. К определяющим факторам относятся воспринимаемый поведенческий контроль, факторы больничной среды и уровень осведомленности.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 116 медсестер, работающих в больницах индонезийского округа Джембер. Критериями включения были непосредственная работа с пациентами и готовность принять участие в опросе, а исключения – нахождение в отпуске или на учебе на момент проведения исследования. Данные были проанализированы описательно и дедуктивно с использованием анализа путей с моделью структурных уравнений и методом частичных наименьших квадратов в программном средстве SmartPLS.

Результаты. Помещения больниц становятся важным предиктором соблюдения гигиены рук ($p < 0,05$). Респонденты сказали, что имеющиеся в больнице помещения были адекватными, о чем свидетельствуют их высокие оценки (61 %). Знания медсестер оказывают значительное влияние на соблюдение гигиены рук ($p < 0,05$): хорошие знания приводят к положительному восприятию важности гигиены рук. Уровень осведомленности респондентов о гигиене рук варьировался от высокого (у 40 % респондентов) до низкого (у 34 %). Воспринимаемый поведенческий контроль оказывает существенное влияние на поведение в отношении гигиены рук ($p < 0,05$). Медсестры с сильным восприятием и убеждениями с большей вероятностью будут иметь лучшие показатели соблюдения гигиены рук. Соблюдение респондентами гигиены рук было высоким (60 %). Больничные помещения и знания медсестер оказывают значимое влияние на воспринимаемый поведенческий контроль с объясняющим фактором 36,4 %. Вклад всех изученных факторов, а именно больничных помещений, знаний медсестер и воспринимаемого поведенческого контроля, в соблюдение гигиены рук составил 45,2 %.

Выводы. Факторы знаний и помещений играют решающую роль в формировании воспринимаемого поведенческого контроля в отношении гигиены рук. Эти три влияющих критерия положительно повлияли на соблюдение гигиены рук медсестрами индонезийских больниц. Структурная модель дает представление, которое можно использовать для разработки более эффективных стратегий профилактики внутрибольничных инфекций, особенно в здравоохранении.

Ключевые слова: внутрибольничные инфекции (ВБИ), соблюдение гигиены рук, факторы осведомленности, факторы помещений, воспринимаемый поведенческий контроль.

Для цитирования: Иスマра КИ, Суприади Д, Фитриани. Структурная модель факторов соблюдения гигиены рук медсестрами больниц округа Джембер, Индонезия // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 49–56. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-49-56

Introduction

Prevention of hospital-acquired infections (HAIs) is a global problem that has not been resolved to date. This was confirmed by the World Health Organization (WHO) in the 2002 global report on infection prevention and control. The report states that no country claims to be free from HAIs [1]. In both developed and developing countries, this challenge still exists. In low- and middle-income nations, over 25 % of hospitalized patients may develop a HAI, which is two to twenty times higher than in developed countries [2].

The Indonesian government's program related to efforts to reduce HAIs is included in the infection prevention and control (IPC) health service area, namely the Infection Prevention and Control (PPI) program. The success of the PPI team in controlling nosocomial infections to date still reaches only 47 % [3]. Hand hygiene practices are an effective program for reducing the incidence of nosocomial infections. Several studies agree that hand hygiene compliance is closely related to the incidence of nosocomial infections. The higher the compliance with hand hygiene, the lower the incidence of nosocomial infections [4].

Hand hygiene compliance is still low both at the global and national levels, amounting to 54.7 % of hand hygiene compliance in the years 2021–2022 [5]. The national level (Indonesia) applies a hand hygiene compliance standard of 85 %. Based on several studies that have been conducted, the percentage of hand hygiene compliance is still far below the standard, namely 35 % to 55.3 % [6]. Healthcare practitioners' hand hygiene compliance can be enhanced by supplying alcohol-based hand rubs, towels, or tissue paper [7].

Hand hygiene compliance refers to the extent to which individuals adhere to recommended hand hygiene practices, such as proper hand washing or using hand sanitizers, to prevent the spread of infections. Various factors can influence hand hygiene compliance such as knowledge and perceived risk. Knowledge has an important role in hand hygiene behavior. Sound knowledge about hand hygiene creates a positive perception of hand hygiene compliance [8]. Good perception comes from the knowledge an individual has. Perception in the Theory of Planned Behavior (TPB) includes a person's external and internal ability to carry out a behavior or is termed perceived behavioral control. Nurses who provide services to patients have the perception that hand hygiene compliance is important to implement [9]. Knowledge and perception about hand hygiene can increase hand hygiene compliance [10].

Research has shown that nurses with higher levels of knowledge of hand hygiene are more likely to adhere to proper hand hygiene practices [11]. This highlights the importance of continuous education and training for healthcare professionals to improve compliance rates and ultimately reduce the spread of infections in healthcare settings [12]. Healthcare facilities need to invest in ongoing education and training programs to ensure that nurses are equipped with the necessary knowledge and skills to maintain high standards of hand hygiene. By prioritizing education, healthcare organizations can create a culture of safety and

reduce the risk of healthcare-associated infections [13]. Providing ongoing education and training to healthcare workers about the importance of hand hygiene and proper techniques can improve compliance rates [14].

While it is important to address the factors that influence hand hygiene compliance among healthcare workers [15], it is also essential to consider the opposing argument. Some may argue that despite efforts to improve hand hygiene practices, there are inherent challenges that hinder compliance [16]. For example, healthcare workers often face time constraints and heavy workloads, which can detract from their ability to prioritize hand hygiene. Additionally, the lack of knowledge and awareness among patients regarding their contribution to hand hygiene practices presents a significant barrier [17].

Moreover, the perceived ineffectiveness of hand hygiene practices and the lack of scientific information on the definitive impact of improved hand hygiene on hospital infection rates can also contribute to low compliance [11]. If healthcare workers are not convinced of the tangible benefits of rigorous hand hygiene, they may be less inclined to prioritize and adhere to recommended practices [18]. In summary, while education, training, and continuous monitoring are crucial components of improving hand hygiene compliance, it is imperative to recognize and address the inherent challenges and barriers that exist within healthcare settings. Resistance to change, lack of awareness, and scepticism regarding the effectiveness of hand hygiene practices must be acknowledged and strategically targeted to achieve meaningful and sustainable improvements in compliance rates [19].

Availability of resources, and limited access to hand hygiene products, such as soap and water or hand sanitizers, can hinder compliance. The culture and policies within healthcare facilities can influence hand hygiene compliance [20]. Healthcare facilities can influence hand hygiene compliance among nurses through the implementation of clear hand hygiene protocols and regular training sessions [21]. Additionally, providing easy access to hand sanitizer stations throughout the facility can also encourage nurses to practice proper hand hygiene. Furthermore, utilizing visual reminders such as posters and signs can serve as constant reinforcement for nurses to remember the importance of hand hygiene. Ultimately, creating a culture of accountability and prioritizing patient safety can further enhance hand hygiene compliance among nurses in healthcare facilities [22]. By fostering a supportive environment where nurses feel empowered to speak up and hold each other accountable for hand hygiene practices, facilities can further improve compliance rates. Regular audits and feedback mechanisms can also help identify areas for improvement and ensure long-term commitment to hand hygiene procedures [23]. The purpose of this study was to validate a structural model of hand hygiene compliance determinants among nurses in Indonesian hospitals. Perceived behavioral control, facility factors, and knowledge factors are some of the determinant factors.

Materials and Methods

This research uses a cross-sectional quantitative study carried out at one of the regional government hospitals in Jember, Indonesia. The research was conducted from June 20, 2023 to July 28, 2023. The population in the study were 116 hospital nurses providing direct services to patients. The sampling technique used total sampling. The inclusion criteria used were nurses who provided direct services to patients and were willing to be respondents. The sample exclusion criteria were nurses who were on leave or studying at the time the survey.

The data collection instrument is a questionnaire. The hospital facility variable questionnaire is structured based on five aspects adopted from the following sources: [10–13]. The nurse knowledge variable instrument is measured using five aspects adopted from [8, 24, 25]. The perceived behavioral control variable instrument is measured by five aspects adopted from [26, 27]. Hand hygiene compliance variable instrument is measured by five aspects adopted from [23]. The questionnaire was designed on the 5-option Likert scale. Based on the confirmatory factor analysis obtained the Cronbach's alpha values are 0.856, 0.825, 0.955, and 0.990 respectively for a hospital facility, hand hygiene compliance, nurse knowledge, and perceived behavioral control. The Cronbach's alpha values for all variables are higher than 0.70, so it is an acceptable level of accuracy.

Data is analyzed descriptively and inferentially using path analysis with the Structural Equation Model (SEM) and the Partial Least Squares (PLS) technique in SmartPLS software. The regression coefficient and

route analysis p-values of less than 0.05 were judged significant.

Results

The demographics and selected characteristics of the respondents are shown in Table 1.

Table 1 shows that the majority of respondents (53 %) are between the ages of 26 and 35. Male respondents outnumbered female respondents (56 % against 44 %). The majority of respondents (44 %) were diploma graduates.

Knowledge is closely related to the development of a person's behavior. Respondents' knowledge of hand hygiene ranged from high (40 %) to low (34 %). The impact of nurses' knowledge on hand hygiene compliance will help hospitals improve their hand hygiene practices. Nurses with adequate knowledge will be better able to understand the importance of hand hygiene in preventing infection transmission in the hospital setting. Furthermore, good knowledge can raise nurses' awareness of the health risks associated with poor hand hygiene. Thus, increasing nurses' knowledge can have a direct impact on increasing hand hygiene compliance in hospitals. This will contribute to a safer environment for patients and medical staff. Thus, the risk of nosocomial infections can be significantly reduced. Apart from that, efforts to prevent nosocomial infections will also be more effective with the involvement of more trained nurses.

The findings indicate that over 50 % of the participants perceived the hospital facilities as adequate. This is evidenced by the distribution of responses, with 61 % rating them as high, 27 % as

Table 1. The frequency distribution of respondents' demographic characteristics and associated variables

Таблица 1. Частотное распределение демографических характеристик респондентов и переменных

Demographic/variables / Демографические характеристики/переменные	Levels / Уровни	n	%
Sex / Пол	Male / Мужской	65	56
	Female / Женский	51	44
Age, years / Возраст, лет	18–25	7	6
	26–35	61	52
	36–45	38	33
	46–55	10	9
Education / Образование	Diploma / Среднее профессиональное	51	44
	Undergraduate / Бакалавр	23	20
	Postgraduate / Магистр	3	2
	Profession / Высшее профессиональное (специалитет)	39	34
Knowledge / Осведомленность	High / Высокий	46	40
	Moderate / Средний	30	26
	Low / Низкий	40	34
Hospital facility / Больница	High / Высокий	71	61
	Moderate / Средний	31	27
	Low / Низкий	14	12
Perceived behavioral control / Воспринимаемый поведенческий контроль	High / Высокий	17	15
	Moderate / Средний	25	22
	Low / Низкий	74	64
Hand hygiene compliance / Соблюдение гигиены рук	High / Высокий	70	60
	Moderate / Средний	11	10
	Low / Низкий	35	30

low, and the remaining responses falling within the lower category. This variable comprises infrastructure and facility availability and affordability metrics for hand hygiene. The availability and accessibility of hand hygiene equipment, supplies, and facilities can have a significant impact on nurse compliance with hand hygiene protocols. For example, if soap or hand sanitizers are scarce or sinks are inconveniently located, nurses may be less likely to follow hand hygiene protocols. Furthermore, the condition and cleanliness of the facilities can affect compliance. Broken or malfunctioning sinks, filthy or cluttered hand hygiene stations, and insufficient waste disposal can all deter nurses from practicing good hand hygiene.

The majority of respondents perceived their behavioral control as low (64 %), while only 15 % fell into the high category. The indications utilized in this variable include people's opinions about their control and how well they are able to wash their hands. Healthcare workers' adoption of hand hygiene measures is largely aided by perceived behavioral control. It speaks to how someone feels about the capacity to carry out the desired behaviour – in this case, washing hands properly. Several factors, including knowledge of hand hygiene, availability of resources (like soap and water or hand sanitizers), availability of protocols and guidelines for hand hygiene, organizational support for hand hygiene practices, and the belief that hand hygiene is effective in preventing infections, can all influence this perception.

Hand hygiene compliance is the practice of washing hands with water or using a hand-rub containing alcohol. The majority of respondents' hand hygiene compliance fell into the high category, at 60 %, and the low category, at 30 %, according to our findings. This number is still considerably below the hospital's > 80 % compliance standard value, despite the fact that all sinks and walls have hand hygiene posters that instruct patients on proper hand hygiene before entering their rooms. The willingness and self-awareness of nurses to practice proper hand hygiene substantially encourage compliance with the adoption of hand hygiene.

Structural model testing evaluates model fit, path coefficient, and R^2 . Model fit testing determines whether a model matches the data. Meanwhile, to determine the structural relationship between latent variables, hypothesis testing must be performed on the path coefficients between variables, as shown in Table 2.

The results of the direct influence test in Table 2 show that hospital facilities have a positive and significant effect on hand hygiene compliance with a path coefficient of 0.271 ($p < 0.05$). Hospital facilities have a positive and significant effect on perceived behavioral control (path coefficient = 0.338, $p < 0.05$). Nurse knowledge has a favorable and significant effect on hand hygiene compliance (path coefficient = 0.195, $p < 0.05$). Nurse knowledge significantly improves perceived behavioral control (path coefficient = 0.356, $p < 0.05$). Perceived behavioral control has a favorable and substantial effect on hand hygiene compliance (path coefficient = 0.343, $p < 0.05$).

Table 3 shows that hospital facilities are proven to have an indirect effect on hand hygiene compliance. It means that perceived behavioral control mediates the influence of hospital facilities on hand hygiene compliance. The nurse knowledge is proven to have an indirect effect on hand hygiene compliance. It means that perceived behavioral control mediates the influence of nurse knowledge on hand hygiene compliance.

The figure shows that hospital facilities and nurse knowledge have a significant effect on perceived behavioral control with an explanatory factor of 36.4 % ($R^2 = 0.364$). All factors, namely hospital facilities, nurse knowledge, and perceived behavioral control were able to explain hand hygiene compliance of 45.2 % ($R^2 = 0.364$).

Discussion

The results of tests using bootstrapping using SmartPLS software in this study showed the influence of hospital facility variables on hand hygiene compliance. This research supports the results of several previous studies stating that facilities can support a person's perception of behavior. Hand hygiene practices increased the most during the COVID-19 pandemic, where research

Table 2. Results of the direct effects test
Таблица 2. Результаты исследования прямого воздействия

	Original sample / Исходная выборка	Sample mean / Среднее	Standard deviation / Стандартное отклонение	T Statistics / t -статистика ($ t /STDEV $)	p
Facility → Hand hygiene compliance / Больничные помещения → Соблюдение гигиены рук	0.271	0.272	0.114	2.380	0.018
Facility → Perceived behavioral control / Больничные помещения → Воспринимаемый поведенческий контроль	0.338	0.343	0.076	4.417	0.000
Knowledge → Hand hygiene compliance / Осведомленность → Соблюдение гигиены рук	0.195	0.198	0.094	2.073	0.039
Knowledge → Perceived behavioral control / Осведомленность → Воспринимаемый поведенческий контроль	0.356	0.355	0.081	4.372	0.000
Perceived behavioral control → Hand hygiene compliance / Воспринимаемый поведенческий контроль → Соблюдение гигиены рук	0.343	0.345	0.088	3.908	0.000

Table 3. Results of the indirect effects test
Таблица 3. Результаты исследования косвенного воздействия

	Original sample / Исходная выборка	Sample mean / Среднее	Standard deviation / Стандартное отклонение	T Statistics / t-статистика (t/STDEV)	p
Facility → Perceived behavioral control → Hand hygiene compliance / Больничные помещения → Воспринимаемый поведенческий контроль → Соблюдение гигиены рук	0.116	0.118	0.039	2.989	0.003
Knowledge → Perceived behavioral control → Hand hygiene compliance / Осведомленность → Воспринимаемый поведенческий контроль → Соблюдение гигиены рук	0.122	0.123	0.043	2.808	0.005

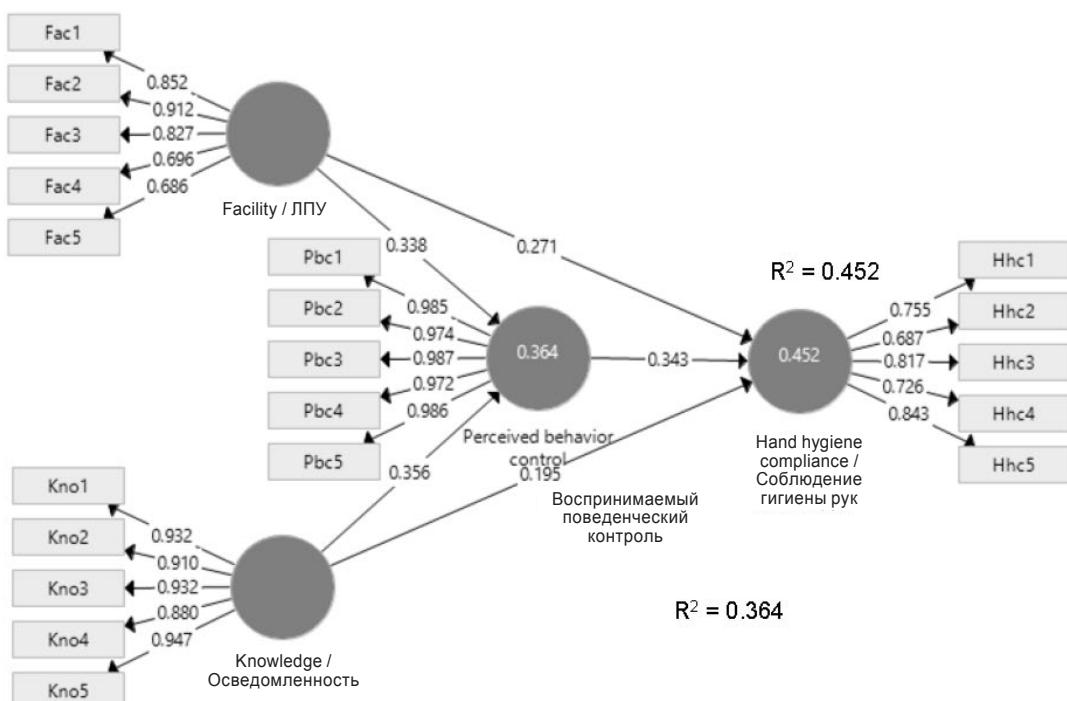


Figure. A structural model of hand hygiene compliance factors
Рисунок. Структурная модель факторов соблюдения гигиены рук

results showed that facilities were an important predictor of someone giving a positive perception of carrying out hand hygiene [28–30]. Referring to the theory that perception is influenced by several other follower variables, the results of this study state that facilities do not affect perception. It is possible that perceptions of hand hygiene compliance can be influenced by other external variables. Several variables that influence an individual's perception of hand hygiene can be seen from work experience, work stress, and others, so the strategy to increase the implementation of hand hygiene uses a multi-model strategy in order to touch on all factors [31]. Strong dedication from managers and leaders may also help employees keep the guidelines and procedures to follow the multimodal hand hygiene practice as recommended by WHO [32]. This research is in line with the result of [33] that the most of healthcare facilities have a medium or higher level of hand hygiene implementation, so funding of healthcare facilities and state income levels are important driving factors. The availability of resources and facilities is a key element to further

improve the quality of services and provide access to safe services in hospitals.

Based on the results of the direct effect test carried out with the help of SmartPLS software using bootstrapping, it is known that nurse knowledge has a significant effect on the intention to behave in hand hygiene. These results are consistent with several previous studies which stated that knowledge has a significant effect on a person's perception of behavior. The higher a person's knowledge, the more positive the perception of a behavior. Several studies disagree with these results [34]. The results are inversely different, stating that a person's knowledge does not affect individual perceptions. A person's high level of knowledge does not affect the perception of that person's behavior. The statement regarding the relationship between knowledge and perception is in line with the theory that good knowledge creates positive perceptions to carry out a behavior [35]. In line with the theory of planned behavior, a person's behavior patterns begin with the person's perception of the individual's ability to behave and how external

factors can support the behavior [36]. A person's behavior is determined by the individual's perception that the behavior is important, viewing the individual as vulnerable to health-related problems, believing that they are the one who can prevent a problem in the health sector, in this case, HAIs. This is interpreted as how a person perceives a behavior that is preceded by knowledge. A person's perception of behavior is influenced by other variables, both demographic and social, so that they can strengthen the reasons for behaving [37]. It is recommended that infection control committees reassess their instructional approaches and focus more on updating hand hygiene recommendations. Additionally, more experienced nurses should be employed in all units [38].

As previously indicated, the investigation revealed a significant direct relationship between perceived behavioral control and hand hygiene habit. Perceived behavioral control has been proven to have a significant effect on hand hygiene behavior. These findings are consistent with previous studies, which report that nurses with strong beliefs and awareness regarding hand hygiene demonstrate better compliance. Good perceptions regarding hand hygiene need to be improved by increasing nurses' knowledge of how to behave in hand hygiene in accordance with guidelines. Good hand hygiene risk perception can increase hand hygiene compliance [39]. The theory of planned behavior (TPB) has been utilized in the context of infectious disease epidemics, with studies assessing the utility of TPB in predicting preventative behavior regarding healthcare-associated infections (HAIs). The theory regarding perception is strengthened by the theory of planned behavior that perceived behavioral control consisting of control beliefs and power beliefs can have a direct influence on a person's behavior without mediation (intention). Individuals who have strong beliefs, both in terms of internal and external support to achieve behavior, can have a positive influence, resulting in a desired action [36]. Perceived behavioral control is the feeling of ease or difficulty. Perceived behavioral control is likewise expected to have a direct effect on planned behavior, assuming that it reflects actual control. TPB's ability to predict a variety of health behaviors has been widely demonstrated [40]. More specifically, in the context of this investigation, the TPB was utilized to predict hand washing. Previous studies have found beneficial relationships between perceived behavioural control and hand hygiene behaviors. The findings of [41] research demonstrated that subjective norms and perceived behavioral control were significantly and positively connected with hand hygiene behavior via intentions. However, in this study, attitude had no effect on hand hygiene intention or action. Consistent with previous research on TPB and health behavior, it was hypothesized that perceived behavioral control would predict intention to perform hand hygiene behavior, which in turn would predict hand hygiene behavior among nurses working at a public hospital in Jember, Indonesia.

Conclusion

In light of the findings, we may conclude that the hospital facilities, nursing knowledge, and perceived

behavioral control for hand hygiene were rated adequate. We discovered that female nurses who were older and had more experience had higher hand hygiene compliance than their counterparts. Furthermore, we discovered a strong and positive relationship between the ratings for knowledge, facility, and perception. The theory of planned behavior provides a valuable and effective framework for explaining the hand hygiene behavior of nurses of public hospitals in Jember, Indonesia. Continued commitment to improving hand hygiene practices is critical in the ongoing fight against the spread of infectious diseases. Nonetheless, further research is needed to determine the scope of other factors influencing hand cleanliness.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. *Guidelines on Prevention and Control of Hospital Associated Infections*. SEA-HLM-343. New Delhi: WHO Regional Office for South-East Asia; 2002. Accessed February 14, 2025. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/205187/B0007.pdf?sequence=1>
2. Harun MGD, Anwar MMU, Sumon SA, et al. Hand hygiene compliance and associated factors among healthcare workers in selected tertiary-care hospitals in Bangladesh. *J Hosp Infect*. 2023;139:220-227. doi: 10.1016/j.jhin.2023.07.012
3. World Health Organization. World Hand Hygiene Day 2022. Accessed October 28, 2022. <https://www.who.int/campaigns/world-hand-hygiene-day/2022>
4. Rosenfeldt Knudsen A, Bo Hansen M, Kjolseth Moller J. Individual hand hygiene improvements and effects on healthcare-associated infections: A long-term follow-up study using an electronic hand hygiene monitoring system. *J Hosp Infect*. 2023;135:179-185. doi: 10.1016/j.jhin.2023.02.017
5. World Health Organization. *Global Report on Infection Prevention and Control*. Geneva: WHO; 2022. Accessed February 14, 2025. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354489/9789240051164-eng.pdf?sequence=1>
6. Caesarino RI, Wahjono H, Lestari ES. Tingkat kepatuhan perawat Rumah Sakit X di Semarang terhadap pelaksanaan cuci tangan. *Jurnal Kedokteran Diponegoro*. 2019;8(2):852-859. (In Indonesian.) doi: 10.14710/dmj.v8i2.23834
7. Abdella NM, Tefera MA, Eredie AE, Landers TF, Malefia YD, Alene KA. Hand hygiene compliance and associated factors among health care providers in Gondar University Hospital, Gondar, North West Ethiopia. *BMC Public Health*. 2014;14:96. doi: 10.1186/1471-2458-14-96
8. Marquer C, Guindo O, Mahamadou I, et al. An exploratory qualitative study of caregivers' knowledge, perceptions and practices related to hospital hygiene in rural Niger. *Infect Prev Pract*. 2021;3(3):100160. doi: 10.1016/j.infpip.2021.100160
9. Vaughan-Malloy AM, Chan Yuen J, Sandra TJ. Using a human factors framework to assess clinician perceptions of and barriers to high reliability in hand hygiene. *Am J Infect Control*. 2023;51(5):514-519. doi: 10.1016/j.ajic.2023.01.013
10. Prasad A, Ng Chok H, Wilkes L. Hand hygiene practices amongst patients. *Int J Infect Control*. 2017;13(2):1-8. doi: 10.3396/ijic.v13i2.17428
11. Sands M, Auger R. Determinants of hand hygiene compliance among nurses in US hospitals: A formative research study. *PLoS One*. 2020;15(4):e0230573. doi: 10.1371/journal.pone.0230573

12. Maskerine C, Loeb M. Improving adherence to hand hygiene among health care workers. *J Contin Educ Health Prof.* 2006;26(3):244-251. doi: 10.1002/chp.77
13. Korniewicz DM, El-Masri M. Exploring the factors associated with hand hygiene compliance of nurses during routine clinical practice. *Appl Nurs Res.* 2010;23(2):86-90. doi: 10.1016/j.apnr.2008.06.002
14. Stackelroth J, Sinnott M, Shaban RZ. Hesitation and error: Does product placement in an emergency department influence hand hygiene performance? *Am J Infect Control.* 2015;43(9):913-916. doi: 10.1016/j.ajic.2015.04.199
15. Atif S, Lorcry A, Dube E. Healthcare workers' attitudes toward hand hygiene practices: Results of a multicentre qualitative study in Quebec. *Can J Infect Control.* 2019;(6):41-48. doi: 10.36584/CJIC.2019.004
16. Wahab MT. Nudges as a suitable and effective intervention to improve hand hygiene compliance among healthcare workers in patient care settings: A narrative review. *Int J Infect Control.* 2023;19. doi: 10.3396/ijic.v19.22762
17. Kiprotich K, Wang H, Kaminga AC, Kessi M. Observed and self-reported hand hygiene compliance and associated factors among healthcare workers at a county referral hospital in Kenya. *Sci Afr.* 2021;14:e00984. doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00984
18. Alhumaid S, Al Mutair A, Al Alawi Z, et al. Knowledge of infection prevention and control among healthcare workers and factors influencing compliance: A systematic review. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2021;10(1):86. doi: 10.1186/s13756-021-00957-0
19. Sundal JS, Aune AG, Storvig E, Aasland JK, Fjeldsaeter KL, Torjuul K. The hand hygiene compliance of student nurses during clinical placements. *J Clin Nurs.* 2017;26(23-24):4646-4653. doi: 10.1111/jocn.13811
20. Yadav SK, Giri A. Assessment of hand hygiene knowledge among residents and nursing staffs at Nobel Medical College Teaching Hospital, Biratnagar. *J Nepal Paediatr Soc.* 2019;38(2):69-73. doi: 10.3126/jnps.v38i2.20547
21. Lescure D, Haenen A, de Greeff S, Voss A, Huis A, Hulscher M. Exploring determinants of hand hygiene compliance in LTCFs: A qualitative study using Flottorp's integrated checklist of determinants of practice. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2021;10(1):14. doi: 10.1186/s13756-021-00882-2
22. Haenen A, de Greeff S, Voss A, Liefers J, Hulscher M, Huis A. Hand hygiene compliance and its drivers in long-term care facilities; observations and a survey. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2022;11(1):50. doi: 10.1186/s13756-022-01088-w
23. Abuosi AA, Akoriye SK, Ntow-Kummi G, et al. Hand hygiene compliance among healthcare workers in Ghana's health care institutions: An observational study. *J Patient Saf Risk Manag.* 2020;25(5):177-186. doi: 10.1177/2516043520958579
24. Safir N, Mursal, Akbar Y, Abrar. Tingkat pengetahuan perawat tentang lima momen kebersihan tangan. *Jurnal Lentera.* 2021;4(2):1-7. (In Indonesian.) doi: 10.37150/jl.v4i2.1443
25. Thakker SV, Jadhav PR. Knowledge of hand hygiene in undergraduate medical, dental, and nursing students: A cross-sectional survey. *J Family Med Prim Care.* 2015;4(4):582-586. doi: 10.4103/2249-4863.174298
26. Abalkhail A, Mahmud I, Alhumaydhi FA, et al. Hand hygiene knowledge and perception among the healthcare workers during the COVID-19 pandemic in Qassim, Saudi Arabia: A cross-sectional survey. *Healthcare (Basel).* 2021;9(12):1627. doi: 10.3390/healthcare9121627
27. Syukur SB, Syamsuddin F, Djumuli D. Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku hand hygiene perawat di puskesmas Telaga. *Jurnal Rumpun Ilmu Kesehatan.* 2023;3(2):95-108. (In Indonesian.) doi: 10.55606/jrik.v3i2.1842
28. Nur Anna. Pengaruh Persepsi Siswa Atas Fasilitas Belajar Terhadap Efektivitas Pembelajaran Pada Mata Pembelajaran Akuntansi Kelas XI Akuntansi SMK Negeri 1 Pangkep. *Pendidikan Akuntansi Fakultas Ekonomi Universitas Negeri Makassar.* Published online 2019. (In Indonesian.)
29. Fhirawati, Kurniawan Y. Hubungan sikap dan keterampilan dengan kepatuhan perawat dalam hand hygiene five moment di rumah sakit Bhayangkara Balikpapan. *JUKEJ.* 2023;2(1):154-159. (In Indonesian.) doi: 10.57218/jkj.Vol2.Iss1.748
30. Dwipayanti NMU, Lubis DS, Harjana NPA. Public perception and hand hygiene behavior during COVID-19 pandemic in Indonesia. *Front Public Health.* 2021;9:621800. doi: 10.3389/fpubh.2021.621800
31. Wardhani V. *Manajemen Keselamatan Pasien Di Rumah Sakit.* Universitas Brawijaya Press; 2017. (In Indonesian.)
32. Umar H, Geremew A, Worku Kassie T, et al. Hand hygiene compliance and associated factor among nurses working in public hospitals of Hararghe zones, Oromia region, eastern Ethiopia. *Front Public Health.* 2022;10:1032167. doi: 10.3389/fpubh.2022.1032167
33. de Kraker MEA, Tartari E, Tomczyk S, et al. Implementation of hand hygiene in health-care facilities: Results from the WHO Hand Hygiene Self-Assessment Framework global survey 2019. *Lancet Infect Dis.* 2022;22(6):835-844. doi: 10.1016/S1473-3099(21)00618-6
34. Utami NNA. Pengaruh tingkat pengetahuan terhadap persepsi masyarakat mengenai relokasi SMP negeri 3 Surakarta. Published online 2020. (In Indonesian.)
35. Noor J, ed. *Monograf: Kesadaran Nasabah, Pengetahuan Produk Dan Religiositas Dengan Persepsi Bank Syari'ah.* La Tansa Mashiro Publ.; 2020. (In Indonesian.)
36. Maryana M, Anggraini RB. Nurses' individual characteristics associated with five moments handwashing compliance. *Jurnal Ners.* 2021;16(2):135-141. doi: 10.20473/jn.v16i2.22399
37. Potter PA, Perry AG, Stockert PA, Hall A. *Fundamentals of Nursing.* 9th ed. Elsevier Health Sciences; 2016.
38. Asadollahi M, Arshadi Bostanabad M, Jebraili M, Makhallei M, Seyyed Rasooli A, Abdolalipour M. Nurses' knowledge regarding hand hygiene and its individual and organizational predictors. *J Caring Sci.* 2015;4(1):45-53. doi: 10.5681/jcs.2015.005
39. Abd Rahim MH, Ibrahim MI, Md Noor SS, Fadzil NM. Predictors of self-reported hand hygiene performance among nurses at tertiary care hospitals in east coast Malaysia. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(2):409. doi: 10.3390/ijerph18020409
40. Zhang CQ, Fang R, Zhang R, Hagger MS, Hamilton K. Predicting hand washing and sleep hygiene behaviors among college students: Test of an integrated social-cognition model. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(4):1209. doi: 10.3390/ijerph17041209
41. Sin CS, Rochelle TL. Using the theory of planned behaviour to explain hand hygiene among nurses in Hong Kong during COVID-19. *J Hosp Infect.* 2022;123:119-125. doi: 10.1016/j.jhin.2022.01.018

Author information:

✉ Ketut I. **Ismara**, Professor, Department of Occupational Health and Safety, Universitas Negeri Yogyakarta; e-mail: imaismara@uny.ac.id; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6151-4414>.

Didi **Supriadi**, Senior Lecturer, Department of Educational Management, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa; e-mail: didisupriadi@ustjogja.ac.id; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4363-2692>.

Fitriani, Student Magister of Public Health Science, Postgraduate Program, University of Jember; e-mail: fitriani.shafii@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2400-2201>.

Author contributions: study conception and design: *Ismara K.I.*, *Fitriani*; data collection: *Fitriani*; analysis and interpretation of results: *Ismara K.I.*, *Supriadi D.*; bibliography compilation and referencing: *Supriadi D.*; draft manuscript preparation: *Fitriani*, *Supriadi D.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was provided by the Ethics Committee of Jember University (No. 1956/UN25.8/KEPK/DL/2023); written informed consent was obtained from all participants in the study.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: June 10, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025

Сведения об авторах:

✉ Кетут И. **Исмары**, профессор кафедры гигиены и охраны труда государственного университета Джокьякарты; e-mail: imaismara@uny.ac.id; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6151-4414>.

Диди **Суприади**, старший преподаватель кафедры управления образованием Университета Сарджанавията Тамансисва; e-mail: Didi.supriadi@ustjogja.ac.id; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4363-2692>.

Фитриани, магистр наук в области общественного здравоохранения, аспирантура Джемберского университета; e-mail: fitriani.shafii@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2400-2201>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Исмары К.И.*, *Фитриани*; сбор данных: *Фитриани*; анализ и интерпретация результатов: *Исмары К.И.*, *Суприади Д.*; обзор литературы: *Суприади Д.*; подготовка проекта рукописи: *Фитриани*, *Суприади Д.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено Этическим комитетом Университета Джембера (№ 1956/UN25.8/KEPK/DL/2023); от всех участников получено письменное информированное согласие.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 10.06.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25



Научное обоснование популяционного мониторинга сообщества свободноживущих простейших природных биотопов. Часть 1. Обзор

К.Ю. Кузнецова¹, Ю.А. Рахманин², Р.И. Михайлова², В.Н. Герасимов³, В.В. Мальцев¹, С.А. Петрова¹

¹ ФГБУ «Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора» Управления делами Президента Российской Федерации, ул. Маршала Тимошенко, д. 23, г. Москва, 121359, Российская Федерация

² ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, ул. Погодинская, д. 10. стр. 1, г. Москва, 119121, Российская Федерация

³ ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора, Территория «Квартал А», д. 24, Московская обл., г.о. Серпухов, п. Оболенск, 142279, Российская Федерация

Резюме

Введение. Актуальность методического развития подсистемы санитарно-экологической протистологии в условиях высокой антропогенной нагрузки на окружающую среду связана с необходимостью мониторинга безопасности ценотических изменений природных экосистем для оценки их влияния на здоровье населения.

Цель исследования: анализ актуализированных областей современных научных исследований одноклеточных организмов природной среды и биоты человека.

Материалы и методы. Представлен литературный обзор результатов научных исследований на основе информационных порталов и платформ PubMed, Google Scholar, eLibrary, CyberLeninka, Scopus, disserCat за период 1990–2022 гг. Поиск научной темы проводился по ключевым словам: протисты, экологическая протистология, медицинская протистология, генетическое и морфологическое разнообразие одноклеточных организмов, роль простейших в природе, образцовые модели. Первичный отбор составил более 60 публикаций, отобрано для анализа 40 из первоначально выявленных 45 статей. Критерии включения – описание инфраструктурных компонентов биоты природной и внутренней организменной среды. Критерии невключения – описание механизмов взаимодействия и изменения биомедицинских процессов.

Результаты исследования. Закономерности изменения структурного сообщества водных и наземных амеб в России мало изучены. Показано, что современные представления о роли свободноживущих амеб природной и организменной биоты позволяют их использование в «образцовых моделях» для изучения различных биологических процессов. Сообщество свободноживущих амеб в зависимости от характера и увлажненности среды имеют тесную привязанность к микроусловиям обитания. Морфологическое и генетическое разнообразие новых таксонов амеб продолжает расширяться и вносит значительный вклад в развитие научно-прикладных исследований об их влиянии на микробные сообщества и поддержании экосистемного и организменного баланса.

Заключение. Обоснована необходимость активного применения в российских исследовательских проектах моделей свободноживущих простейших с учетом возрастающего интереса зарубежных ученых к их использованию в разных областях исследований, в том числе по созданию искусственной клетки.

Ключевые слова: протисты, экологическая протистология, медицинская протистология, генетическое и морфологическое разнообразие одноклеточных организмов, роль простейших в природе, образцовые модели.

Для цитирования: Кузнецова К.Ю., Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Герасимов В.Н., Мальцев В.В., Петрова С.А. Научное обоснование популяционного мониторинга сообщества свободноживущих простейших природных биотопов. Часть 1. Обзор // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 57–65. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-57-65

Scientific Substantiation of Population Monitoring of Free-Living Protozoan Community in Natural Biotopes. Communication 1: A Review

Kamalya Y. Kuznetsova,¹ Yurij A. Rakhmanin,² Rufina I. Mikhailova,² Vladimir N. Gerasimov,³ Vadim V. Maltsev,¹ Svetlana A. Petrova¹

¹ Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Administrative Directorate of the President of the Russian Federation, 23 Marshal Timoshenko Street, Moscow, 121359, Russian Federation

² Center for Strategic Planning and Management of Medical and Biological Health Risks, Bldg 1, 10 Pogodinskaya Street, Moscow, 119121, Russian Federation

³ State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, 24 “Quarter A” Territory, Obolensk Settlement, Serpukhov City District, Moscow Region, 142279, Russian Federation

Summary

Introduction: The relevance of the methodological development of the subsystem of sanitary and environmental protistology in conditions of high anthropogenic pressure on the environment is associated with the need to monitor safety of cenotic changes in natural ecosystems in order to assess their impact on public health.

Objective: To analyze up-to-date areas of modern scientific research of unicellular organisms of the natural environment and human biota.

Materials and methods: The article presents a literature review of scientific research findings published in 1990–2022 and found on PubMed, Google Scholar, eLibrary, CyberLeninka, Scopus, and disserCat information portals and platforms. The scientific topic was searched for using the following keywords: protists, environmental protistology, medical protistology, genetic and morphological diversity of unicellular organisms, role of protozoa in nature, and exemplary models. The initial selection consisted of more than 60 publications; 40 of the 45 initially identified articles were selected for analysis. Description of the infrastructural components of the biota of the natural and internal organizational environment was the inclusion criterion while that of the mechanisms of interaction and changes in biomedical processes was the exclusion one.

Results: The patterns of change in the structural community of aquatic and terrestrial amoebae in Russia have been poorly studied. Modern ideas about the role of free-living amoebae in natural and organismal biota allow their use in exemplary models for studying various biological processes. Given the type and humidity of the environment, the community of free-living amoebas is closely attached to the micro-conditions of their habitat. The morphological and genetic diversity of new amoeba taxa continues to expand and makes a significant contribution to the development of scientific and applied research on their impact on microbial communities and maintenance of ecosystem and organismal balance.

Conclusion: The necessity of active application of free-living protozoa models in Russian research projects is substantiated, taking into account the increasing interest of foreign scientists in their use in various fields of research, including in the creation of artificial cells.

Keywords: protists, environmental protistology, medical protistology, genetic and morphological diversity of unicellular organisms, the role of protozoa in nature, exemplary models.

Cite as: Kuznetsova KY, Rakhmanin YA, Mikhailova RI, Gerasimov VN, Maltsev VV, Petrova SA. Scientific substantiation of population monitoring of free-living protozoan community in natural biotopes. Communication 1: A review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(3):57–65. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-57-65

Введение. Мониторинг свободноживущих простейших является важной частью наблюдений для оценки биоразнообразия природных биотопов, раннего выявления и безопасного влияния ценотических нарушений окружающей среды на здоровье населения. Актуальность методического развития подсистемы санитарно-экологической протистологии в условиях высокой антропогенной нагрузки на окружающую среду связана с необходимостью мониторинга безопасности ценотических изменений природных экосистем для оценки их влияния на здоровье населения.

Согласно последним данным, систематизация эукариот содержит описание простейших по семействам: **саркомастигофора** (25 тыс. видов, имеют достаточно простое строение и отличаются большим разнообразием у разных видов; многие виды являются паразитами человека и животных; часть представителей – свободноживущие: обитают в морских и пресноводных водоемах, во влажной почве); **апикомплексы** (4800 видов – споровики, имеют упрощенную организацию клетки, отсутствуют зрелые стадии органоидов движения, питания, выделения; ведут исключительно паразитический образ жизни, сложный цикл сопровождается смешной хозяев); **микроспоридии** (800 видов – группа спорообразующих одноклеточных паразитов, являются облигатными внутриклеточными паразитами эукариотических организмов, относятся к грибам); **миккоспоридии** (875 видов – тканевые паразиты животных, имеющие форму плазмодия с множеством ядер, отличаются ядерным дуализмом, образуют многоклеточные споры с несколькими полярными капсулами, в каждой из которых находится свернутая спирально полярная нить; все представители – паразиты); **инфузории** (7500 видов ресничные, есть подвижные и прикрепленные, одиночные и колониальные формы, экто- и эндосимбиотические виды являются облигатными или оппортунистическими паразитами); **лабиринтулы** (35 видов, семейство преимущественно морских одноклеточных протистов, которые живут на морских травах и водорослях, ведут паразитический, комменсальный или мутуалистический образ жизни, с помощью органелл-бетросом выделяют эктоплазматическую мемрану и образуют сеть нитей, по которым клетки перемещаются и поглощают питательные

вещества); **асциетоспоровые** (30 видов, паразиты морских моллюсков, споры многоклеточные, тонкостенные с порами, без стрекательных капсул, в одной поре содержится несколько зародышей, которые проникают в тело хозяина) [1].

По мнению экспертов ВОЗ¹, к наиболее значимым видам с высоким риском передачи через воду относятся возбудители протозойных инфекций:

– *Acanthamoeba spp.* (семейство Acanthamoebidae) – свободноживущие амебы – бактериофаги, 6 патогенных видов, возбудитель кератита, грануломатозного амебного энцефалита;

– *Entamoeba histolytica* (семейство Entamoebidae) – возбудитель амебной дизентерии; разновидность – условно-патогенные виды *Entamoeba dispar*, *Entamoeba moshkovskii*;

– *Naegleria fowleri* (семейство Vahlkampfiidae) – свободноживущая амеба, возбудитель заболевания нервной системы – неглериоза;

– *Cryptosporidium parvum* (семейство Cryptosporidiidae) – внутриклеточный паразит, возбудитель диарейного заболевания;

– *Cyclospora cayetanensis* (семейство Eimeridae) – внутриклеточный паразит, возбудитель диарейного заболевания;

– *Giardia (Lamblia) intestinalis* (семейство Hexamitidae) – жгутиковый паразитический простейший, возбудитель диарейного заболевания;

– *Toxoplasma gondii* (семейство Sarcocystyidae) – внутриклеточный паразит, возбудитель токсоплазмозных окулопатии, гепатита, менингоэнцефалита, легочного токсоплазмоза, других органов;

– *Blastocystis spp.* (семейство Blastocystidae) – систематическое положение и медицинское значение определены относительно недавно, описаны 4 формы паразита, вызывающие нарушения функции кишечника, высыпания на коже, поражения суставов.

В проведенном нами анализе использованы данные о наиболее развитых областях исследований простейших, представленные в зарубежных и российских научных базах.

Экология. Свободноживущие простейшие (СЖП) являются важными компонентами микробиома водоемов и почвы в поддержании экосистемного баланса и влиянии на микробные сообщества, являются частью трофической цепи и участвуют в разложении органических веществ в природе [2].

¹ WHO. Guidelines for drinking-water quality, 4th ed. 2017. <https://whocc.mednet.ru/en/main-publications/okruzhayushchaya-sreda-i-zdorove/kachestvo-vody/3572.html>

На территории Российской Федерации общая координация работ по организации и функционированию единой системы государственного экологического мониторинга осуществляется Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, в комплексе с другими федеральными органами исполнительной власти и в соответствии с их компетенцией развивает федеральную государственную информационную систему состояния окружающей среды (п. 1 Положения)². Для оценки биотического состояния водоемов в гидробиологическом мониторинге протозойного планктона и бентоса учитывают индикативный количественный состав простейших, начиная с инфузорий³.

Изучение водных биотопов и закономерностей формирования видовой структуры в динамике смены поколений также начинается с исследований сообщества инфузорий. Наиболее распространены биотестовые системы, применяемые в построениях для оценки воздействия химических токсикантов на водную среду, а также в медицине – для подбора лекарственных препаратов [3–7].

Закономерности изменения структурного сообщества водных и наземных амеб на территории РФ мало изучены. Сообщество свободноживущих амеб (СЖА) в зависимости от характера и увлажненности среды имеют тесную привязанность к микроусловиям обитания. Морфологическое и генетическое разнообразие новых таксонов, описанных Бобровым А. в соавторстве (2022), обновило перечень амебоидных протистов от 99 до 123 таксонов раковинных амеб из 26 родов сообщества. Из них 12 видов – с полным морфологическим описанием голых амеб – были подтверждены секвенированием, из числа которых 5 относились к известным видам в парковых биотопах г. Москвы с мозаичным распределением [8, 9].

Генетическая вариабельность. СЖА обладают высокой генетической вариабельностью, позволяющей им адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды с помощью механизмов, способствующих как горизонтальному переносу генов, так и заимствованию генов от других микроорганизмов, что создает уникальные исследовательские проекты [9].

Молекулярные механизмы. Генетические исследования амеб также сосредоточены на изучении молекулярных механизмов, которые регулируют клеточные процессы: амебы используют сложные сигнальные пути для регуляции движения и фагоцитоза, внутриклеточной защиты эндосимбионтов и их транспортировки [10–13].

Исследования. СЖА служат модельными организмами для изучения различных биологических процессов благодаря своей простоте и разнообразию форм и функций. Аналитический обзор мировых

научных исследований свидетельствует о росте интереса зарубежных исследователей к использованию СЖА в таких областях науки, как клеточная биология, экология и биогеохимия, генетика и молекулярная биология, клеточная патология и биомедицинские исследования, биотехнология – биоремедиация, биомониторинг.

Биомониторинг. За последнее десятилетие остаются неоднородными надлежащее снабжение питьевой водой, водой для орошения и рекреационных целей; мониторинг факторов риска и достижения в этой области, несмотря на улучшение качества воды и водоснабжения⁴ [33–36].

Эксперты вновь акцентируют вопросы, связанные с микробным качеством и учетом не выявленных ранее и вновь возникающих опасностей микробного происхождения.

Использование амеб в качестве экологического индикатора – фрагмента информации об экосистеме, используемого для исследования её состояния и изучения влияния деятельности человека на данную экосистему позволяет оценить состояние данных экосистем.

Взаимодействие с микроорганизмами. В природных биотопах взаимоотношения амеб с бактериями, грибами и водорослями имеют сложно структурированные межвидовые связи, в том числе формируют стабильные суперпаразитические системы «паразит в паразите» [19, 20]. Описана устойчивость к амебам в симбиотических ассоциациях более 12 видов условно-патогенных бактерий, обитающих в природных биотопах, к ряду которых относятся **известные виды** бактерий – *Cryptococcus neoformans*, *Legionella spp.*, *Chlamydophila pneumoniae*, *Mycobacterium avium*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Francisella tularensis*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, вибрион, *Helicobacter*, *Campylobacter*, **новые патогены** – *Bosea spp.*, *Simkania negevensis*, *Parachlamydia acanthamoebae* и *Legionella*-подобные; **грибы** *Cryptococcus*, и *Aspergillus*, **гигантские вирусы** – мимивирусы *Amoebae*, которые продолжают использовать амеб «тренировочным полигоном» для эволюции, отбора, адаптации и усиления патогенности [21, 22].

Цель исследования: анализ актуализированных областей современных научных исследований одноклеточных организмов природной среды и биоты человека.

Материалы и методы. Представлен литературный обзор результатов научных исследований на русском и английском языках с использованием информационных порталов и платформ PubMed, Google Scholar, eLibrary, CyberLeninka, Scopus, disserCat за период 1990–2022 гг. Поиск научной темы проводился по ключевым словам: протисты, экологическая протистология, медицинская протистология,

² Постановление Правительства Российской Федерации от 14 марта 2024 г. № 300 «Об утверждении Положения о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды)».

³ Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / [В.А. Абакумов, Н.П. Бубнова, Н.И. Холикова и др.]; под ред. [и с предисл.] В.А. Абакумова. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983. 239 с.

⁴ WHO. Water and health in Europe. A joint report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe. Accessed October 10, 2024. <https://who-sandbox.squiz.cloud/ru/publications/abstracts/water-and-health-in-europe.-a-joint-report-from-the-european-environment-agency-and-the-who-regional-office-for-europe>

генетическое и морфологическое разнообразие одноклеточных организмов, роль простейших в природе, образцовые модели. Первичный отбор составил более 60 публикаций, отобрано для анализа 40 из первоначально выявленных 45 публикаций. Критерии включения – описание инфраструктурных компонентов биоты природной и внутренней организменной среды. Критерии невключения – описание механизмов взаимодействия и изменения биомедицинских процессов.

Результаты. Изучение молекулярных механизмов защиты и агрессии, эволюционно обеспечивающих стабильность биотических ассоциаций, а также биохимических аспектов их «адаптации к специальному образу жизни на всех последовательных циклах развития и раскрытия всей совокупности генетической информации» (по Т.А. Малютиной, 2008) расширяет исследовательские области относительно персистенции и резистентности патогенных бактерий к антибактериальным и другим химическим средствам терапии и профилактики [25].

Модельные системы для изучения клеточной патологии и механизмов патогенетических процессов имеют большое значение в медицине и экологии. По аналогии механизмов клеточного повреждения и иммунного ответа организма при взаимодействии патогенных видов амеб, таких как *Entamoeba histolytica*, с середины 90-х годов прошлого столетия изучалось развитие клеточных и внеклеточных механизмов иммунной защиты организма при разных инфекционных и иммунозависимых заболеваниях [15–18]. Это способствовало внедрению в медицинскую практику эффективных иммунодиагностических тестов и новых методов терапии синдрома нарушений противоинфекционной защиты.

Регуляция процессов внутриклеточной деградации консервативных белков эукариот, участвующих в модификации их функций во множестве клеточных процессов, получены на экспериментальных исследованиях взаимодействия внутриклеточного бактериального патогена – *Legionella pneumophila* и амебы [26]. Открыты новые ферменты, модифицирующие убиквитин для формирования

независимой активности протеолитических белков и высвобождения легионелл из организма амебы [27]. Подобные исследования позволили в значительной степени расширить изучение роли убиквитин-протеасомного пути распада белков в патогенезе многих неинфекционных заболеваний, например нейродегенеративных [28], рака желудка и толстой кишки [29].

Иммунологические реакции. Учитывая, что клинические проявления амебной инфекции широко варьируют от бессимптомных до тяжелых симптомов, включая дизентерию и внекишечные абсцессы, обнаружено, что они развиваются только у 20% инфицированных индивидуумов. Остаются неизученными механизмы персистенции амеб, когда паразит, уклоняясь от иммунной системы, выживает в организме хозяина, по истечении длительного времени наращивает свой патогенный потенциал и после продолжает ее атаковать.

Наиболее изученным аспектом «стратегии уклонения от иммунитета» паразитом являются раскрытие механизмов атаки иммунной системы на молекулярном уровне, включающих комплекс метаболических изменений в отношении активных форм кислорода и азота, свободнорадикальное окисление которых участвует в повреждении клеток [30–32].

Необходимость активного применения в российских исследовательских проектах моделей СЖП можно также обосновать объемом возрастающей публикационной активностью зарубежных ученых в разных областях исследований микробиоты природных экосистем и внутренней среды организма человека и в научном моделировании (рисунок).

Обсуждение. Представлены данные оценки медико-биологических, санитарно-экологических, технологических аспектов исследования и применения на практике научных данных о разнообразии простейших организмов в природе и их влиянии на организм человека.

Так, в систематизированном историческом обзоре Э. Раймоондс (2007) отслеживает развитие клеточных технологий в поиске эволюционной связи клеток человека и других многоклеточных

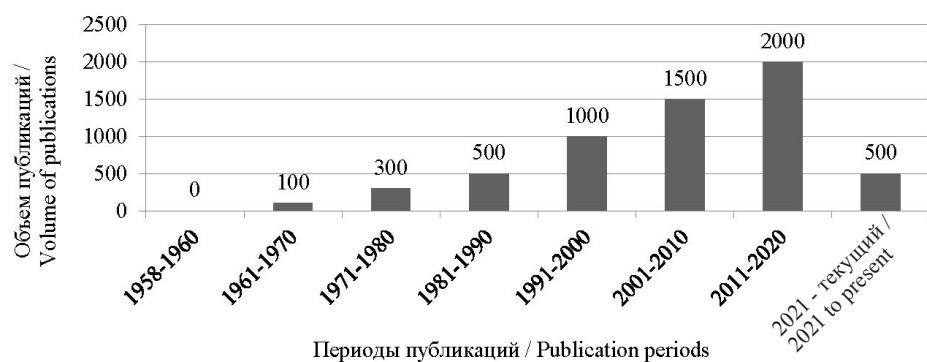


Рисунок. Объем научных публикаций о применении амеб в научном моделировании (по Wang et al.)⁵

Figure. The volume of scientific publications on the application of amoebae in scientific modeling (Wang et al.)⁵

⁵ Wang Y, Jiang L, Zhao Y, et al. Biological characteristics and pathogenicity of Acanthamoeba. *Front Microbiol.* 2023;14:1147077. doi: 10.3389/fmicb.2023.1147077.

организмов на основе «образцовой модели» – амебы [13]. Несмотря на более поздние философские переосмысления концепции протоплазматической клетки, научные открытия общего типа поведения таких высокоспециализированных клеток, как яйцеклетка, ганглиозные клетки, клетки иммунной и эпителиальной систем, полностью подтвердили представление о том, что клетки являются «самореферентными когнитивными и чувствующими образованиями, способными к сложным паттернам межклеточной коммуникации» [14].

В систематическом обзоре Прайс (Price CTD et al., 2024) показывает, что отбор и эволюция микробов внутри амебы в качестве мишени для высококонсервативных эукариотических процессов способствовали расширению ареала их хозяев до млекопитающих, вызывая различные инфекционные заболевания [23, 24]. При этом прогресс в значительной степени зависит не только от дополнительных геномных, биохимических и клеточных данных одноклеточных эукариот, но и условий ускорения их трансформации в активные формы.

И.В. Курьина и др. (2011 г.) на примере болотных вод отмечают эффективность применения ризоподного анализа для вычисления их глубины по количественным оптимумам видов амеб при помощи передаточной функции [37]. Сопоставление оптимумов, полученных разными авторами для разных территорий, показало необходимость определения видовых раковинных амеб для повышения информативности анализа экологических свойств района исследований [38]. Так, в полеэкологии на основе прогностических моделей и для мониторинга взаимосвязи между сообществом простейших и глубиной залегания грунтовых вод используются около 52 таксонов семенных амеб. Методы использования потенциала амеб для очистки загрязненных сред широко востребованы для восстановления и устойчивого развития экологических систем. Доминирующие масштабы органических соединений, поступающих в окружающую природную среду, и исследования зависимости численности амеб от уровня загрязнения нефтью при освоении нефтегазовых ресурсов в Западно-Сибирском регионе позволили выявить разные степени устойчивости и суточную динамику снижения численности наиболее устойчивого видового состава раковинных амеб. Для индикации уровней и сроков нефтезагрязнений почвы используются стандартные тест-амебы родов *Euglypha* и *Plagiopyxis* [39, 40].

Таким образом, развитие клеточных технологий с использованием модельных культур протистов как целостной экологической группы организмов основано на своеобразной и близкой к морфофункциональным особенностям реакции клеточных структур в высокоорганизованных системах высших животных и человека. В научной практике обоснованы методические приемы использования моделей простейших для экспериментальной реконструкции клеточных механизмов в норме и патологии.

Заключение. На значительном материале научных исследований показано, что закономерности изменения структурного сообщества водных и наземных

амеб в России мало изучены. Морфологическое и генетическое разнообразие новых таксонов амеб продолжает расширяться и вносит значительный вклад в развитие научно-прикладных исследований об их влиянии на микробные сообщества и поддержании экосистемного и организменного баланса. Современные представления о роли свободноживущих амеб природной и организменной биоты позволяют их использование в «образцовых моделях» для изучения различных биологических процессов. Сообщество свободноживущих амеб в зависимости от характера и увлажненности среды используется в качестве биологических индикаторов степени благоприятных условий окружающей среды, а также изменений микробиоты кишечника при определенных процессах, сопровождающих инвазию и стойкое паразитирование в организме человека.

Необходимо активное применение в российских исследовательских проектах моделей свободноживущих простейших с учетом возрастающего интереса к их использованию в разных областях исследований, в том числе по созданию искусственной клетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adl SM, Bass D, Lane CE, et al. Revisions to the classification, nomenclature, and diversity of eukaryotes. *J Eukaryot Microbiol.* 2019;66(1):4-119. doi: 10.1111/jeu.12691
2. Бурковский И.В. Экология свободноживущих инфузорий М.: Изд-во МГУ, 1984. 208 с.
3. Бурковский И.В., Мазей Ю.А., Есаулов А.С. Влияние времени существования биотопа на формирование видовой структуры сообщества морских псаммофильных инфузорий // Биология моря. 2011. Т. 37(3). С. 168–175.
4. Потапская Н.В., Лухнев А.Г., Оболкина Л.А. Первые сведения по количественной динамике инфузорий разных биотопов заплесковой зоны в бухте Большие Коты (Южный Байкал) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2012. Т. 5(3). С. 103–110.
5. Вишневецкий В.Ю., Ледяева В.С. Принципы построения биотестовой системы // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 9(122). С. 12–17.
6. Тушмалова Н.А., Лебедева Н.Е., Иголкина Ю.В., Сарапульцева Е.И. Инфузория спиростома как индикатор загрязнения водной среды // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2014;(2):27-30. doi: 10.3103/S0096392514020138
7. Sallinger E, Robeson MS, Haselkorn TS. Characterization of the bacterial microbiomes of social amoebae and exploration of the roles of host and environment on microbiome composition. *Environ Microbiol.* 2021;23(1):126–142. doi: 10.1111/1462-2920.15279
8. Bobrov A, Mazei Y. *Frenopryxis stierlitzi* gen. nov., sp. nov. – new testate amoeba (Amoebozoa: Arcellinida) from the urban parks with notes on the systematics of the family Centropyxidae Jung, 1942. *Zootaxa.* 2020;4885(3):zootaxa.4885.3.4. doi: 10.11646/zootaxa.4885.3.4
9. Bobrov A, Mazei Y. *Meisterfeldia bitsevi* – new testate amoeba of the family Cryptodifflugiidae Jung, 1942 (Amoebozoa: Arcellinida) from the tree hollow in the urban park (Moscow, Russia) with a key to species of

- the genus Meisterfeldia. *Zootaxa*. 2021;4908(4):zootaxa.4908.4.11. doi: 10.11646/zootaxa.4908.4.11
10. Jeon KW. The large, free-living amoebae: Wonderful cells for biological studies. *J Eukaryot Microbiol*. 1995;42(1):1-7. doi: 10.1111/j.1550-7408.1995.tb01532.x
 11. Wilson IW, Weedall GD, Hall N. Host-Parasite interactions in *Entamoeba histolytica* and *Entamoeba dispar*: What have we learned from their genomes? *Parasite Immunol*. 2012;34(2-3):90-99. doi: 10.1111/j.1365-3024.2011.01325.x
 12. Шендеров Б.А., Кузнецова К.Ю., Сергиев В.П. Внеклеточные везикулы (экзосомы) и паразитарные болезни: типовые технологии изоляции и исследования. Часть 1. // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2020; Т. 9(4). С. 110–115. doi: 10.33029/2305-3496-2020-9-4-110-115
 13. Шендеров Б.А., Кузнецова К.Ю., Сергиев В.П. Внеклеточные везикулы (экзосомы) и паразитарные болезни: типовые технологии изоляции и исследования. Часть 2. // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2021. Т. 10(1). С. 66-74. doi: 10.33029/2305-3496-2021-10-1-66-74
 14. Потехин А.А., Яковлева Ю.А., Балкин А.С., Пенькова Е.В., Чекрыгин С.А., Мелехин М.С., Корсун Д.А., Лебедева Н.А. Адаптации и коеvolution партнеров в системах внутриядерных симбиозов между инфузориями и бактериями Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания: тезисы докладов Второй Всероссийской научной конференции с международным участием. Иркутск, Байкал, 28 февраля – 6 марта 2022 г. Иркутск: Издательство ИГУ, Тезисы докладов Второй Всероссийской научной конференции с международным участием «Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания», С. 165-166. (год публикации – 2022)
 15. Bradley DJ. Stability in host-parasite systems. In: Usher MB, Williamson MH, eds. *Ecological Stability*. Boston, MA: Springer; 1974:71-88. doi: 10.1007/978-1-4899-6938-5_5
 16. Сонин М.Д. Роль паразитов в биоценозах. Экологическое и таксономическое разнообразие паразитов. Труды Института паразитологии РАН. 1997;41:145-157.
 17. Bartram J, Thyssen N, Gowers A, Pond K, Lack T, eds. *Water and Health in Europe: A Joint Report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe*. WHO Reg Publ Eur Ser No. 93. <https://iris.who.int/handle/10665/272953>
 18. Nakada-Tsukui K, Nozaki T. Immune response of amebiasis and immune evasion by *Entamoeba histolytica*. *Front Immunol*. 2016;7:175. doi: 10.3389/fimmu.2016.00175
 19. De la Fuente IM, Bringas C, Malaina I, et al. Evidence of conditioned behavior in amoebae. *Nat Commun*. 2019;10(1):3690. doi: 10.1038/s41467-019-11677-w
 20. Shrimal S, Bhattacharya S, Bhattacharya A. Serum-dependent selective expression of EhtMKB1-9, a member of *Entamoeba histolytica* B1 family of transmembrane kinases. *PLoS Pathog*. 2010;6(6):e1000929. doi: 10.1371/journal.ppat.1000929
 21. Greub G, Raoult D. Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clin Microbiol Rev*. 2004;17(2):413-433. doi: 10.1128/CMR.17.2.413-433.2004
 22. Малютина Т.А. Взаимоотношения в системе паразит – хозяин: биохимические и физиологические аспекты адаптации (ретроспективный обзор) // Российский паразитологический журнал. 2008. № 1. С. 24–40.
 23. Reynolds A. Amoebae as exemplary cells: The protean nature of an elementary organism. *J Hist Biol*. 2008;41(2):307-337. doi: 10.1007/s10739-007-9142-8
 24. Choi EY, Jeon KW. A spectrin-like protein present on membranes of *Amoeba proteus* as studied with monoclonal antibodies. *Exp Cell Res*. 1989;185(1):154-165. doi: 10.1016/0014-4827(89)90045-1
 25. Pushkareva VI, Podlipaeva JI, Goodkov AV, Ermolaeva SA. Experimental *Listeria* – *Tetrahymena* – *Amoeba* food chain functioning depends on bacterial virulence traits. *BMC Ecol*. 2019;19(1):47. doi: 10.1186/s12898-019-0265-5
 26. Baluška F, Miller WB Jr, Reber AS. Sentient cells as basic units of tissues, organs and organismal physiology. *J Physiol*. 2024;602(11):2491-2501. doi: 10.1113/JP284419
 27. Park M, Yun ST, Hwang SY, Chun CI, Ahn TI. The dps gene of symbiotic "Candidatus Legionella jeonii" in *Amoeba proteus* responds to hydrogen peroxide and phagocytosis. *J Bacteriol*. 2006;188(21):7572-7580. doi: 10.1128/JB.00576-06
 28. Sim S, Yong TS, Park SJ, et al. NADPH oxidase-derived reactive oxygen species-mediated activation of ERK1/2 is required for apoptosis of human neutrophils induced by *Entamoeba histolytica*. *J Immunol*. 2005;174(7):4279-4288. doi: 10.4049/jimmunol.174.7.4279
 29. Шелковникова Т.А., Куликова А.А., Цветков Ф.О., Peters O., Бачурин С.О., Бухман В.Л., Нинкина Н.Н. Протеинопатии – формы нейродегенеративных заболеваний, в основе которых лежит патологическая агрегация белков // Молекулярная биология. 2012. Т. 46. № 3. С. 402–415.
 30. Иванова Э.В. Внутриклеточные протеолитические системы в патогенезе и прогнозе рака желудка и толстой кишки: диссертация кандидата медицинских наук: 14.01.12; Научно-исследовательский институт онкологии СО РАМН – Учреждение Российской академии медицинских наук. Томск, 2015. 156 с.
 31. Davis PH, Zhang X, Guo J, Townsend RR, Stanley SL Jr. Comparative proteomic analysis of two *Entamoeba histolytica* strains with different virulence phenotypes identifies peroxiredoxin as an important component of amoebic virulence. *Mol Microbiol*. 2006;61(6):1523-1532. doi: 10.1111/j.1365-2958.2006.05344.x
 32. Палковский О.Л. Роль оксида азота и активных форм кислорода в метаболизме лекарственных средств при инфекционно-воспалительных процессах // Проблемы здоровья и экологии. 2007. № 2. С. 29–35. doi: 10.51523/2708-6011.2007-4-2-5
 33. Соловьева А.Г., Кузнецова В.Л., Перетягин С.П., Диденко Н.В., Дударь А.И. Роль оксида азота в процессах свободнорадикального окисления // Вестник российской военно-медицинской академии. 2016. № 1. С. 228–233.
 34. Teixeira JE, Heron BT, Huston CD. C1q- and collectin-dependent phagocytosis of apoptotic host cells by the intestinal protozoan *Entamoeba histolytica*. *J Infect Dis*. 2008;198(7):1062-1070. doi: 10.1086/591628
 35. Price CTD, Hanford HE, Al-Quadan T, et al. Amoebae as training grounds for microbial pathogens. *mBio*. 2024;15(8):e0082724. doi: 10.1128/mbio.00827-24
 36. Price CTD, Abu Kwaik Y. Evolution and adaptation of *Legionella pneumophila* to manipulate the ubiquitination machinery of its amoebae and mammalian hosts. *Biopolymers*. 2021;11(1):112. doi: 10.3390/biom11010112
 37. Курина И.В. Экология раковинных амеб олиготрофных болот южной тайги Западной Сибири как индикаторов

- водного режима // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 368-375.
38. Mitchell EAD, Charman DJ, Warner BG. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: Past, present and future. *Biodiv Conserv.* 2008;17:2115-2137. doi: 10.1007/s10531-007-9221-3
39. Lamentowicz M, Mitchell EAD. The ecology of testate amoebae (Protists) in sphagnum in North-western Poland in relation to peatland ecology. *Microb Ecol.* 2005;50(1):48-63. doi: 10.1007/s00248-004-0105-8
40. Карташев А.Г., Смолина Т.В. Влияние нефтяного загрязнения на популяцию раковинных амеб // Известия Томского политехнического университета. 2006. № 309(8). С. 185-187.

REFERENCES

1. Adl SM, Bass D, Lane CE, et al. Revisions to the classification, nomenclature, and diversity of eukaryotes. *J Eukaryot Microbiol.* 2019;66(1):4-119. doi: 10.1111/jeu.12691
2. Burkovskii IV. [Ecology of Free-Living Infusoria.] Moscow: MSU Publ.; 1984. (In Russ.)
3. Burkovskii IV, Esaulov AS, Mazei YA. Influence of the period of existence of a biotope on the formation of the species structure of a marine psammophilous ciliate community. *Russian Journal of Marine Biology.* 2011;37(3):177-184. doi: 10.1134/S1063074011030035
4. Potapskaya NV, Lukhnev AG, Obolkina LA. First data on quantitative dynamics of ciliates from different biotopes of the splash zone of Bolshye Koty Bay (Southern Baikal). *Izvestiya Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Series: Biology. Ecology.* 2012;5(3):103-110. (In Russ.)
5. Vishnevetsky VYu, Bulavkova NG, Ledyanova VS. Principles of construction of biotest system. *Izvestiya YuFU. Technical Sciences.* 2011;(9(122)):12-17. (In Russ.)
6. Tuchmalova NA, Lebedeva NE, Igolkina YV, Sarapultseva EI. Spirostomum ambiguum as bioindicator of aquatic environment pollution. *Moscow University Biological Sciences Bulletin.* 2014;69(2):67-70. doi: 10.3103/S0096392514020138
7. Sallinger E, Robeson MS, Haselkorn TS. Characterization of the bacterial microbiomes of social amoebae and exploration of the roles of host and environment on microbiome composition. *Environ Microbiol.* 2021;23(1):126-142. doi: 10.1111/1462-2920.15279
8. Bobrov A, Mazei Y. Frenopyxis stierlitzi gen. nov., sp. nov. – new testate amoeba (Amoebozoa: Arcellinida) from the urban parks with notes on the systematics of the family Centropyxidae Jung, 1942. *Zootaxa.* 2020;4885(3):zootaxa.4885.3.4. doi: 10.11646/zootaxa.4885.3.4
9. Bobrov A, Mazei Y. Meisterfeldia bitsevi – new testate amoeba of the family Cryptodifflugiidae Jung, 1942 (Amoebozoa: Arcellinida) from the tree hollow in the urban park (Moscow, Russia) with a key to species of the genus Meisterfeldia. *Zootaxa.* 2021;4908(4):zootaxa.4908.4.11. doi: 10.11646/zootaxa.4908.4.11
10. Jeon KW. The large, free-living amoebae: Wonderful cells for biological studies. *J Eukaryot Microbiol.* 1995;42(1):1-7. doi: 10.1111/j.1550-7408.1995.tb01532.x
11. Wilson IW, Weedall GD, Hall N. Host-Parasite interactions in Entamoeba histolytica and Entamoeba dispar: What have we learned from their genomes? *Parasite Immunol.* 2012;34(2-3):90-99. doi: 10.1111/j.1365-3024.2011.01325.x
12. Shenderov BA, Kuznetsova KYu, Sergiyev VP. Extracellular vesicles (exosomes) and parasitic infections:
- Typical isolation and research technologies. Part 1. *Infektsionnye Bolezni: Novosti, Mneniya, Obuchenie.* 2020;9(4):110-115. (In Russ.) doi: 10.33029/2305-3496-2020-9-4-110-115
13. Shenderov BA, Kuznetsova KYu, Sergiyev VP. Extracellular vesicles (exosomes) and parasitic infections. Part 2. The role of exosomal microvesicular structures in parasitic diseases. *Infektsionnye Bolezni: Novosti, Mneniya, Obuchenie.* 2021;10(1):66-74. (In Russ.) doi: 10.33029/2305-3496-2021-10-1-66-74
14. Potekhin AA, Yakovleva YA, Balkin AS, et al. [Adaptations and coevolution of partners in the systems of intranuclear symbioses between infusoria and bacteria.] In: *Mechanisms of Adaptation of Microorganisms to Different Environmental Conditions: Proceedings of the Second All-Russian Scientific Conference with international participation, Irkutsk, February 28 – March 6, 2022.* Irkutsk: Irkutsk State University; 2022:165-166. (In Russ.)
15. Bradley DJ. Stability in host-parasite systems. In: Usher MB, Williamson MH, eds. *Ecological Stability.* Boston, MA: Springer; 1974:71-88. doi: 10.1007/978-1-4899-6938-5_5
16. Sonin MD. Role of parasites in biocenoses. Ecological and taxonomic diversity of parasites. *Proc. Institute of Parasitology, Russian Academy of Sciences.* 1997;41:145-157. (In Russ.)
17. Bartram J, Thyssen N, Gowers A, Pond K, Lack T, eds. *Water and Health in Europe: A Joint Report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe.* WHO Reg Publ Eur Ser No. 93. <https://iris.who.int/handle/10665/272953>
18. Nakada-Tsukui K, Nozaki T. Immune response of amoebiasis and immune evasion by Entamoeba histolytica. *Front Immunol.* 2016;7:175. doi: 10.3389/fimmu.2016.00175
19. De la Fuente IM, Bringas C, Malaina I, et al. Evidence of conditioned behavior in amoebae. *Nat Commun.* 2019;10(1):3690. doi: 10.1038/s41467-019-11677-w
20. Shrimal S, Bhattacharya S, Bhattacharya A. Serum-dependent selective expression of EhTMKB1-9, a member of Entamoeba histolytica B1 family of transmembrane kinases. *PLoS Pathog.* 2010;6(6):e1000929. doi: 10.1371/journal.ppat.1000929
21. Greub G, Raoult D. Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clin Microbiol Rev.* 2004;17(2):413-433. doi: 10.1128/CMR.17.2.413-433.2004
22. Malyutina TA. [Interrelations in the parasite – host system: Biochemical and physiological aspects of adaptation (retrospective review).] *Rossiyskiy Parazitologicheskiy Zhurnal.* 2008;(1):24-40. (In Russ.)
23. Reynolds A. Amoebae as exemplary cells: The protean nature of an elementary organism. *J Hist Biol.* 2008;41(2):307-337. doi: 10.1007/s10739-007-9142-8
24. Choi EY, Jeon KW. A spectrin-like protein present on membranes of Amoeba proteus as studied with monoclonal antibodies. *Exp Cell Res.* 1989;185(1):154-165. doi: 10.1016/0014-4827(89)90045-1
25. Pushkareva VI, Podlipaeva JI, Goodkov AV, Ermolaeva SA. Experimental Listeria – Tetrahymena – Amoeba food chain functioning depends on bacterial virulence traits. *BMC Ecol.* 2019;19(1):47. doi: 10.1186/s12898-019-0265-5
26. Baluška F, Miller WB Jr, Reber AS. Sentient cells as basic units of tissues, organs and organismal physiology. *J Physiol.* 2024;602(11):2491-2501. doi: 10.1113/JP284419
27. Park M, Yun ST, Hwang SY, Chun CI, Ahn TI. The dps gene of symbiotic “*Candidatus Legionella jeonii*” in

- Amoeba proteus responds to hydrogen peroxide and phagocytosis. *J Bacteriol.* 2006;188(21):7572-7580. doi: 10.1128/JB.00576-06
28. Sim S, Yong TS, Park SJ, et al. NADPH oxidase-derived reactive oxygen species-mediated activation of ERK1/2 is required for apoptosis of human neutrophils induced by *Entamoeba histolytica*. *J Immunol.* 2005;174(7):4279-4288. doi: 10.4049/jimmunol.174.7.4279
29. Shelkovnikova TA, Kulikova AA, Tsvetkov FO, et al. Proteinopathies – forms of neurodegenerative disorders with protein aggregation-based pathology. *Mol Biol (Mosk).* 2012;46(3):402-415. (In Russ.)
30. Ivanova EV. [Intracellular proteolytic systems in the pathogenesis and prognosis of gastric and colorectal cancer.] PhD thesis. Tomsk: Tomsk Research Institute of Oncology; 2015. (In Russ.)
31. Davis PH, Zhang X, Guo J, Townsend RR, Stanley SL Jr. Comparative proteomic analysis of two *Entamoeba histolytica* strains with different virulence phenotypes identifies peroxiredoxin as an important component of amoebic virulence. *Mol Microbiol.* 2006;61(6):1523-1532. doi: 10.1111/j.1365-2958.2006.05344.x
32. Palkovsky OL. Role of the oxides of the nitrogen and active forms of the oxygen in metabolism of the medicinal facilities under infectious-inflammatory process. *Problemy Zdorov'ya i Ekologii.* 2007;(2(12)):29-35. (In Russ.)
33. Solovieva AG, Kuznetsova VL, Peretyagin SP, Didenko NV, Dudar AI. Role of nitric oxide in the processes of free radical oxidation. *Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii.* 2016;(1(53)):228-233. (In Russ.)
34. Teixeira JE, Heron BT, Huston CD. C1q- and collectin-dependent phagocytosis of apoptotic host cells by the intestinal protozoan *Entamoeba histolytica*. *J Infect Dis.* 2008;198(7):1062-1070. doi: 10.1086/591628
35. Price CTD, Hanford HE, Al-Quadan T, et al. Amoebae as training grounds for microbial pathogens. *mBio.* 2024;15(8):e0082724. doi: 10.1128/mbio.00827-24
36. Price CTD, Abu Kwaik Y. Evolution and adaptation of *Legionella pneumophila* to manipulate the ubiquitination machinery of its amoebae and mammalian hosts. *Biomolecules.* 2021;11(1):112. doi: 10.3390/biom11010112
37. Kurina IV. Ecology of testate amoebae as hydrological regime indicators in oligotrophic peatlands in the southern taiga of Western Siberia. *Izvestiya Penzenskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta im. V.G. Belinskogo.* 2011;(25):368-375. (In Russ.)
38. Mitchell EAD, Charman DJ, Warner BG. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: Past, present and future. *Biodiv Conserv.* 2008;17:2115-2137. doi: 10.1007/s10531-007-9221-3
39. Lamentowicz M, Mitchell EAD. The ecology of testate amoebae (Protists) in sphagnum in North-western Poland in relation to peatland ecology. *Microb Ecol.* 2005;50(1):48-63. doi: 10.1007/s00248-004-0105-8
40. Kartashev AG, Smolina TV. Influence of oil pollution on population of shell testate amoebae. *Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta.* 2006;309(8):185-187. (In Russ.)

Сведения об авторах:

✉ Кузнецова Камалия Юнис кызы – член-корреспондент РАН, д.м.н., врач-паразитолог ФГБУ «Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора» Управления делами Президента Российской Федерации; e-mail: info@cgsenidprf.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2176-7852>.

Рахманин Юрий Анатольевич – академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства; e-mail: info@cspfmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>.

Михайлова Руфина Иринарховна – д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства; e-mail: info@cspfmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9131>.

Герасимов Владимир Николаевич – д.м.н., главный научный сотрудник, заведующий отделом дезинфектологии ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора; e-mail: info@obolensk.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0473-7785>.

Мальцев Вадим Викторович – главный врач ФГБУ «Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора» Управления делами Президента Российской Федерации; e-mail: info@cgsenidprf.ru.

Петрова Светлана Алексеевна – заведующая санитарно-бактериологической лабораторией ФГБУ «Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора» Управления делами Президента Российской Федерации; e-mail: info@cgsenidprf.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3890-8484>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн, написание текста: Кузнецова К.Ю., Рахманин Ю.А.; сбор данных: Михайлова Р.И.; обзор научной и нормативно-правовых материалов: Герасимов В.Н., Мальцев В.В.; подготовка текста рукописи: Петрова С.А. Все соавторы – утверждение окончательного варианта рукописи, ответственность за целостность всех частей рукописи

Соблюдение этических стандартов: исследования одобрены решением Локального этического комитета (протокол ФГБУ «ЦСП» ФМБА России № 3 от 2013 г.).

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 23.12.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

✉ Kamalya Y. **Kuznetsova**, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dr. Sci. (Med.), parasitologist, Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Administrative Directorate of the President of the Russian Federation; e-mail: info@cgse nudprf.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2176-7852>.

Yuriy A. **Rakhmanin**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist, Chief Researcher, Center for Strategic Planning and Management of Medical and Biological Health Risks; e-mail: info@cspfmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>.

Rufina I. **Mikhailova**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Researcher, Center for Strategic Planning and Management of Medical and Biological Health Risks; e-mail: info@cspfmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9131>.

Vladimir N. **Gerasimov**, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Head of the Department of Disinfectology, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology; e-mail: info@obolensk.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0473-7785>.

Vadim V. **Maltsev**, Chief Medical Officer, Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Administrative Directorate of the President of the Russian Federation; e-mail: info@cgse nudprf.ru.

Svetlana A. **Petrova**, Head of the Sanitary and Bacteriological Laboratory, Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Administrative Directorate of the President of the Russian Federation; e-mail: info@cgse nudprf.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3890-8484>.

Author contributions: concept and design: *Kuznetsova K.Y.*; writing of the text: *Kuznetsova K.Y., Rakhmanin Yu.A.*; data collection: *Mikhailova R.I.*; review of scientific and regulatory materials: *Gerasimov V.N., Maltsev V.V.*; preparation of the text of the manuscript: *Petrova S.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Center for Strategic Planning and Management of Medical and Biological Health Risks (protocol No. 3 of 2013).

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: December 23, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025

Условия возможного расширения ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита (на примере Магаданской области и Норвегии)

М.Б. Сироткин

ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, ул. Гамалеи, д. 18, г. Москва, 123098, Российская Федерация

Резюме

Введение. Климатические условия обуславливают распространение основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита в Евразии.

Цель исследования: оценить условия возможного изменения границ ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита на примерах Магаданской области и западного побережья Норвегии.

Материалы и методы. Возможность формирования популяций основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов (клещевого энцефалита) обусловлена календарной датой встречи особей с прокормителем, от чего в конечном счете зависит, успевают ли яйцекладки и напитавшиеся клещи получить необходимое количество тепла для завершения развития. В этом контексте было предпринято аналитико-теоретическое исследование возможности появления независимых популяций переносчиков в анализируемых регионах. Анализ проводился путем сопоставления в программе Word 10 различных подекадных вариантов временных рамок прокормления клещей и показателей теплообеспеченности поверхности почвенного покрова (позволяющих или не позволяющих набрать термальные константы) в теплый период, когда среднемесячная температура не опускается ниже порогового значения для развития этих фаз (+10 °C).

Результаты. В настоящее время появление независимых популяций таежного клеща в Магаданской области маловероятно ввиду невозможности получения значения термальных констант для завершения эмбриогенеза в определенный временной отрезок. Возникновение независимых популяций лесного клеща на западном побережье Норвегии обусловлено возможностью набора термальных констант развития перезимовавшими ранее яйцекладками в необходимый отрезок времени.

Заключение. Исходя из значений термальных констант развития основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита, представляется возможным предложить научно обоснованный прогноз динамики их ареала в северном направлении в связи с предполагаемыми климатическими изменениями.

Ключевые слова: природные очаги, иксодовые клещевые боррелиозы, клещевой энцефалит, иксодовые клещи, метаморфоз

Для цитирования: Сироткин М.Б. Условия возможного расширения ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита (на примере Магаданской области и Норвегии) // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 66–72. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-66-72

Conditions for the Potential Northward Expansion of Ranges of the Main Vectors of Lyme Disease and Tick-Borne Encephalitis (Based on the Example of the Magadan Region and Norway)

Mikhail B. Sirokin

National Research Center for Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya, 18 Gamaleya Street, Moscow, 123098, Russian Federation

Summary

Introduction: Climatic conditions determine the spread of the main vectors of ixodid tick-borne borreliosis and tick-borne encephalitis in Eurasia.

Objective: To assess the conditions of possible changes in the boundaries of the ranges of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis based on the examples of the Magadan Region and the west coast of Norway.

Materials and methods: Feasibility of forming populations of the main vectors of ixodid tick-borne borreliosis (tick-borne encephalitis) is determined by the calendar date of the meeting of individuals with the host, which ultimately determines whether the egg-laying and nourished ticks manage to get the necessary amount of heat to complete development. In this context, an analytical and theoretical study was undertaken to establish the potential of emergence of independent vector populations in two regions. The analysis was carried out in Microsoft Word 10 by comparing different ten-day variants of the tick feeding time frames and indicators of the soil surface heat supply (allowing or not allowing thermal constant gains) during the warm period, when the average monthly temperature does not fall below the threshold value for the development of these phases (+10 °C).

Results: Currently, the emergence of independent populations of the taiga tick in the Magadan Region is unlikely due to the impossibility of obtaining required values of thermal constants for the completion of embryogenesis in a certain time span. The emergence of independent populations of forest mites on the west coast of Norway is related to the possibility of gaining thermal constants of development by overwintering ovipositors in the required period of time.

Conclusion: Given the values of the thermal constants of development of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis, it seems possible to propose a science-based forecast of the northward expansion of their range due to expected climate change.

Keywords: natural foci, Lyme borreliosis, tick-borne encephalitis, ixodid ticks, metamorphosis.

Cite as: Sirokin MB. Conditions for the potential northward expansion of ranges of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis (based on the example of the Magadan Region and Norway). Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya. 2025;33(3):66–72. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-66-72

Введение. Во внутропической части Евразии основное значение в качестве переносчиков возбудителей наиболее распространенных облигатно-трансмиссивных инфекций человека – иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ) и клещевого энцефалита (КЭ) – имеют близкие виды иксодовых клещей: таежный (*Ixodes persulcatus* Sch. 1930) и европейский лесной (*I. ricinus* L. 1755). Функционирование паразитарных систем данных заболеваний основано на вертикальной и горизонтальной передаче возбудителей по ходу их сложных многолетних циклов развития (имаго – яйцо – личинка – нимфа – имаго) [1–4]. Общая продолжительность развития новой генерации в зависимости от климатогеографических условий, в которых существуют популяции переносчиков, варьирует от 3 до 6 лет. Она определяется возможностями перерывов в развитии (диапаузами) при переходе из одной фазы в следующую. Морфогенетическая диапауза, обусловленная короткодневным световым режимом, приводит к задержке перелинивания сидячих личинок и нимф. Для *I. ricinus*, в отличие от таежного клеща, возможна зимовка напитавшихся самок и отложенных яиц. Поведенческая диапауза проявляется в задержке активации перелинявших имаго и, возможно, нимф [1–7].

В настоящее время особое внимание уделяется возможности расширения современной области распространения основных переносчиков ИКБ и КЭ с учетом глобального изменения климата. Недостаточная разработка данной проблемы, имеющая важное значение для практического здравоохранения, приводит к появлению большого числа неподтвержденных прогнозов динамики их ареалов [8–14]. В модели с различными алгоритмами включают целый комплекс (до двух десятков) биоклиматических параметров: максимальная температура самого теплого месяца, годовое количество осадков, осадки самого сухого квартала, температура / излучательная способность дневной поверхности земли, ночная температура поверхности земли / излучательная способность, дефицит водяного пара, вегетационный индекс и др. [5, 10, 15]. Оценка вероятности распространения *I. persulcatus* и *I. ricinus* на исследуемой территории дается на основе бинарных моделей распространения (входит / не входит в климатический ареал).

Проведенный нами анализ выявил, что резистентность активировавшихся клещей рассматриваемых видов к колебаниям гигротермических показателей воздушной среды существенно не влияет на распространение переносчиков [14]. Таким образом, общий недостаток опубликованных моделей связан с отсутствием включения в них фактора, очевидно, в первую очередь определяющего закономерности распространения основных переносчиков ИКБ (КЭ) – получение видовой термальной константы развития (суммы тепла) для завершения овогенеза, эмбриогенеза, метаморфозов напитавшихся личинок и нимф в определенные в каждом конкретном регионе отрезки теплого сезона [7, 14]. Игнорирование этого важнейшего положения во многом нивелирует достоверность имеющихся прогнозов динамики ареалов *I. persulcatus* и *I. ricinus* (особенно на их

северных границах) и обуславливает необходимость более обстоятельного рассмотрения данной проблемы на конкретных примерах с учетом видовой потребности переносчиков в тепле. Оригинальность выполненного исследования заключается в том, что впервые была проанализирована возможность появления независимых популяций таежного клеща в Магаданской области, которая считается не эндемичной по ИКБ / КЭ, но где отмечаются регулярные случаи нападения этого вида переносчика на человека [16, 17]. Также нами были установлены причины недавнего значительного расширения области обитания лесного клеща на западном побережье Норвегии [18, 19].

Цель исследования – на примере климатически резко отличающихся условий существования основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита – клещей *Ixodes persulcatus* (Магаданская область) и *Ixodes ricinus* (западное побережье Норвегии) – продемонстрировать, что возникновение их независимых популяций и расширение ареалов определяются возможностью получения видовой термальной константы, необходимой для метаморфоза последовательных фаз цикла развития.

Материалы и методы. Работа имеет аналитико-теоретический характер. Настоящее исследование основано на анализе условий появления независимых популяций *I. persulcatus* и *I. ricinus* в отобранных нами регионах (Магаданская область, западное побережье Норвегии). Основной принятый в данной публикации критерий, определяющий или ограничивающий расширение ареалов основных переносчиков ИКБ (КЭ) – возможность получения необходимых значений термальных констант развития отложенными яйцекладками, прокормившимися личинками и нимфами в определенный временной отрезок, обусловленный адаптивными механизмами их жизненных циклов. В конечном счете формирование популяций переносчиков обусловлено календарной датой встречи особей разных фаз с прокормителем, от чего зависит, успевают ли яйцекладки и напитавшиеся клещи получить необходимое количество тепла для завершения развития. Прогноз давался исходя из сопоставления в программе Word 10 различных подекадных вариантов временных рамок прокормления клещей и показателей теплообеспеченности поверхности почвенного покрова в теплый период [18–20], когда среднемесячная температура не опускается ниже порогового значения для развития этих фаз (+10 °C).

Методика расчета термальных констант развития переносчиков была предложена нами в соответствующих публикациях [7, 21]. Для *I. persulcatus* примерные значения термальных констант составляют: овогенеза – 380 °C, эмбриогенеза и развития напитавшихся личинок – 460 °C, метаморфоза сидячих нимф – 805 °C. Для *I. ricinus* термальные константы имеют следующее выражение: овогенеза – 460 °C, эмбриогенеза – 575 °C, развития напитавшихся личинок – 700 °C, метаморфоза сидячих нимф – 805 °C.

Результаты. Согласно представленному анализу (табл. 1) в Магаданской области, даже если

занесенные самки *I. persulcatus* покинут хозяина с начала мая по середину июня, развитие отложенных яиц возможно лишь в период с начала июля по середину августа. В результате этого выплодившиеся в конце лета голодные личинки уйдут в диапаузу, которую они в неблагоприятных температурных условиях по большей части не переживают. Потомство взрослых напитавшихся клещей, занесенных и отпавших в более поздние сроки, не успевает набрать термальные константы овогенеза и эмбриогенеза, очевидно, также погибает. Таким образом, занос сътых имаго в данный регион не может сам по себе привести к расширению ареала таежного клеща. Занесенные личинки, напитавшиеся в мае – июле, имеют возможность перелинить в период с мая по конец августа. Появившиеся из них голодные нимфы могут напитаться на местных прокормителях и осуществлять метаморфоз с начала июня по середину августа. Это касается и нимф, занесенных в Магаданскую область с мая по июнь. При насыщении в более поздний период клещи этой стадии не получат необходимого ко-

личество тепла для метаморфоза в том же сезоне и будут диапаузировать. Из-за высокого значения термальной константы нимфы могут превратиться в имаго только в августе, а голодные взрослые особи обречены на зимовку и смогут накормиться только в начале следующего года.

Итак, исходя из возможностей получения термальных констант развития, существование независимых популяций таежного клеща в Магаданской области в настоящее время маловероятно. Недостаток тепла, необходимого для завершения овогенеза и эмбриогенеза, продолжающегося, как отмечено выше, в этом регионе до середины августа, по всей видимости, обрекает на гибель вышедших из яиц голодных личинок.

Причины недавнего расширения ареала *I. ricinus* на западном побережье Норвегии проанализированы исходя из приведенных показателей среднемесячной температуры поверхности почв в теплый сезон и потребностей переносчика в тепле. Согласно представленным данным (табл. 2), отложенные яйцекладки могут завершить развитие

Таблица 1. Возможные сроки развития разных фаз *I. persulcatus* в период со среднемесячной температурой поверхности почв $\geq 10^{\circ}\text{C}$ в Магаданской области (59°.34' с.ш. – 150°.48' в.д.)

Table 1. Possible timeframes of development of different phases of *I. persulcatus* in the period with average monthly soil surface temperatures $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in the Magadan Region (59°.34'N 150°.48'E)

Возможные сроки эмбриогенеза / Possible dates of embryogenesis	Дата отпадения от хозяев / Date of detachment from host	Дата начала развития / число дней развития при данной температуре в Магаданской области (Магадан) / Development start date / days of development at the given temperature in the Magadan Region (Magadan)		
		Июнь / June +11*	Июль / July +15	Август / August +14
1–15 мая / May			4.07/27**	/5
16–31 мая / May			4.07/27	/5
1–15 июня / June			10.07/21	/11
16–30 июня / June			18.07/13	/19
1–15 июля / July				
16–31 июля / July				
1–15 августа / August				
16–31 августа / August				
Возможные сроки развития личинок / Possible dates of larval development	1–15 мая / May	1.06/30	/9	
	16–31 мая / May	1.06/30	/9	
	1–15 июня / June	10.06/20	/18	
	16–30 июня / June	20.06/10	/24	
	1–15 июля / July		10.07/21	/12
	16–31 июля / July		20.07/11	/23
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития нимф / Possible dates of nymph development	1–15 мая / May	1.06/30	/31	/1
	16–31 мая / May	1.06/30	/31	/1
	1–15 июня / June	10.06/20	/31	/9
	16–30 июня / June	20.06/10	/31	/15
	1–15 июля / July			

Примечания к таблицам 1 и 2:* – среднемесячная температура поверхности слоя почвы по месяцам; ** – число дней развития при данной температуре в текущем месяце, цифры после / – число дней развития в следующем месяце.

Notes to Tables 1 & 2:*The average monthly temperature of the surface layer of soil by month; **number of days of development at the given temperature in the current month; the numbers after / indicate the number of days of development in the next month.

Таблица 2. Возможные сроки развития разных фаз *I. ricinus* в период со среднемесячной температурой поверхности почв $\geq 10^{\circ}\text{C}$ на западном побережье Норвегии ($66^{\circ}.22'\text{ с.ш.} - 12^{\circ}.59'\text{ в.д.}$)**Table 2. Possible timeframes of development of different phases of *I. ricinus* in the period with average monthly soil surface temperatures $\geq 10^{\circ}\text{C}$ on the west coast of Norway ($66^{\circ}.22'\text{N} 12^{\circ}.59'\text{E}$)**

Возможные сроки эмбриогенеза / Possible dates of embryogenesis	Дата отпадения от хозяев / Date of detachment from host	Дата начала развития / число дней развития при данной температуре / Development start date / days of development at the given temperature		
		Июнь / June + 10	Июль / July + 16	Август / August + 14
	1–15 мая / May		19.07/11	/29
	16–31 мая / May		19.07/11	/29
	1–15 июня / June		19.07/11	/29
	16–30 июня / June		21.07/9	/31
	1–15 июля / July			
	16–31 июля / July			
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития личинок / Possible dates of larval development	1–15 мая / May	1.06/30	/22	
	16–31 мая / May	1.06/30	/22	
	1–15 июня / June	10.06/20	/31	
	16–30 июня / June	20.06/10	/31	/8
	1–15 июля / July		10.07/21	/26
	16–31 июля / July			
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития нимф / Possible dates of nymph development	1–15 мая / May	1.06/30	/31	/1
	16–31 мая / May	1.06/30	/31	/1
	1–15 июня / June	10.06/20	/31	/9
	16–30 июня / June	20.06/10	/31	/15
	1–15 июля / July			

(получение значения термальных констант овогенеза и эмбриогенеза) только в самом конце августа, что, по всей видимости, не позволяет выжить вылупившимся из них личинкам, вероятность зимовки которых очень незначительна. Таким образом, основной механизм, обеспечивающий стабильное воспроизведение популяций лесного клеща в данном регионе, – это, видимо, диапаза отложенных яиц, которая позволяет начать их развитие в июне следующего сезона. Эти адаптивные механизмы жизненного цикла *I. ricinus* дают возможность напитаться и благополучно перезимовать части личиночной гемипопуляции, появившейся из таких яйцекладок. Несмотря на довольно прохладное лето, теплообеспеченность в этот период составляет около 1000°C , что удовлетворяет потребности в тепле напитавшихся в мае – июне личинок и нимф переносчика в определенный временной отрезок.

Обсуждение. Анализ показывает, что лимитирующими факторами, ограничивающими распространение *I. persulcatus* в Магаданской области, выступают адаптивные видовые механизмы его жизненного цикла, препятствующие диапаузе сидячих самок. Таким образом, возможность инфицирования населения в Магаданской области может быть основана только на регулярном заносе туда зараженных нимф, линяющих в имаго в следующем сезоне. Появление независимых популяций *I. persulcatus*

в Магаданской области теоретически возможно, если среднемесячная температура поверхности почв в апреле повысится не менее чем до $+2...+5^{\circ}\text{C}$, а в мае до $+15^{\circ}\text{C}$. Это будет способствовать ранней активации перезимовавших голодных имаго и получению необходимого количества тепла для завершения овогенеза у части напитавшихся особей в мае – начале июня. При таком режиме развитие яйцекладок, отложенных после этого срока, будет происходить до середины июня – июля, и активировавшиеся личинки таежного клеща получат возможность напитаться и благополучно перезимовать. При этом теплообеспеченность поверхности почв с июня по август должна быть не ниже 800°C , причем на первую половину летнего сезона должно приходиться не менее 460°C , необходимых для завершения эмбриогенеза.

Адаптивные возможности *I. ricinus* довольно велики, несмотря на значительные потребности в сумме тепла, необходимые для завершения развития его отдельных стадий жизненного цикла. Суровый климат анализируемого региона сильно смягчается североатлантическим теплым течением Гольфстрима. Тем не менее развитие яиц, напитавшихся личинок и нимф, даже в таких относительно мягких для Норвегии условиях, осуществляется лишь в летние месяцы. Наши расчеты показывают, что стабильное воспроизведение сменяющихся

генераций переносчика обеспечивается главным образом пластичностью его цикла развития. В этом контексте существование независимых популяций лесного клеща на западном побережье Норвегии во многом обусловлено получением термальных констант перезимовавшими ранее яйцекладками в необходимый отрезок времени (в июне – июле). В противном случае значительное расширение северных границ ареала переносчика в недалеком прошлом было бы практически невозможным. Укоренение *I. ricinus* на западном побережье Норвегии обеспечивают адаптивные механизмы его жизненного цикла (возможность зимовки отложенных яйцекладок). В случае дальнейшего потепления климата в этом районе, особенно в весенний период, воспроизведение генерации может осуществляться за счет диапаузирующих сидячих самок, приступающих к яйцекладке в следующем сезоне, что приведет, соответственно, к постепенному росту численности популяций переносчика. Для этого в апреле – мае теплообеспеченность почвенного покрова должна составлять в сумме около 450–500 °C, что даст возможность самкам набрать термальную константу овогенеза и приступить к яйцекладке в июне.

Заключение. В ходе исследования установлены условия формирования независимых популяций основных переносчиков ИКБ (КЭ) на севере Евразии. На примерах Магаданской области и западного побережья Норвегии было продемонстрировано, что расширение их ареалов определяется возможностью получения определенной суммы почвенных температур (видовой термальной константой), необходимой для завершения метаморфоза, последовательных фаз циклов развития *I. persulcatus* и *I. ricinus*. Полученные результаты будут способствовать объективному прогнозированию динамики границ области распространения этих возбудителей в северном направлении в связи с предполагаемыми климатическими изменениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Коренберг Э.И., Помелова В.Г., Осин Н.С. Природно-очаговые инфекции, передающиеся иксодовыми клещами. М.: Комментарий, 2013. 463 с.
- Kahl O, Gray JS. The biology of *Ixodes ricinus* with emphasis on its ecology. *Ticks Tick Borne Dis.* 2023;14(2):102114. doi: 10.1016/j.ttbdis.2022.102114
- Коренберг Э.И., Сироткин М.Б., Ковалевский Ю.В. Общая схема циркуляции возбудителей иксодовых клещевых боррелиозов // Зоологический журнал. 2016. Т. 95. № 3. С. 283–299. doi: 10.7868/S0044513416030090
- Eisen L. Vector competence studies with hard ticks and *Borrelia burgdorferi* sensu lato spirochetes: A review. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(3):101359. doi: 10.1016/j.ttbdis.2019.101359
- Estrada-Peña A, Fernández-Ruiz N. A retrospective assessment of temperature trends in Northern Europe reveals a deep impact on the life cycle of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Pathogens.* 2020;9(5):345. doi: 10.3390/pathogens9050345
- Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, et al. Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* tick in Europe. *Parasit Vectors.* 2013;6:1. doi: 10.1186/1756-3305-6-1
- Korenberg EI, Sirotkin MB, Kovalevskii YV. Adaptive features of the biology of closely related species of ixodid ticks that determine their distribution (illustrated on the example of the taiga tick *Ixodes persulcatus* Sch. 1930 and the castor bean tick *Ixodes ricinus* L. 1758). *Biol Bull Rev.* 2021;11(6):602–615. doi: 10.1134/S2079086421060050
- Ярюкевич В.В., Казакова Е.В., Попов И.О., Семенов С.М. Распространение клещей *Ixodes ricinus* L., 1758 и *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) на территории России и соседних стран и наблюдаемые изменения климата // Доклады Российской Академии Наук. 2009. Т. 427. № 5. С. 688–692.
- Попов И.О., Семенова С.М., Попова Е.Н. Оценка климатогенной угрозы распространения таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории России и стран сохранившихся в начале ХХI века // Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 231–237. doi: 10.31857/S2587556621020138
- Estrada-Peña A, Venzal JM, Sánchez Acedo C. The tick *Ixodes ricinus*: Distribution and climate preference in the western Palearctic. *Med Vet Entomol.* 2006;20(2):189–197. doi: 10.1111/j.1365-2915.2006.00622.x
- Tokarevich N, Tronin A, Gnatov B, Revich B, Blinova O, Evengard B. Impact of air temperature variation on the ixodid ticks habitat and tick-borne encephalitis incidence in the Russian Arctic: The case of the Komi Republic. *Int J Circumpolar Health.* 2017;76(1):1298882. doi: 10.1080/22423982.2017.1298882
- Tronin AA, Tokarevich NK, Gnatov BR. Abundance of *Ixodes persulcatus* ticks in Komi Republic as a function of an air temperature. *Russian Journal of Infection and Immunity.* 2019;9(5–6):811–816. doi: 10.15789/2220-7619-2019-5-6-811-816
- Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, et al. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. *Global Health Action.* 2011;4:8448. doi: 10.3402/gha.v4i0.8448
- Сироткин М.Б., Коренберг Э.И. Влияние абиотических факторов на разные этапы развития таежного (*Ixodes persulcatus*) и европейского лесного (*Ixodes ricinus*) клещей // Зоологический журнал. 2018. Т. 87. № 4. С. 379–396. doi: 10.7868/S0044513418040013
- Noll M, Wall R, Makepeace BL, et al. Predicting the distribution of *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus* in Europe: A comparison of climate niche modelling approaches. *Parasit Vectors.* 2023;16(1):384. doi: 10.1186/s13071-023-05959-y
- Докучаев Н.Е. Обнаружение таежного клеща – *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) в Магаданской области // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2015. № 1. С. 123–125.
- Ямборко А.В., Третьяков К.А., Муравьева В.П. Первые находки *Ixodes persulcatus* (Acarina, Ixodidae) в Магаданской области // Зоологический журнал. 2015. Т. 94. № 5. С. 499–504; 16. doi: 10.7868/S0044513415050128
- Hvidsten D, Frafjord K, Gray JS, et al. The distribution limit of the common tick, *Ixodes ricinus*, and some associated pathogens in north-western Europe. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(4):101388. doi: 10.1016/j.ttbdis.2020.101388
- Soleng A, Edgar KS, Paulsen KM, et al. Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne

- encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway. *Ticks Tick Borne Dis.* 2018;9(1):97-103. doi: 10.1016/j.ttbdis.2017.10.002
20. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Ландшафты. Природа мира. М.: Мысль, 1989. 504 с.
21. Сироткин М.Б., Коренберг Э.И. Термальные константы развития клещей *Ixodes persulcatus* и *Ixodes ricinus*, определяющие продолжительность их жизненного цикла и распространение // Зоологический журнал. 2022. Т. 101. № 3. С. 256–261. doi: 10.31857/S0044513422030126

REFERENCES

1. Korenberg EI, Pomelova VG, Osin NS. [Natural Focal Infections Transmitted by Ixodid Ticks.] Moscow: Kommentariy Publ.; 2013. (In Russ.)
2. Kahl O, Gray JS. The biology of *Ixodes ricinus* with emphasis on its ecology. *Ticks Tick Borne Dis.* 2023;14(2):102114. doi: 10.1016/j.ttbdis.2022.102114
3. Korenberg EI, Sirotnik MB, Kovalevskii YuV. A general scheme of the circulation of ixodid tick-borne borrelioses pathogens in natural foci of Eurasia. *Zoologicheskiy Zhurnal.* 2016;95(3):283-299. (In Russ.) doi: 10.7868/S0044513416030090
4. Eisen L. Vector competence studies with hard ticks and *Borrelia burgdorferi sensu lato* spirochetes: A review. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(3):101359. doi: 10.1016/j.ttbdis.2019.101359
5. Estrada-Peña A, Fernández-Ruiz N. A retrospective assessment of temperature trends in Northern Europe reveals a deep impact on the life cycle of *Ixodes ricinus* (Acar: Ixodidae). *Pathogens.* 2020;9(5):345. doi: 10.3390/pathogens9050345
6. Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, et al. Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* tick in Europe. *Parasit Vectors.* 2013;6:1. doi: 10.1186/1756-3305-6-1
7. Korenberg EI, Sirotnik MB, Kovalevskii YV. Adaptive features of the biology of closely related species of ixodid ticks that determine their distribution (illustrated on the example of the taiga tick *Ixodes persulcatus* Sch. 1930 and the castor bean tick *Ixodes ricinus* L. 1758). *Biol Bull Rev.* 2021;11(6):602-615. doi: 10.1134/S2079086421060050
8. Yasyukevich VV, Kazakova EV, Popov IO, Semenov SM. [Distribution of ticks *Ixodes ricinus* L., 1758 and *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) on the territory of Russia and neighboring countries and observed climate changes.] *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk.* 2009;427(5):688-692. (In Russ.)
9. Popov IO, Semenov SM, Popova EN. Assessment of climatogenic hazard of the taiga tick *Ixodes persulcatus* distribution in and neighboring countries at the beginning of the 21st century. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya.* 2021;85(2):231-237. (In Russ.) doi: 10.31857/S2587556621020138
10. Estrada-Peña A, Venzal JM, Sánchez Acedo C. The tick *Ixodes ricinus*: Distribution and climate preference in the western Palearctic. *Med Vet Entomol.* 2006;20(2):189-197. doi: 10.1111/j.1365-2915.2006.00622.x
11. Tokarevich N, Tronin A, Gnatov B, Revich B, Blinova O, Evengard B. Impact of air temperature variation on the ixodid ticks habitat and tick-borne encephalitis incidence in the Russian Arctic: The case of the Komi Republic. *Int J Circumpolar Health.* 2017;76(1):1298882. doi: 10.1080/22423982.2017.1298882
12. Tronin AA, Tokarevich NK, Gnatov BR. Abundance of *Ixodes persulcatus* ticks in Komi Republic as a function of an air temperature. *Russian Journal of Infection and Immunity.* 2019;9(5-6):811-816. doi: 10.15789/2220-7619-2019-5-6-811-816
13. Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, et al. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. *Global Health Action.* 2011;4:8448. doi: 10.3402/gha.v4i0.8448
14. Sirotnik MB, Korenberg EI. Influence of abiotic factors on different developmental stages of the taiga tick *Ixodes persulcatus* and the sheep tick *Ixodes ricinus*. *Entomol Rev.* 2018;98(4):496-513. doi: 10.1134/S0013873818040115
15. Noll M, Wall R, Makepeace BL, et al. Predicting the distribution of *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus* in Europe: A comparison of climate niche modelling approaches. *Parasit Vectors.* 2023;16(1):384. doi: 10.1186/s13071-023-05959-y
16. Dokuchaev NE. Discovery of the Taiga tick – *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) in Magadan Oblast. *Vestnik SVNC DVO RAN.* 2015;(1):123-125. (In Russ.) Accessed March 20, 2025. http://vestnik.north-east.ru/2015/n1/ft_Dokuchaev.pdf
17. Yamborko AV, Tretyakov KA, Muravyova VP. The first findings of *Ixodes persulcatus* (Acarina, Ixodidae) in Magadan province. *Entomol Rev.* 2015;95(5):666-671. doi: 10.1134/S0013873815050103
18. Hvidsten D, Frafjord K, Gray JS, et al. The distribution limit of the common tick, *Ixodes ricinus*, and some associated pathogens in north-western Europe. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(4):101388. doi: 10.1016/j.ttbdis.2020.101388
19. Soleng A, Edgar KS, Paulsen KM, et al. Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway. *Ticks Tick Borne Dis.* 2018;9(1):97-103. doi: 10.1016/j.ttbdis.2017.10.002
20. Isachenko AG, Shlyapnikov AA. [Landscapes. Nature of the World.] Moscow: Mysl Publ.; 1989. (In Russ.)
21. Sirotnik MB, Korenberg EI. Thermal constants of the development of *Ixodes persulcatus* and *Ixodes ricinus* ticks, which determine the duration of their life cycle and their distributions. *Zoologicheskiy Zhurnal.* 2022;101(3):256-261. (In Russ.) doi: 10.31857/S0044513422030126

Сведения об авторе:

✉ Сироткин Михаил Борисович – научный сотрудник лаборатории переносчиков инфекций; e-mail: m.sirotnik87@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1202-5798>.

Информация о вкладе автора: автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Минздрава России (121030900383-2).

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Статья получена: 08.10.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликована: 28.03.25

Author information:

Mikhail B. Sirotkin, Researcher, Laboratory of Disease Vectors; e-mail: m.sirotkin87@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1202-5798>.

Author contribution: The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research was carried out within the framework of the state assignment No. 121030900383-2 of the Russian Ministry of Health.

Conflict of interest: The author has no conflicts of interest to declare.

Received: October 8, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025