



RUSSIAN MONTHLY PEER-REVIEWED
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

**PUBLIC HEALTH AND
LIFE ENVIRONMENT**

MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

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 32 · 2024

Vol. 32 · 2024

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 Ulrich'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, PГБ, Dimensions, LENS.ORG, Google Scholar, VINITI RAN.

Москва • 2024

Здоровье населения и среда обитания – *Знано*

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 32 № 3 2024

Выходит 12 раз в год
Основен в 1993 г.

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

Учредитель: Федеральное бюд-
жетное учреждение здравооо-
хранения «Федеральный центр
гигиены и эпидемиологии»
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребите-
лей и благополучия человека

Цель: распространение основных
результатов научных исследова-
ний и практических достижений
в области гигиены, эпидемиоло-
гии, общественного здоровья
и здравоохранения, медицины
труда, социологии медицины,
медико-социальной экспертизы
и медико-социальной реабили-
тации на российском и междуна-
родном уровне.

Задачи журнала:

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

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

Для публикации в журнале: ста-
тьи в электронном виде должны
быть отправлены через личный
кабинет автора на сайте
<https://znano.fcgie.ru/>

© ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора,
2024

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 «ФНЦГ 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 ФГАУ 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 здоровью населения» Роспотребнадзора (г. Пермь, Российская Федерация)

О.Ю. Милушкина д.м.н., доц.; проректор по учебной работе, заведующий кафедрой гигиены педиатрического факультета ФГАУ 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. Алехнович 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. Балаховов 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 ФГАУ 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 ФГАУ 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» (п. 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 ордена 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-Несевря д.социол.н., доц.; заведующий лабораторией методов анализа социальных рисков ФНЦГ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью 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. Судьин	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 этологии биокommunikации 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 (ИПЭЗ РАН) (г. Москва, Российская Федерация)
В.П. Чашин	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

М.К. Амрин	к.м.н., доц.; начальник отдела медицинских программ филиала Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Инфракос» Аэрокосмического комитета Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан (МЦРИАП РК) в городе Алматы (г. Алматы, Республика Казахстан)
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) РГП 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 ученый (программа исследований в области органической и эволюционной биологии), Хельсинкский 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	Sand. 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. Цацakis	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 –

ЗНЦО

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 32 № 3 2024

Выходит 12 раз в год

Основен в 1993 г.

Все права защищены.
Перепечатка и любое воспроизведение материалов и иллюстраций в печатном или электронном виде из журнала ЗНЦО допускается только с письменного разрешения учредителя и издателя – ФБУЗ ЦГГиЗ Роспотребнадзора.
При использовании материалов ссылка на журнал ЗНЦО обязательна.

Мнение редакции может не совпадать 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: <https://zniso.fcgie.ru/>

Издатель:
ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора
117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 19А
E-mail: gsen@fcgie.ru
Тел.: +7 (495) 954-45-36
<https://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 <https://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 29.03.2024
Формат издания 60x84/8
Печ. л. 10,0
Тираж 1000 экз.
Цена свободная

Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 7–80

Отпечатано в типографии
ФБУЗ ЦГГиЗ Роспотребнадзора,
117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 19А

© ФБУЗ ЦГГиЗ Роспотребнадзора, 2024

Zdorov'e Naseleniya
i Sreda Obitaniya –
ZNiSO

Public Health and Life
Environment – *PH&LE*

Russian monthly peer-reviewed
scientific and practical journal

Volume 32, Issue 3, 2024

Established in 1993

The journal is registered by the
Federal Service for Supervision
in the Sphere of Telecom,
Information Technologies and Mass
Communications (Roskomnadzor).
Certificate of Mass Media
Registration
PI No. FS 77-71110 of September
22, 2017 (print edition)

Founder: Federal Center for
Hygiene and Epidemiology, Federal
Budgetary Health Institution
of the Federal Service for
Surveillance on Consumer Rights
Protection and Human Wellbeing
(Rospotrebnadzor)

The purpose of the journal is to
publish main results of scientific
research and practical achievements
in hygiene, epidemiology, public
health and health care, occupational
medicine, sociology of medicine,
medical and social expertise, and
medical and social rehabilitation
at the national and international
levels.

The main objectives of the journal are:
✦ to broaden its publishing
activities by expanding the
geographical coverage of
published data (including a greater
involvement of representatives
of the international scientific
community;
✦ to strictly follow the principles of
research and publishing ethics, to
impartially evaluate and carefully
select manuscripts in order to
eliminate unethical research
practices and behavior of authors
and to avoid plagiarism; and
✦ to ensure the freedom of the
content, editorial board and
editorial council of the journal
from commercial, financial or
other pressure that discredits
its impartiality or undermines
confidence in it.

All manuscripts are peer reviewed.
All articles are assigned digital
object identifiers (Crossref DOI
prefix: 10.35627)

Electronic manuscript submission at
<https://zniso.fcgi.ru>

© FBHI Federal Center for
Hygiene and Epidemiology of
Rospotrebnadzor, 2024

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. Fridman, Deputy Editor-in-Chief Cand. Sci. (Med.); Chief, 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	
Vasily 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 Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 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 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 Gabrichevsky 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 Polyomielitis), 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-Neseyra	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

Meiram K. Amrin	Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Head of the Department of Medical Programs, Branch Office of RSE "Infrakos" of the Aerospace Committee, Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, in Almaty, Almaty, Republic of Kazakhstan
Ksenia Bazhdarich	PhD, Senior Researcher, Medical Informatics Department, Faculty of Medicine, University of Rijeka, Rijeka, Croatia
Askhat T. Dosmukhametov	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
Vasily 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 Obitalaniya – ZNiSO

Public Health and Life Environment – *PH&LE*

Russian monthly peer-reviewed
scientific and practical journal

Volume 32, Issue 3, 2024

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
FBHI 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: <https://zniso.fcgie.ru/>

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

Editor Yaroslava O. Kin
Proofreader Lev A. Zelekson
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 <https://www.elibrary.ru>
Subscription to the electronic
version of the journal at <https://www.elibrary.ru>
For advertising in the journal,
please write to zniso@fcgie.ru.

Published: March 29, 2024
Publication format: 60x84/8
Printed sheets: 10.0
Circulation: 1,000 copies
Free price

Zdorov'e Naseleniya i Sreda
Obitalaniya. 2024;32(3):7–80.

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

© FBHI Federal Center for
Hygiene and Epidemiology of
Rospotrebnadzor, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОЙ ГИГИЕНЫ

- Соломай Т.В., Воронин Е.М., Семенов Т.А., Лаврухина Е.В., Кузин С.Н., Тутельян А.В., Акимкин В.Г. Экономическое бремя инфекции, вызванной вирусом Эпштейна – Барр, в Российской Федерации 7
- Васильев Д.Е. Оценка эффективности применения стандартных операционных процедур по результатам санитарно-бактериологических исследований в отделении судебно-медицинской экспертизы 15

КОММУНАЛЬНАЯ ГИГИЕНА

- Суханов П.А., Прожорина Т.И., Боева А.С., Клепиков О.В. Акустическое воздействие железнодорожного транспорта на жилые территории города Воронежа 23
- Антропова Н.С., Ушакова О.В., Савостикова О.Н., Филимонова Е.И. Проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды антибиотиками на примере тетрациклинов (обзор) 33

ГИГИЕНА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

- Александрова И.Э. Динамика показателей умственной работоспособности современных школьников в процессе выполнения домашней учебной работы 44

МЕДИЦИНА ТРУДА

- Спирин В.Ф., Райкова С.В., Комлева Н.Е., Старшов А.М. Табакокурение как фактор риска снижения слуха у работников шумовых профессий (обзор литературы) 49

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ

- Блох А.И., Летюшев А.Н., Пенъевская Н.А., Рудаков Н.В. Алгоритмический подход к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями 54
- Джумаканова А.Б. Геномный мониторинг вируса SARS-CoV-2, циркулировавшего на территории Кыргызской Республики в 2020–2021 гг. 63
- Троценко О.Е., Сапега Е.Ю., Бутакова Л.В., Бондаренко А.П. Основные проявления эпидемического процесса острых кишечных инфекций в Дальневосточном федеральном округе в 2022 году 70

CONTENTS

ISSUES OF MANAGEMENT AND PUBLIC HEALTH

- Solomay T.V., Voronin E.M., Semenenko T.A., Lavrukina E.V., Kuzin S.N., Tutelyan A.V., Akimkin V.G. The economic burden of Epstein-Barr virus infection in the Russian Federation 7
- Vasiliev D.E. Evaluation of effectiveness of following standard operating procedures in the Department of Forensic Medical Examination based on bacteriological test results 15

COMMUNAL HYGIENE

- Sukhanov P.A., Prozhorina T.I., Boeva A.S., Klepikov O.V. Acoustic impact of rail transport on residential areas of the city of Voronezh 23
- Antropova N.S., Ushakova O.V., Savostikova O.N., Filimonova E.I. Problems related to antibiotic pollution of the environment: A review with a focus on tetracyclines 33

PEDIATRIC HYGIENE

- Alexandrova I.E. Dynamics of indicators of mental performance of modern schoolchildren while doing homework 44

OCCUPATIONAL MEDICINE

- Spirin V.F., Raikova S.V., Komleva N.E., Starshov A.M. Tobacco smoking as a risk factor of hearing impairment in workers exposed to occupational noise: A literature review 49

EPIDEMIOLOGY

- Blokh A.I., Letyushev A.N., Penyevskaya N.A., Rudakov N.V. Algorithmic approach to determination of epidemic thresholds in infectious disease surveillance systems 54
- Dzhumakanova A.B. Genome monitoring of SARS-CoV-2 circulating in the Kyrgyz Republic in 2020–2021 63
- Trotsenko O.E., Sapega E.Yu., Butakova L.V., Bondarenko A.P. Main manifestations of the epidemic process of acute intestinal infections in the Far Eastern Federal District in 2022 70



Экономическое бремя инфекции, вызванной вирусом Эпштейна – Барр, в Российской Федерации

Т.В. Соломай^{1,2}, Е.М. Воронин¹, Т.А. Семененко^{3,4}, Е.В. Лаврухина⁵, С.Н. Кузин¹,
А.В. Тутельян^{1,3}, В.Г. Акимкин¹

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

² ФГБНУ «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова» Минобрнауки России, пер. Малый Казённый, д. 5а, г. Москва, 105064, Российская Федерация

³ ФGAOU BO «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), ул. Трубецкая, д. 8, стр. 1, г. Москва, 119048, Российская Федерация

⁴ ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, ул. Гамалеи, д. 18, г. Москва, 123098, Российская Федерация

⁵ ФGAOU BO «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, ул. Островитянова, д. 1, г. Москва, 117997, Российская Федерация

Резюме

Введение. Инфекция, вызванная вирусом Эпштейна – Барр, имеет важное медико-социальное значение, что требует проведения оценки финансовых затрат, обусловленных выбытием таких больных из экономических отношений и оказанием им медицинской помощи.

Цель исследования: предложить методику оценки экономического ущерба и на ее основе оценить суммарный ущерб от данной инфекции в Российской Федерации в 2022 году.

Материалы и методы. Оценка экономического ущерба от инфекции, вызванной вирусом Эпштейна – Барр, проведена по данным официальной статистики за 2022 год о случаях обусловленных им заболеваний: инфекционный мононуклеоз, инфекции верхних дыхательных путей, нарушения ритма сердца, atopический дерматит, дорсопатии, хронический тонзиллит в фазе обострения, цереброваскулярная болезнь, псориаз и мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19.

Результаты. Предложена методика оценки экономического ущерба, в соответствии с которой суммарный ущерб, причиненный в 2022 году экономике Российской Федерации инфекцией, вызванной вирусом Эпштейна – Барр, составил 1203,0 млрд рублей, что существенно выше аналогичных значений для всех других регистрируемых инфекционных болезней за исключением COVID-19.

Более 90 % всех расходов приходится на обусловленные данной инфекцией мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19, инфекции верхних дыхательных путей и цереброваскулярную болезнь. В структуре суммарных расходов преобладают не прямые экономические потери из-за выбытия индивидуумов из трудовых отношений – 1096,75 млрд руб. (91,2 % всех затрат).

Заключение. Полученные данные позволяют наметить направления разработки мер по снижению экономического ущерба от ВЭБ-инфекции.

Ключевые слова: вирус Эпштейна – Барр; инфекция, вызванная вирусом Эпштейна – Барр; экономический ущерб; прямые медицинские расходы; не прямые экономические потери.

Для цитирования: Соломай Т.В., Воронин Е.М., Семененко Т.А., Лаврухина Е.В., Кузин С.Н., Тутельян А.В., Акимкин В.Г. Экономическое бремя инфекции, вызванной вирусом Эпштейна – Барр, в Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 7–14. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-7-14

The Economic Burden of Epstein–Barr Virus Infection in the Russian Federation

Tatyana V. Solomay,^{1,2} Evgeny M. Voronin,¹ Tatiana A. Semenenko,^{3,4} Ekaterina V. Lavrukhina,⁵
Stanislav N. Kuzin,¹ Alexey V. Tutelyan,^{1,3} Vasily G. Akimkin¹

¹ Central Research Institute of Epidemiology, 3a Novogireevskaya Street, Moscow, 111123, Russian Federation

² I.I. Mechnikov Scientific Research Institute of Vaccines and Serums,
5a Maly Kazenny Lane, Moscow, 105064, Russian Federation

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University),
Bldg 1, 8 Trubetskaya Street, Moscow, 119048, Russian Federation

⁴ N.F. Gamaleya National Research Center for Epidemiology and Microbiology,
18 Gamaleya Street, Moscow, 123098, Russian Federation

⁵ N.I. Pirogov National Research Medical University, 1 Ostrovityanov Street, Moscow, 117997, Russian Federation

Summary

Introduction: Epstein–Barr virus-related diseases are of great medical and social importance, which requires assessment of economic losses due to costs of medical care and sickness absenteeism.

Objective: To propose a methodology for assessing economic damage and to use it for quantification of total damages caused by Epstein–Barr virus (EBV) infections in the Russian Federation in 2022.

Materials and methods: The economic damage from EBV infections was determined using official statistics (2022) on cases of infectious mononucleosis, upper respiratory tract infections, cardiac arrhythmias, atopical dermatitis, dorsopathy, chronic tonsillitis in the acute phase, cerebrovascular disease, psoriasis, and multisystem inflammatory syndrome associated with COVID-19.

Results: Based on the methodology for assessing economic damages described in the article, we found that the total financial losses from EBV-associated diseases in the Russian Federation in 2022 amounted to 1,203.0 billion rubles, which is significantly higher than similar values for all other registered infectious diseases with the exception of COVID-19. COVID-19-related multisystem inflammatory syndrome, upper respiratory tract infections, and cerebrovascular disease accounted for more than 90 % of all losses. The structure of total costs was dominated by indirect economic losses (1,096.75 billion rubles or 91.2 %) due to sickness absence from work.

Conclusion: The findings allow us to outline directions of developing measures to reduce the economic damage from EBV-associated diseases.

Keywords: Epstein–Barr virus, Epstein–Barr virus infections, economic damage, direct costs of medical care, indirect economic losses.

Cite as: Solomay TV, Voronin EM, Semenenko TA, Lavrukina EV, Kuzin SN, Tutelyan AV, Akimkin VG. The economic burden of Epstein–Barr virus infection in the Russian Federation. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):7–14. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-7-14

Введение. Инфекция, вызванная вирусом Эпштейна – Барр (ВЭБ), характеризуется хроническим рецидивирующим течением, многообразием клинических проявлений, вовлечением в эпидемиологический процесс индивидуумов всех возрастов, ubiquitous распространением [1–3].

Наиболее изученной формой ВЭБ-инфекции является инфекционный мононуклеоз, заболеваемость которым в Российской Федерации на протяжении нескольких десятилетий имеет тенденцию к росту [4]. Считается, что до 90 % всех случаев инфекционного мононуклеоза обусловлены ВЭБ. Среди прочих патогенов, вызывающих подобные клинические проявления, называются цитомегаловирус и вирус герпеса человека 6-го типа [5, 6].

Описано участие ВЭБ в формировании лимфомы Беркитта, рака желудка, назофарингеальной карциномы. Обсуждается этиологическая роль данного возбудителя в развитии рассеянного склероза, ревматоидного артрита и других аутоиммунных болезней. Однако размер вклада ВЭБ в формирование перечисленных патологических состояний на настоящий момент не установлен [7–10].

Доказано, что частота обнаружения генетического материала ВЭБ, как единственного возбудителя, в мазках из носоглотки пациентов с инфекциями верхних дыхательных путей составляет 17,4 % у детей 0–17 лет и 18,6 % у взрослых [11]. Показатель выявления лиц с первичной и реактивацией хронической ВЭБ-инфекции в группе больных в возрасте 18 лет и старше с нарушением ритма сердца достигает 13,6 %, атопическим дерматитом – 20,5 %, дорсопатиями – 24,2 %, обострением хронического тонзиллита – 32,0 %, цереброваскулярной болезнью – 64,3 %, псориазом – 67,9 % [12–14]. Наибольшая частота обнаружения серологических маркеров, указывающих на наличие реактивации хронической ВЭБ-инфекции, имеет место на фоне перенесенного COVID-19 – 80,0 % [15].

Вышеизложенное свидетельствует о значительной медико-социальной роли ВЭБ-инфекции и требует разработки методики для проведения оценки финансовых затрат, обусловленных выбытием таких больных из экономических отношений и оказанием им медицинской помощи [16–19]. Ранее подобные исследования не проводились. В государственных докладах Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации» ежегодно приводятся данные об ущербе, причиненном

экономике страны инфекционным мононуклеозом. Аналогичные расчеты в отношении иных патологических состояний, обусловленных ВЭБ-инфекцией, в доступной литературе не опубликованы.

Цель исследования – предложить методику оценки экономического ущерба и на ее основе оценить суммарный ущерб от ВЭБ-инфекции в Российской Федерации в 2022 году.

Материалы и методы. В перечень заболеваний, использованных для разработки методики и последующей оценки экономического ущерба, вошли инфекционный мононуклеоз, инфекции верхних дыхательных путей, нарушения ритма сердца, атопический дерматит, дорсопатии, хронический тонзиллит в фазе обострения, цереброваскулярная болезнь, псориаз и мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19. Для каждого из перечисленных патологических состояний по данным форм официальной статистической отчетности было определено число лиц, заболевших в Российской Федерации в 2022 году. Расчет экономического ущерба от ВЭБ-инфекции основывался только на тех случаях, которые были обусловлены исследуемым патогеном с учетом его вклада в развитие каждого включенного в исследование заболевания [11–15].

В основе разработанной методики для расчета экономического ущерба от ВЭБ-инфекции в Российской Федерации лежит определение и последующее суммирование прямых медицинских расходов (ПМР) и непрямого потерь экономики (НПЭ) [16, 17]. ПМР рассчитываются как стоимость оказания медицинской помощи детям и взрослым пациентам в условиях стационара и поликлиники. НПЭ связаны с выбытием взрослых индивидуумов из трудовых отношений на период болезни или по уходу за больным ребенком.

Оценка прямых медицинских расходов осуществлялась на основе усредненных данных о стоимости законченного случая лечения болезни при нахождении пациента в стационаре и объема услуг в соответствии с тарифами на оплату медицинской помощи в амбулаторных условиях, полученных из тарифных соглашений на 2022 год территориальных фондов обязательного медицинского страхования шестнадцати субъектов страны (г. Москва, г. Санкт-Петербург, Республика Татарстан, Республика Башкортостан Новосибирская, Свердловская, Нижегородская, Челябинская, Самарская, Ростовская, Краснодарская, Омская, Воронежская, Пермская и Волгоградская области,

Красноярский край). Определение объема услуг для каждого патологического состояния, обусловленного ВЭБ, осуществлялось на основе данных клинических рекомендаций (протоколов лечения) оказания медицинской помощи таким больным с учетом возраста пациента.

Расчет прямых медицинских расходов, обусловленных ВЭБ-инфекцией, проводился отдельно в группах детей и взрослых для каждого патологического состояния по формуле:

$$Р_{\text{пр}} = (C_a \times N_a \times K_{\text{вэб}}) + (C_c \times N_c \times K_{\text{вэб}}),$$

где $R_{\text{пр}}$ – прямые медицинские расходы, обусловленные ВЭБ-инфекцией;

C_a – стоимость законченного случая лечения в амбулаторных условиях;

N_a – количество амбулаторно пролеченных больных с данной патологией в 2022 году в Российской Федерации;

$K_{\text{вэб}}$ – коэффициент, учитывающий вклад ВЭБ-инфекции в данную патологию;

C_c – стоимость законченного случая лечения в стационарных условиях;

N_c – количество стационарно пролеченных больных с данной патологией в 2022 году в Российской Федерации.

Расчет не прямых потерь экономики, обусловленных ВЭБ-инфекцией, был произведен по формуле:

$$R_{\text{нпз}} = P_{\text{прв}} \times \text{ВВПтр в день},$$

где $R_{\text{нпз}}$ – не прямые экономические потери, обусловленные ВЭБ-инфекцией;

$P_{\text{прв}}$ – продолжительность потерянного рабочего времени лицами трудоспособного возраста по фактам болезни, обусловленной ВЭБ-инфекцией, или ухода за такими больными в днях;

ВВПтр в день – величина валового внутреннего продукта (ВВП) Российской Федерации в 2022 году на душу работающего населения трудоспособного возраста (18–60 лет для женщин и 18–65 лет для мужчин) в день в млрд руб.

Продолжительность потерянного рабочего времени рассчитывалась исходя из длительности одного случая и числа больничных листов, полученных всеми лицами трудоспособного возраста по фактам заболеваний, обусловленных ВЭБ-инфекцией.

$$P_{\text{прв}} = (D \times N_d \times K_{\text{вэб}} \times K_{\text{бл}}) + (D \times N_v \times K_{\text{вэб}} \times K_{\text{тр}}),$$

где $P_{\text{прв}}$ – продолжительность потерянного рабочего времени лицами трудоспособного возраста по фактам болезни, обусловленной ВЭБ-инфекцией, или ухода за такими больными в днях;

D – длительность одного случая заболевания в днях;

N_d – количество случаев заболевания данной патологией детей в 2022 году в Российской Федерации;

N_v – количество случаев заболевания данной патологией взрослых в 2022 году в Российской Федерации;

$K_{\text{вэб}}$ – коэффициент, учитывающий вклад ВЭБ-инфекции в данную патологию;

$K_{\text{бл}}$ – коэффициент, учитывающий частоту нахождения на больничном листе по уходу за ребенком одного из его родителей;

$K_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий долю работающего населения трудоспособного возраста в Российской Федерации в 2022 году, которому в случае болезни потребуется наличие больничного листа.

Для определения длительности случая каждого из включенного в исследование заболевания в днях, а также частоты нахождения на больничном листе по уходу за ребенком одного из его родителей был использован метод экспертных оценок, который заключался в статистической обработке информации, полученной от компетентных специалистов медицинского профиля. Общее число опрошенных экспертов составило 189 человек. Сбор информации осуществлялся посредством электронных коммуникаций. Первичные данные заносятся в таблицу, после чего производился расчет средних значений.

Величина валового внутреннего продукта Российской Федерации в 2022 году на душу работающего трудоспособного населения в день была рассчитана исходя из данных официальной статистики¹ по формуле:

$$\text{ВВПтр в день} = \frac{\text{ВВП}}{\text{Чтн} - \text{Чбр}} : 365,$$

где ВВПтр в день – величина валового внутреннего продукта (ВВП) Российской Федерации в 2022 году на душу работающего населения трудоспособного возраста (18–60 лет для женщин и 18–65 лет для мужчин) в день в млрд руб.;

ВВП – валовой внутренний продукт Российской Федерации в 2022 году в млрд руб.;

Чтн – численность населения трудоспособного возраста в Российской Федерации в 2022 г., чел.;

Чбр – численность безработного населения трудоспособного возраста в Российской Федерации в 2022 г., чел.;

365 – количество дней в 2022 году.

Обработка результатов проводилась с использованием общепринятых статистических подходов. Рассчитывались средние величины и их 95 % доверительные интервалы (ДИ). Различия считались достоверными при $p < 0,05$. Графические изображения выполнены с использованием Microsoft Excel 2019 (версия 17).

Ограничения исследования. Отсутствие официальной статистической информации о лицах трудоспособного возраста с инвалидностью, обусловленной ВЭБ-инфекцией, или умерших от этого заболевания, не позволило оценить не прямые потери, обусловленные данными состояниями. В наших расчетах также не были учтены затраты на приобретение амбулаторными пациентами необходимых лекарственных препаратов, так как эта проблема достаточно трудоемка ввиду присутствия на фармацевтическом рынке большого числа производителей и требует отдельного рассмотрения с позиции маркетингового анализа.

Результаты. Проведенные расчеты показали, что в 2022 году в Российской Федерации прямые

¹ Статистические данные Федеральной службы государственной статистики доступны по ссылке: <https://rosstat.gov.ru/statistics/>.

медицинские расходы на лечение случаев болезней, обусловленных ВЭБ-инфекцией, составили 106,18 млрд руб., из которых 39,4 млрд руб. (37,1 % (95 % ДИ 27,9–46,3)) пришлось на амбулаторную, а 66,78 млрд руб. (62,9 % (95 % ДИ 53,7–72,1)) на стационарную помощь. Несмотря на достоверное преобладание затрат на стационарное лечение ($p < 0,05$), в разрезе отдельных нозологических форм данная структура имела свои особенности. Так, в 2022 г. вклад прямых медицинских расходов на стационарное лечение был наиболее высок при мультисистемном воспалительном синдроме, связанном с COVID-19 (70,0 %), и цереброваскулярной болезни (70,3 %), что может быть обусловлено более тяжелым течением данных состояний по сравнению с другими болезнями. Для остальных заболеваний, обусловленных ВЭБ, преобладали расходы на амбулаторное лечение.

При анализе прямых расходов на лечение детского и взрослого населения установлено, что значимо больший вклад ($p < 0,05$) в их структуру внесло оказание медицинской помощи лицам в возрасте 18 лет и старше (94,7 % (95 % ДИ 88,5–100,9) против 5,3 % (95 % ДИ 0,0–11,4) у детей), что определяется развитием у данной категории пациентов соматической патологии, обусловленной ВЭБ-инфекцией.

Непрямые потери экономики, связанные с ВЭБ-инфекцией, в 2022 году составили 816,94 млрд руб. и были преимущественно сопряжены с выбытием из трудовых отношений индивидуумов по фактам регистрации заболеваний у них (95,0 % (95 % ДИ 93,8–96,2)), а не по случаям ухода за больными детьми (5,0 % (95 % ДИ 3,8–6,2)), $p < 0,05$.

Суммарный ущерб, причиненный экономике Российской Федерации ВЭБ-инфекцией в 2022

году, составил 923,12 млрд руб. При этом не прямые потери экономики в 7,7 раза превысили прямые медицинские расходы (таблица).

Необходимо отметить, что существенное преобладание не прямых потерь экономики имело место для каждой нозологической формы, обусловленной ВЭБ (рис. 1).

При анализе вклада отдельных нозологических форм в суммарный ущерб, причиненный экономике страны ВЭБ-инфекцией, установлено, что 69,0 % пришлось на мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19. Значимый вклад также внесли инфекции верхних дыхательных путей и цереброваскулярная болезнь. Экономический ущерб от инфекционного мононуклеоза, вызванного ВЭБ, составил всего 0,3 % суммарного экономического ущерба (рис. 2).

Обсуждение. Отличительной особенностью настоящего исследования стал комплексный подход, учитывающий максимально возможное число нозологических форм, для которых на данный момент установлен этиологический вклад ВЭБ. Впервые благодаря предложенной методике проведена оценка экономического ущерба, причиненного Российской Федерации ВЭБ-инфекцией, который в сумме составил 923,12 млрд рублей. Полученное значение сопоставимо с экономическим ущербом страны от основных 33 инфекционных болезней, включая инфекционный мононуклеоз (без учета туберкулеза, ВИЧ-инфекции, хронических вирусных гепатитов и COVID-19), сведения о котором опубликованы в государственном докладе Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году»² (1014,7 млрд руб.).

Таблица. Суммарный ущерб, причиненный экономике Российской Федерации ВЭБ-инфекцией в 2022 году

Table. The year 2022 economic burden of Epstein-Barr virus infections in the Russian Federation

Перечень заболеваний / EBV-related diseases	Прямые медицинские расходы, млрд руб. / Direct costs of medical care, billion rubles	Непрямые потери экономики, потери, млрд руб. / Indirect economic losses, billion rubles	Суммарный ущерб, млрд руб. / Total economic burden, billion rubles
Инфекционный мононуклеоз / Infectious mononucleosis	1,0	1,34	2,34
Инфекции верхних дыхательных путей / Upper respiratory tract infections	8,73	132,5	141,23
Мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19, неуточненный, имеющий связь по времени с COVID-19 / Multisystem inflammatory syndrome associated with COVID-19, unspecified, related in time to COVID-19	74,92	562,34	637,26
Хронический тонзиллит в фазе обострения / Chronic tonsillitis in the acute phase	0,31	2,63	2,94
Псориаз / Psoriasis	2,04	21,08	23,12
Атопический дерматит / Atopic dermatitis	0,52	7,91	8,43
Цереброваскулярная болезнь / Cerebrovascular disease	14,17	51,45	65,62
Дорсопатии / Dorsopathy	2,04	19,1	21,14
Нарушения ритма сердца / Cardiac arrhythmias	2,45	18,59	21,04
Итого / Total	106,18	816,94	923,12

² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 368 с.

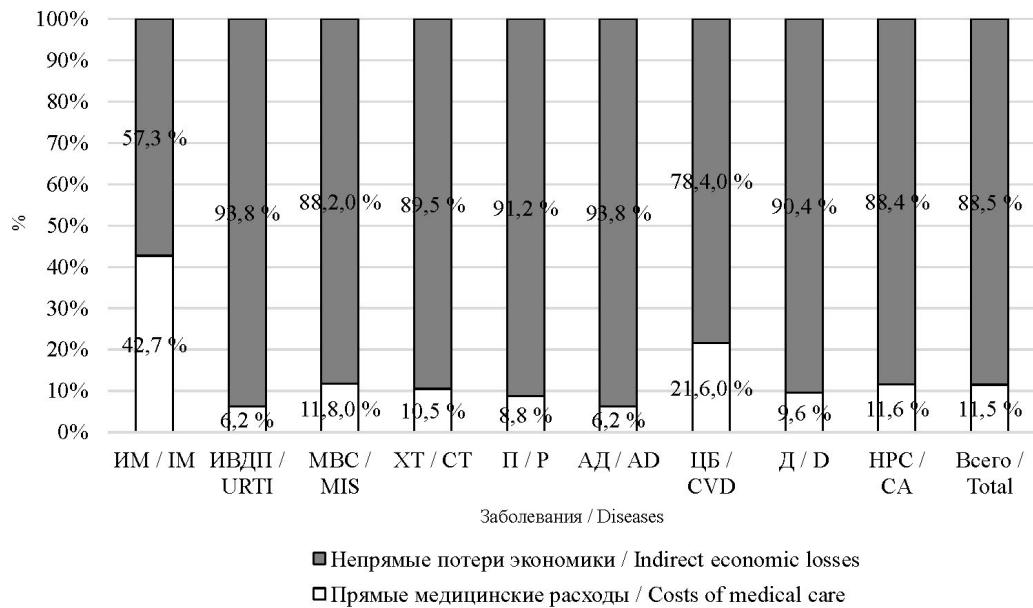


Рис. 1. Вклад прямых медицинских расходов и непрямых потерь экономики в суммарный ущерб, причиненный Российской Федерации ВЭБ-инфекцией в 2022 году в разрезе отдельных нозологических форм
Условные обозначения для рисунков 1 и 2: ИМ – инфекционный мононуклеоз; ИВДП – инфекции верхних дыхательных путей; MBC – мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19, неуточненный, имеющий связь по времени с COVID-19; XT – хронический тонзиллит в фазе обострения; П – псориаз; АД – атопический дерматит; ЦБ – цереброваскулярная болезнь; Д – дорсопатии; НРС – нарушения ритма сердца.

Fig. 1. Disease-specific contribution of costs of medical care and indirect economic losses to the burden of Epstein-Barr virus infections in the Russian Federation in 2022

Abbreviations to figures 1 and 2: IM, infectious mononucleosis; URTI, upper respiratory tract infections; MIS, multisystem inflammatory syndrome associated with COVID-19, unspecified, related in time to COVID-19; CT, chronic tonsillitis in the acute phase; P, psoriasis; AD, atopic dermatitis; CVD, cerebrovascular disease; D, dorsopathy; CA, cardiac arrhythmias.

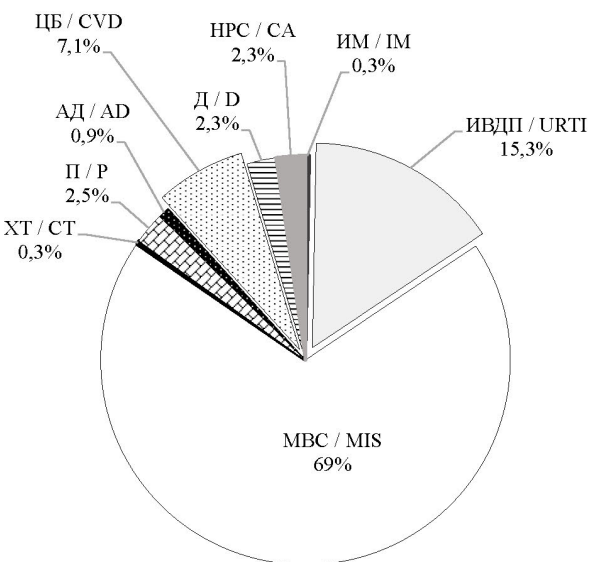


Рис. 2. Структура суммарного экономического ущерба, обусловленного ВЭБ-инфекцией
Fig. 2. Contribution of the diseases associated with Epstein-Barr virus to their total economic burden

Кроме того, суммарные экономические потери от хронических инфекций (туберкулез, ВИЧ-инфекция, хронический гепатит С) в 2022 году (430 млрд руб.) были в 2,2 раза ниже таковых от ВЭБ-инфекции.
Единственной нозологической формой, расходы на которую превышали полученное в настоящем исследовании значение, стал COVID-19, ущерб от которого в 2022 г. достиг 1600 млрд руб. При этом

в структуре суммарного ущерба, причиненного экономике страны ВЭБ-инфекцией, лидирующую позицию занял мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19, что указывает на необходимость проведения дальнейших исследований по оценке экономического ущерба от COVID-19 с учетом полученных в настоящем исследовании данных.

Экономический ущерб от инфекционного мононуклеоза, вызванного ВЭБ, по данным настоящего исследования составил 2,34 млрд руб. (0,3 % суммарного экономического ущерба). При сопоставлении этого значения с таковым, приведенным в государственном докладе Роспотребнадзора (3,4 млрд руб.), можно сделать вывод, что сравниваемые величины имеют один порядок, что свидетельствует об адекватности использованной нами методики расчета. Незначительное превышение размера ущерба по данным Роспотребнадзора, вероятно, обусловлено тем, что этиологическим агентами инфекционного мононуклеоза помимо ВЭБ могут быть и другие патогены [5, 6].

Важным является тот факт, что расходы, сопряженные со случаями болезни взрослого населения, преобладали над таковыми для детей. Поскольку инфицирование ВЭБ происходит преимущественно в детском возрасте и может протекать в форме инфекционного мононуклеоза, такие случаи заболевания подлежат учету и регистрации, попадая в фокус внимания специалистов [4, 20]. У взрослых индивидуумов, как правило, происходит реактивация хронической ВЭБ-инфекции или повторное заражение новым генотипом вируса, которые имеют клиническую картину схожую с течением других заболеваний [21]. В связи с этим мероприятия по сокращению экономических потерь должны быть направлены, в первую очередь, на своевременное выявление и изоляцию таких больных с целью предотвращения распространения возбудителя, для чего необходимо введение самостоятельного статистического учета случаев ВЭБ-инфекции. Перспективным является поиск возможных кандидатных препаратов для специфической иммунопрофилактики исследуемой инфекции, поскольку именно вакцинация признана наиболее эффективной мерой снижения бремени заразных болезней.

Необходимо отметить, что реальный ущерб, причиненный экономике страны ВЭБ-инфекцией, будет значительно выше полученного в настоящем исследовании значения, в которое не вошли не прямые потери, связанные со смертностью и инвалидностью [16–19], а также прямые и не прямые потери от иных нозологических форм, обусловленных ВЭБ-инфекцией (онкологическая и аутоиммунная патология) [7–10], конкретный вклад в развитие которых исследуемого патогена на настоящий момент не определен. Вышеизложенное указывает на необходимость продолжения изучения суммарного экономического ущерба, обусловленного ВЭБ-инфекцией, при получении новых сведений о роли вируса в формировании болезней, инвалидизации и смертности населения.

Заключение. Таким образом, суммарный ущерб, причиненный в 2022 году экономике Российской Федерации ВЭБ-инфекцией, составил 923,12 млрд руб., что существенно выше аналогичных значений для всех других регистрируемых инфекционных болезней за исключением COVID-19.

Более 90 % всех расходов приходится на обусловленные ВЭБ-инфекцией мультисистемный воспалительный синдром, связанный с COVID-19, инфекции верхних дыхательных путей и церебро-

васкулярную болезнь. При этом в структуре суммарных расходов преобладают не прямые потери экономики вследствие выбытия индивидуумов из трудовых отношений, составившие 816,94 млрд руб. (88,5 % всех затрат).

Полученные в настоящем исследовании данные позволяют наметить направления разработки мер по снижению экономического ущерба от ВЭБ-инфекции, в том числе за счет увеличения прямых инвестиций на профилактику и лечение заболеваний, внесших основной вклад в суммарные потери. Предупреждение развития болезни и уменьшение длительности ее течения позволит сократить расходы, связанные как с лечением, так и с выбытием индивидуумов из трудовых отношений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bu GL, Xie C, Kang YF, Zeng MS, Sun C. How EBV infects: The tropism and underlying molecular mechanism for viral infection. *Viruses*. 2022;14(11):2372. doi: 10.3390/v14112372
2. Kerr JR. Epstein Barr virus (EBV) reactivation and therapeutic inhibitors. *J Clin Pathol*. 2019;72(10):651–658. doi: 10.1136/jclinpath-2019-205822
3. Свитич О.А., Зверев В.В., Соломай Т.В., Семененко Т.А., Ноздрачева А.В., Готвянская Т.П. Возможности банка биологических образцов для серологического мониторинга инфекционной заболеваемости // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023. Т. 22. № 11. С. 99–105. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3693
4. Попкова М.И., Уткин О.В., Соболева Е.А., Филатова Е.Н., Брызгалова Д.А., Сахарнов Н.А. Клинико-лабораторная характеристика инфекционного мононуклеоза, вызванного вирусом Эпштейна – Барр 1-го типа, у госпитализированных детей // Журнал инфектологии. 2023. Т. 15. № 1. С. 36–47. doi: 10.22625/2072-6732-2023-15-1-36-47
5. Bravender T. Epstein-Barr virus, cytomegalovirus, and infectious mononucleosis. *Adolesc Med State Art Rev*. 2010;21(2):251–64, ix.
6. Мелехина Е.В., Горелов А.В. К вопросу о клинической классификации инфекции, вызванной вирусом герпеса человека 6А/В, у детей. *Инфекционные болезни*. 2020. Т. 18. № 1. С. 5–16. doi: 10.20953/1729-9225-2020-1-5-16
7. Yang T, You C, Meng S, Lai Z, Ai W, Zhang J. EBV infection and its regulated metabolic reprogramming in nasopharyngeal tumorigenesis. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022;12:935205. doi: 10.3389/fcimb.2022.935205
8. Pyo JS, Kim NY, Kang DW. Prognostic implication of EBV infection in gastric carcinomas: A systematic review and meta-analysis. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(5):834. doi: 10.3390/medicina59050834
9. Soldan SS, Lieberman PM. Epstein-Barr virus and multiple sclerosis. *Nat Rev Microbiol*. 2023;21(1):51–64. doi: 10.1038/s41579-022-00770-5
10. Tangye SG. Genetic susceptibility to EBV infection: Insights from inborn errors of immunity. *Hum Genet*. 2020;139(6-7):885–901. doi: 10.1007/s00439-020-02145-3
11. Соломай Т.В., Семененко Т.А., Филатов Н.Н., Колбута К.Б., Олейникова Д.Ю., Каражас Н.В. Роль детей и взрослых как резервуара возбудителей в период сезонного подъема заболеваемости инфекциями верхних дыхательных путей // Детские инфекции. 2020. Т. 19. № 3. С. 5–11. doi: 10.22627/2072-8107-2020-19-3-5-11
12. Соломай Т.В., Семененко Т.А., Филатов Н.Н., Хабазов Р.И., Дулик Н.В., Дундуа Д.П., Колышкина Н.А., Конев А.В. Риск развития болезней системы кровообращения на примере нарушений ритма сердца у пациентов

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-3-7-14>
Original Research Article

- с серологическими маркерами Эпштейна – Барр вирусной инфекции. Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 150–159. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.15
13. Соломай Т.В., Семененко Т.А., Исаева Е.И., Ветрова Е.Н. Роль активной Эпштейна – Барр вирусной инфекции в развитии цереброваскулярных болезней. Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. 2022. Т. 12. № 2. С. 34–41. doi: 10.18565/epidem.2022.12.2.34-41
 14. Соломай Т.В., Семененко Т.А., Ведунова С.Л., Исаева Е.И., Ветрова Е.Н., Каражас Н.В. Роль активной герпес-вирусной инфекции в формировании atopического дерматита и псориаза. Сибирский научный медицинский журнал. 2022. Т. 42. № 3. С. 94–102. doi: 10.18699/SSMJ20220312
 15. Соломай Т.В., Семененко Т.А., Филатов Н.Н., Ведунова С.Л., Лавров В.Ф., Смирнова Д.И., Грачёва А.В., Файзулов Е.Б. Реактивация инфекции, вызванной вирусом Эпштейна–Барр (Herpesviridae: Lymphocryptovirus, HHV-4), на фоне COVID-19: эпидемиологические особенности. Вопросы вирусологии. 2021. Т. 66. № 2. С. 152–161. doi:10.36233/0507-4088-40
 16. Михеева М.А., Михеева И.В. Динамика рейтинга экономического ущерба от инфекционных болезней как критерий эффективности эпидемиологического контроля. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2020. Т. 97. № 2. С. 174–181. doi: 10.36233/0372-9311-2020-97-2-174-181
 17. Шаханова И.Л., Осипова Л.А. Экономические потери от инфекционной заболеваемости в России: величины и тенденции. Эпидемиология и инфекционные болезни. 2005. № 4. С. 19–21.
 18. Соколова О.В., Ушакова Т.Н., Зыкова Н.В., Бузинов Р.В., Токарев Н.К. Оценка экономического ущерба от клещевого вирусного энцефалита в Архангельской области с использованием показателя „потерянные годы потенциальной жизни“. Социальные аспекты здоровья населения. 2023. Т. 69. № 3. С. 12. doi: 10.21045/2071-5021-2023-69-3-12
 19. Иванова А.В., Сафронов В.А., Зубова А.А., Попов Н.В., Кожанова О.И., Матвеева Н.И., Вяткин И.Н., Щербакова С.А., Кутырев В.В. Методические подходы к оценке экономического ущерба, связанного с заболеваемостью геморрагической лихорадкой с почечным синдромом в Российской Федерации. Проблемы особо опасных инфекций. 2023. № 1. С. 96–104. doi: 10.21055/0370-1069-2023-1-96-104
 20. Бобровицкая А.И., Дубовая А.В., Лепихова Л.П., Захарова Л.А., Карачаева Е.С. Некоторые клинико-патогенетические аспекты первичной формы Эпштейна – Барр вирусной инфекции у детей. Военная и тактическая медицина, медицина неотложных состояний. 2022. Т. 2. № 5. С. 42–56. doi: 10.55359/2782-3296.2022.81.55.006
 21. Орадовская И.В., Викулов Г.Х., Колобухина Л.В., Малышев Н.А., Антипат Н.А. Герпесвирусные инфекции у взрослых жителей г. Москвы: заболеваемость, распространенность, нозологические формы и алгоритм ведения. Инфекционные болезни. 2022. Т. 20. № 4. С. 125–142. doi: 10.20953/1729-9225-2022-4-125-142
 22. 2023;22(11):99-105. (In Russ.) doi: 10.15829/1728-8800-2023-3693
 4. Popkova MI, Utkin OV, Soboleva EA, Filatova EN, Bryzgalova DA, Sakharov NA. The clinical and laboratory characteristics of infectious mononucleosis caused by the Epstein-Barr virus type 1 in hospitalized children. *Zhurnal Infektologii*. 2023;15(1):36-47. (In Russ.) doi: 10.22625/2072-6732-2023-15-1-36-47
 5. Bravender T. Epstein-Barr virus, cytomegalovirus, and infectious mononucleosis. *Adolesc Med State Art Rev*. 2010;21(2):251-64, ix.
 6. Melekhnina EV, Gorelov AV. On the problem of clinical classification of infection associated with human herpesvirus 6A/B in children. *Infektsionnye Bolezni*. 2020;18(1):5-16. (In Russ.) doi: 10.20953/1729-9225-2020-1-5-16
 7. Yang T, You C, Meng S, Lai Z, Ai W, Zhang J. EBV infection and its regulated metabolic reprogramming in nasopharyngeal tumorigenesis. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022;12:935205. doi: 10.3389/fcimb.2022.935205
 8. Pyo JS, Kim NY, Kang DW. Prognostic implication of EBV infection in gastric carcinomas: A systematic review and meta-analysis. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(5):834. doi: 10.3390/medicina59050834
 9. Soldan SS, Lieberman PM. Epstein-Barr virus and multiple sclerosis. *Nat Rev Microbiol*. 2023;21(1):51-64. doi: 10.1038/s41579-022-00770-5
 10. Tangye SG. Genetic susceptibility to EBV infection: Insights from inborn errors of immunity. *Hum Genet*. 2020;139(6-7):885-901. doi: 10.1007/s00439-020-02145-3
 11. Solomay TV, Semenenko TA, Filatov NN, Kolbutova KB, Oleinikova DYU, Karazhas NV. The role of children and adults as a reservoir of pathogens during the seasonal rise in the incidence of upper respiratory tract infections. *Detskije Infektsii*. 2020;19(3):5-11. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2020-19-3-5-11
 12. Solomay TV, Semenenko TA, Filatov NN, et al. Risk of circulatory diseases on the example of heart rhythm disorders in patients with serological markers of Epstein-Barr infection. *Health Risk Analysis*. 2021;(3):146-155. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.15.eng
 13. Solomay TV, Semenenko TA, Isaeva EI, Vetrova EN. The role of active Epstein-Barr viral infection in the development of cerebrovascular diseases. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni. Aktual'nye Voprosy*. 2022;12(2):34-41. (In Russ.) doi: 10.18565/epidem.2022.12.2.34-41
 14. Solomay TV, Semenenko TA, Vedunova SL, Isaeva EI, Vetrova EN, Karazhas NV. The role of active herpesvirus infection in the formation of atopic dermatitis and psoriasis. *Sibirskiy Nauchnyy Meditsinskiy Zhurnal*. 2022;42(3):94-102. (In Russ.) doi: 10.18699/SSMJ20220312
 15. Solomay TV, Semenenko TA, Filatov NN, et al. Reactivation of Epstein-Barr virus (Herpesviridae: Lymphocryptovirus, HHV-4) infection during COVID-19: Epidemiological features. *Voprosy Virusologii*. 2021;66(2):152-161. (In Russ.) doi: 10.36233/0507-4088-40
 16. Mikheeva MA, Mikheeva IV. Ranking dynamics of economic burden of infectious diseases as a criterion of effectiveness of epidemiologic control. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2020;97(2):174-181. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-2020-97-2-174-181
 17. Shakhnina IL, Osipova LA. Economic losses due to infectious diseases in Russia: Sizes and trends. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni*. 2005;(4):19-21. (In Russ.)
 18. Sokolova OV, Ushakova TN, Zykhova NV, Buzinov RV, Tokarevich NK. The assessment of economic damage from tick-borne encephalitis based on potential years of life lost. *Sotsial'nye Aspekty Zdorov'ya Naseleniya*. 2023;69(3):12. (In Russ.) doi: 10.21045/2071-5021-2023-69-3-12
 19. Ivanova AV, Safronov VA, Zubova AA, et al. Methodological approaches to assessing the economic damage

REFERENCES

1. Bu GL, Xie C, Kang YF, Zeng MS, Sun C. How EBV infects: The tropism and underlying molecular mechanism for viral infection. *Viruses*. 2022;14(11):2372. doi: 10.3390/v14112372
2. Kerr JR. Epstein Barr virus (EBV) reactivation and therapeutic inhibitors. *J Clin Pathol*. 2019;72(10):651-658. doi: 10.1136/jclinpath-2019-205822
3. Svitich OA, Zverev VV, Solomay TV, Semenenko TA, Nozdacheva AV, Gotvyanskaya TP. Possibilities of a biobank for serological monitoring of infectious morbidity. *Kardiovaskulyarnaya Terapiya i Profilaktika*.

associated with the incidence of hemorrhagic fever with renal syndrome in the Russian Federation. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsiy*. 2023;(1):96-104. (In Russ.) doi: 10.21055/0370-1069-2023-1-96-104

20. Bobrovitskaya AI, Dubovaya AV, Lepikhova LP, Zakharova LA, Karachaeva ES. Some clinical and pathogenetic aspects of the primary form of Epstein-Barr viral infection in children. *Voennaya i Takticheskaya Meditsina, Meditsina*

Neotlozhnykh Sostoyaniy. 2022;(2(5)):42-56. (In Russ.) doi: 10.55359/2782-3296.2022.81.55.006

21. Oradovskaya IV, Vikulov GK, Kolobukhina LV, Malyshev NA, Antipyat NA. Herpesvirus infections in adult residents of Moscow: Incidence, prevalence, nosological forms and algorithm of management. *Infektsionnye Bolezni*. 2022;20(4):125-142. (In Russ.) doi: 10.20953/1729-9225-2022-4-125-142

Сведения об авторах:

✉ **Соломай** Татьяна Валерьевна – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; старший научный сотрудник лаборатории эпидемиологического анализа и мониторинга инфекционных заболеваний ФГБНУ «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова» Минобрнауки России; e-mail: solomay@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7040-7653>.

Воронин Евгений Михайлович – к.м.н., руководитель научной группы математических методов и эпидемиологического прогнозирования ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: emvoronin@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5925-7757>.

Семененко Татьяна Анатольевна – д.м.н., профессор, профессор кафедры инфектологии и вирусологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет); руководитель отдела эпидемиологии ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России; e-mail: semenenko@gamaleya.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6686-9011>.

Лаврухина Екатерина Валерьевна – студентка кафедры медицинской кибернетики и информатики им. С.А. Гаспаряна ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; e-mail: katenkat7@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0139-733X>.

Кузин Станислав Николаевич – д.м.н., профессор, заведующий лабораторией вирусных гепатитов ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: drkuzin@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0616-9777>.

Тутельян Алексей Викторович – д.м.н., член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; профессор кафедры эпидемиологии Института профессионального образования ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет); e-mail: bio-tav@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2706-6689>.

Акимкин Василий Геннадьевич – д.м.н., профессор, академик РАН, директор ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора; e-mail: vgakimkin@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8139-0247>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Акимкин В.Г., Воронин Е.М., Соломай Т.В., Семененко Т.А., Кузин С.Н., Тутельян А.В.; сбор данных: Соломай Т.В., Лаврухина Е.В.; анализ и интерпретация результатов: Соломай Т.В., Семененко Т.А., Тутельян А.В., Кузин С.Н.; обзор литературы: Соломай Т.В., Семененко Т.А.; подготовка проекта рукописи: Соломай Т.В., Семененко Т.А., Воронин Е.М., Кузин С.Н., Тутельян А.А., Акимкин В.Г. 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: 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: 20.02.24 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ Tatyana V. Solomay, Cand. Sci. (Med.); Senior Researcher, Laboratory of Health Care-Associated Infections, Central Research Institute of Epidemiology; Senior Researcher, Laboratory of Epidemiological Analysis and Monitoring of Infectious Diseases, I.I. Mechnikov Scientific Research Institute of Vaccines and Serums; e-mail: solomay@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7040-7653>.

Evgeny M. Voronin, Cand. Sci. (Med.); Head of the Scientific Group of Mathematical Methods and Epidemiological Forecasting, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: emvoronin@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5925-7757>.

Tatiana A. Semenenko, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Professor, Department of Infectology and Virology, Institute of Professional Education, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); Head of Epidemiology Department, N.F. Gamaleya National Research Center for Epidemiology and Microbiology; e-mail: semenenko@gamaleya.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6686-9011>.

Ekaterina V. Lavrukina, student, S.A. Gasparyan Department of Medical Cybernetics and Informatics, N.I. Pirogov National Research Medical University; e-mail: katenkat7@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0139-733X>.

Stanislav N. Kuzin, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Head of the Laboratory of Viral Hepatitis, Central Research Institute of Epidemiology; e-mail: drkuzin@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0616-9777>.

Alexey V. Tutelyan, Dr. Sci. (Med.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Head of the Laboratory of Health Care-Associated Infections, Central Research Institute of Epidemiology; Professor, Department of Epidemiology, Institute of Professional Education, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); e-mail: bio-tav@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2706-6689>.

Vasily 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/0000-0001-8139-0247>.

Author contributions: study conception and design: Akimkin V.G., Voronin E.M., Solomay T.V., Semenenko T.A., Kuzin S.N., Tutelyan A.V.; data collection: Solomay T.V., Lavrukina E.V.; analysis and interpretation of results: Solomay T.V., Semenenko T.A., Tutelyan A.V., Kuzin S.N.; bibliography compilation and referencing: Solomay T.V., Semenenko T.A.; draft manuscript preparation: Solomay T.V., Semenenko T.A., Voronin E.M., Kuzin S.N., Tutelyan A.V., Akimkin V.G. 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: Vasily 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: February 20, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Оценка эффективности применения стандартных операционных процедур по результатам санитарно-бактериологических исследований в отделении судебно-медицинской экспертизы

Д.Е. Васильев

Институт фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Карла Маркса, д. 76, г. Казань, 420012, Российская Федерация

Резюме

Введение. Деятельность работников бюро судебно-медицинской экспертизы связана с повышенным риском заразиться опасными инфекционными заболеваниями. Внедрение стандартных операционных процедур в деятельность бюро способно увеличить биологическую безопасность работников.

Цель исследования: оценить эффективность внедрения в деятельность бюро стандартных операционных процедур, направленных на повышение биологической безопасности персонала отделения экспертизы трупов Республиканского бюро Судебно-медицинской экспертизы города Казани.

Материалы и методы. Материалом явились результаты санитарно-бактериологических исследований (до внедрения стандартных процедур и после). Методам математической статистики (критерий t -Стьюдента, U -критерий Манна – Уитни, тест МакНемара) подверглись результаты 120 проб воздуха (на общее количество микроорганизмов, количество колоний золотистого стафилококка *S. aureus*, количество плесневых и дрожжевых грибов) и 320 смывов с различных поверхностей (на стафилококки и бактерии группы кишечных палочек) в отделении экспертизы трупов за период с 03.02.2021 по 18.06.2021.

Результаты. Анализ проб воздуха (40 проб) на общее количество микроорганизмов после применения стандартных операционных процедур показал значительное уменьшение бактериологической обсемененности в помещениях: Студенческая секционная с 1000,0 до 226,7 КОЕ/м³ ($T = 5,7, p < 0,01$), секционная № 1 с 812,5 до 165,0 КОЕ/м³ ($T = 6,287, p < 0,001$); а также статистически значимое уменьшение содержания плесени и дрожжей в воздухе помещений: секционная № 1 ($T = 3,727, p < 0,01$), студенческая секционная ($T = 5,129, p < 0,01$). Выявлено: частота обнаружения бактерий группы кишечной палочки на различных поверхностях и на секционных инструментах (160 проб) статистически значимо уменьшилась ($p < 0,001$).

Заключение. Результаты санитарно-бактериологических исследований показали, что после внедрения стандартных операционных процедур в деятельность Республиканского бюро судебно-медицинской экспертизы города Казани микробная обсемененность уменьшилась в отделении экспертизы трупов. Можно утверждать об эффективности стандартных операционных процедур для обеспечения биологической безопасности работников медицинских организаций.

Ключевые слова: биологическая безопасность, санитарно-бактериологические исследования, судебно-медицинская экспертиза, стандартная операционная процедура.

Для цитирования: Васильев Д.Е. Оценка эффективности применения стандартных операционных процедур по результатам санитарно-бактериологических исследований в отделении судебно-медицинской экспертизы // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 15–22. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-15-22

Evaluation of Effectiveness of Following Standard Operating Procedures in the Department of Forensic Medical Examination Based on Bacteriological Test Results

Denis E. Vasiliev

Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University,
76 Karl Marx Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420012, Russian Federation

Summary

Introduction: The activities of forensic medical examiners are associated with an elevated risk of contracting highly infectious diseases. Introduction of standard operating procedures into the daily practice of these health professionals can increase their biological safety.

Objective: To evaluate effectiveness of implementing standard operating procedures (SOPs) in order to improve biological safety of the personnel performing autopsies in the Republican Bureau of Forensic Medicine in the city of Kazan.

Materials and methods: The results of bacteriological testing of 120 indoor air samples for the total plate count, *Staphylococcus aureus*, yeast, and mold counts, and 320 surface wipe samples for *S. aureus* and total coliform counts, collected from February 3, 2021 to June 18, 2021 in the Autopsy Division before and after enforcement of standard operating procedures, were analyzed using the Student's t -test, Mann-Whitney U test, and McNemar test.

Results: The analysis of 40 air samples taken after SOP enforcement and tested for the total plate count showed a significant decrease in bacteriological contamination of the premises: from 1,000.0 to 226.7 CFU/m³ ($T = 5.7, p < 0.01$) and from 812.5 to 165.0 CFU/m³ ($T = 6.287, p < 0.001$) in the Teaching Autopsy Room and Autopsy Room One, respectively. A statistical decrease was also observed in airborne fungal concentrations in Autopsy Room One ($T = 3.727, p < 0.01$) and the Teaching Autopsy Room ($T = 5.129, p < 0.01$). The post-SOP frequency of detection of coliform bacteria on various surfaces and autopsy instruments demonstrated a significant reduction as well (160 wipe samples, $p < 0.001$).

Conclusions: The study results show a pronounced decrease in microbial contamination of the Autopsy Division following adoption of standard operating procedures at the Republican Bureau of Forensic Medicine in the city of Kazan. It can be argued that standard operating procedures are effective in ensuring biological safety of healthcare workers.

Keywords: biological safety, bacteriological testing, forensic medical examination, standard operating procedure.

Cite as: Vasiliev DE. Evaluation of effectiveness of following standard operating procedures in the Department of Forensic Medical Examination based on bacteriological test results. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):15–22. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-15-22

Введение. Опасность заразиться социально-значимыми или опасными инфекционными заболеваниями сопровождает труд врачей судебно-медицинских экспертов постоянно и является неотъемлемым фактором риска их производственной деятельности¹ [1–3].

Судебно-медицинские эксперты каждый день используют для работы большое количество спецодежды, которая загрязняется в ходе производства судебно-медицинских экспертиз, на кожу рук или других частей тела попадает кровь, биологические жидкости, секреты и экскреты организма. В соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 3.3686–21 биоматериал подобного рода относится к патологическим биологическим агентам (ПБА) и может содержать патогенные микроорганизмы I–IV групп опасности^{2,3}. Подобные ПБА могут встречаться и на инструментарии, необходимом для производства вскрытия, и на других элементах производственной среды в секционных залах.

Патологоанатомическое вскрытие предполагает исследование инфицированных органов трупа и запускает тем самым мощный искусственный механизм передачи возбудителей инфекций.

Кроме того, необходимо учитывать, что каждый пятый труп, попадающий на секционный стол в бюро судебно-медицинской экспертизы, имеет выраженные гнилостные изменения в той или иной степени, часто умершие при жизни страдали педикулезом, чесоткой или другими кожными заболеваниями [4–6].

Таким образом, при проведении необходимых исследований для персонала, осуществляющего свою профессиональную деятельность, в том числе в секционных залах, существует высокая биологическая угроза [7, 8]. Огромные риски испытывают также и сотрудники других структурных подразделений бюро, в особенности лабораторных: судебно-биологического, судебно-химического, судебно-гистологического, медико-криминалистического отделений, в которых производятся исследования биологических объектов, изъятых у возможно инфицированного трупа⁴ [9–12].

Мазуркевич В.В. и соавт. подтвердили необходимость системы эпидемиологической безопасности сотрудников бюро судебно-медицинской экспертизы ввиду высокой частоты встречаемости ДНК микобактерий туберкулеза в смывах с поверхностей и объектов [13]. Отмечено, что основными, но не исчерпывающими мерами защиты являются планировочные и строительные мероприятия.

Анализ загрязнения поверхностей и объектов в БСМЭ позволяют предположить необходимость разработки комплексного плана организационных мероприятий по обеспечению эпидемиологической и санитарно-биологической безопасности сотрудников [14–16]. Одним из эффективных способов является внедрение стандартных операционных процедур (СОП) на каждом из этапов технологического процесса [17–19]. СОП – стандартная операционная процедура, которая четко, с соблюдением всех регламентов и временных рамок, определяет действия персонала и пошагово описывает его действия⁵. Основная цель внедрения процедур – это обеспечение эпидемиологической безопасности в рамках поддержания менеджмента качества бюро судебно-медицинской экспертизы, в т. ч. для достижения последовательных, согласованных, предсказуемых и воспроизводимых результатов работы [20–22].

При этом необходимо исходить из того, что при производстве судебно-медицинской экспертизы (исследования) трупа вероятность заражения инфекционными заболеваниями сотрудников бюро должна быть сведена к нулю на любом этапе производства, и опасность для окружающей среды, в том числе и от биологических отходов, должна полностью отсутствовать [23–25].

Целью исследования является оценка эффективности внедрения в деятельность бюро стандартных операционных процедур, направленных на повышение биологической безопасности персонала отделения экспертизы трупов ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ» г. Казани.

Материалы и методы. Объектом исследования явилось отделение экспертизы трупов ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ» г. Казани. За период с 03.02.2021 по 18.06.2021 проводились санитарно-бактериологические исследования, было отобрано 120 проб воздуха и 320 смывов с различных поверхностей в отделении.

В деятельность ГАУЗ «БСМЭ МЗ РТ» по внутреннему приказу было внедрено 17 Стандартных операционных процедур⁶ (СОП), которые включали детальное описание технологических этапов, связанных с профилактикой распространения микробной обсемененности, изменение принципов обработки секционных инструментов (от децентрализованного к централизованному), введение документооборота по отслеживанию обучения персонала, были расширены функции эпидемиолога по контролю внедренных мероприятий, подключен

¹ Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г.

² СанПиН 3.3686–21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 4).

³ СП 1.2.011–94 «Безопасность работы с микроорганизмами I–II групп патогенности» (утв. Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 № 2467).

⁴ МУ 3.4.2552–09 «Организация и проведение первичных противоэпидемических мероприятий в случаях выявления больного (трупа), подозрительного на заболевания инфекционными болезнями, вызывающими чрезвычайные ситуации в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17.09.2009).

⁵ Предложения Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения от 25.12.2015 «Предложения (практические рекомендации) по организации внутреннего контроля качества и безопасности медицинской деятельности в медицинской организации (стационаре).

⁶ Приказ «О внедрении стандартных операционных процедур (СОП) в ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ» при обеспечении санитарно-эпидемиологических мероприятий» от 16 февраля 2021 года (в приложении реестр из 17 СОП).

к работе дезинфектор при проведении текущей и заключительной дезинфекций.

Исследование проводилось в несколько этапов: 1) в период с 03.02.2021 по 15.02.2021 проводились бактериологические исследования при текущих условиях работы персонала (48 проб воздуха, 128 смывов с поверхностей); 2) в период 17.02.2021 по 18.06.2021 проводились бактериологические исследования после того, как с 16.02.2021 ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ» вступил в силу перечень СОП, по которым начал работать персонал учреждения (72 пробы воздуха, 192 смыва с поверхностей); 3) проводилась оценка эффективности внедрения в деятельность бюро СОП. Критерием для оценки эффективности стали результаты санитарно-бактериологических исследований воздуха и различных поверхностей до и после внедрения.

Первичные материалы были подвергнуты математической обработке на персональном компьютере с использованием табличного процессора MS Excel 2010. Полученные результаты санитарно-бактериологических исследований воздуха в помещениях отделения экспертизы трупов ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ» были обработаны с помощью основных методов математической статистики:

- критерий *t*-Стьюдента (независимые выборки);
- *U*-критерий Манна – Уитни.

Оценка достоверности сдвига в значениях исследуемого признака до и после эксперимента оценивалось при помощи:

- *t*-критерия Стьюдента (для зависимых выборок).

Результаты санитарно-бактериологических исследований на поверхностях помещений и с поверхностей секционных инструментов были распределены на две группы: до внедрения в действие стандартных операционных процедур (СОП) и после внедрения. Для сравнения таких зависимых совокупностей («до – после») наиболее подходящим явился тест МакНемара, который применяется для анализа связанных измерений.

Отбор проб воздуха производился по Методическим указаниям МУК 4.2.2942–11⁷ аспирационным способом. Исследования бактериальной обсемененности воздушной среды на следующие санитарно-микробиологические показатели:

- общее количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха (КОЕ/м³);
- количество колоний золотистого стафилококка (*S. aureus*) в 1 м³ воздуха (КОЕ/м³);
- количество плесневых и дрожжевых грибов в 1 м³ воздуха.

Отбор проб с различных поверхностей осуществлялся по МР 4.2.0220–20⁸ методом смывов. Бактериологическое исследование микробной обсемененности объектов внешней среды предусматривало определение стафилококков и бактерий группы кишечных палочек (БГКП). Контрольной группой явились пробы, которые были отобраны до внедрения разработанных стандартных операционных процедур.

Объем исследований отражен в табл. 1.

Период с 03.02.2021 по 15.02.2021 условно назван «До применения СОП». Результаты всех смывов, входящие в данную группу, явились контрольной группой. Период с 17.02.2021 по 18.06.2021 условно назван «После применения СОП», и результаты всех смывов, входящие в данную группу, явились основной группой исследования.

Все исследования проводились во время производственного процесса после проведения обработки поверхностей.

Результаты

Оценка результатов санитарно-бактериологических исследований воздуха по общему числу микроорганизмов

Место забора проб в отделении экспертизы трупов, даты исследования и данные протоколов измерения воздуха на общее количество микроорганизмов до (в период с 03.02.2021 по 15.02.2021) и после применения СОП (в период с 17.02.2021

Таблица 1. Объем санитарно-бактериологических исследований в отделении экспертизы трупов ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ»

Table 1. Scope of bacteriological testing of environmental samples taken in the Autopsy Division of the Republican Bureau of Forensic Medicine, Kazan

№	Места забора проб / Sampling sites	Объект исследований / Object of testing	Общее кол-во исследований / Total number of tests	Количество исследований до и после внедрения СОП / Number of tests before and after SOP implementation	
				до / before	после / after
1	Воздух секционных помещений / Indoor air of autopsy rooms	Общее количество микроорганизмов / Total plate count	40	16	24
2	Воздух секционных помещений / Indoor air of autopsy rooms	Плесень и дрожжи / Mold and yeast	40	16	24
3	Воздух секционных помещений / Indoor air of autopsy rooms	<i>S. aureus</i>	40	16	24
4	Поверхности секционных помещений / Surfaces of autopsy rooms	БГКП / Coliform bacteria	160	64	96
5	Поверхности секционных помещений / Surfaces of autopsy rooms	<i>S. aureus</i>	160	64	96
ИТОГО / TOTAL			440	176	264

⁷ МУК 4.2.2942–11 «Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ, Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Г.Г.Онищенко 15 июля 2011 г.).

⁸ МР 4.2.0220–20 «Методы санитарно-бактериологического исследования микробной обсемененности объектов внешней среды» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 04.12.2020).

по 17.05.2021). Забор проб осуществлялся в следующих помещениях: студенческая секционная, секционная с ламинарами, секционная модуля и секционная № 1.

Для сравнения группы «Измерения до применения СОП» и группы «Измерения после применения СОП» между собой был использован критерий U-Манна – Уитни, который показал высокую степень различий между сравниваемыми группами, при уровне значимости $p < 0,01$ в трех помещениях: студенческая секционная, секционная модуля и секционная № 1. Например, в студенческой секционной критерий U-Манна – Уитни составил 24,0 ($p < 0,01$). Остальные данные представлены в табл. 2.

Для сравнения группы «Измерения до применения СОП» и группы «Измерения после применения СОП» между собой использовался критерий t-Стюдента для независимых выборок. Данные представлены в табл. 3.

Были выявлены значимые различия между группой «Измерения до применения СОП» и группой «Измерения после применения СОП» по шкале «Пробы воздуха на микроорганизмы после работы в студенческой секционной» ($T = 5,7, p < 0,01$). Среднее значение в группе «Измерения до применения СОП» ($X = 1000$) существенно больше среднего значения группы «Измерения после применения СОП» ($X = 226,7$). Также были выявлены значимые различия между группой «Измерения до применения СОП» и группой «Измерения после применения СОП» по шкале «Пробы воздуха на микроорганизмы после работы в секционной модуля» ($T = 3,792, p < 0,05$). В группе «Измерения до применения СОП» среднее значение

равно 875, что значительно больше среднего значения группы «Измерения после применения СОП», равного 135. Аналогично, были выявлены значимые различия между группой «Измерения применения СОП» и группой «Измерения после применения СОП» по шкале «Пробы воздуха на микроорганизмы после работы в секционной № 1» ($T = 6,287, p < 0,001$). Среднее значение в группе «Измерения до применения СОП» ($X = 812,5$) больше среднего значения группы «Измерения после применения СОП» ($X = 165$).

Таким образом, достоверно установлено, что пробы воздуха на микроорганизмы после проведения СОП показали значительное уменьшение бактериологической обсемененности в помещениях «стudenческая секционная», «секционная модуля», «секционная № 1» (см. табл. 3).

Результаты санитарно-бактериологических исследований воздуха на плесень и дрожжи

Были собраны данные протоколов измерения на определение количества плесени и дрожжей в воздухе рабочей зоны до (в период с 03.02.2021 по 15.02.2021) и после (в период с 17.02.2021 по 17.05.2021) применения СОП. Забор проб осуществлялся в следующих помещениях: студенческая секционная, секционная с ламинарами, секционная модуля и секционная № 1.

Для сравнения группы «Измерения до применения СОП» и группы «Измерения после применения СОП» между собой был использован критерий t-Стюдента для независимых выборок. Данные представлены в табл. 4.

Были выявлены значимые различия между группой «Измерения до применения СОП» и группой

Таблица 2. Эмпирические значения критерия U-Манна – Уитни

Table 2. Empirical values of the Mann-Whitney U test

Названия шкал / Scale names	Среднее значение в группах «Измерения до и после применения СОП», КОЕ/м ³ / Mean for "Testing before and after SOP implementation", CFU/m ³		Эмпирическое значение критерия / Empirical value of the criterion	p
	До / Before	После / After		
Пробы воздуха в студенческой секционной / Air samples from the Teaching Autopsy Room	1000,0	226,7	24,0	0,01
Пробы воздуха в секционной с ламинарами / Air samples from the Autopsy Room with laminar flow cabinets	575,0	88,3	23,5	0,014
Пробы воздуха в секционной модуля / Air samples from the Autopsy Module	875,0	135,0	24,0	0,01
Пробы воздуха в секционной № 1 / Air samples from Autopsy Room One	812,5	165,0	24,0	0,01

Таблица 3. Эмпирические значения критерия t-Стюдента для независимых выборок для проб воздуха на общее число микроорганизмов

Table 3. Empirical values of the Student's t-test for the air samples tested for the total plate count

Названия помещений / Names of premises	Среднее значение и ошибка среднего в группе «Измерения до и после применения СОП», $M \pm m$, КОЕ/м ³ / Mean and standard error of the mean for "Testing before and after SOP implementation", $M \pm m$, CFU/m ³		Эмпирическое значение критерия / Empirical value of the criterion	p
	До / Before	После / After		
Студенческая секционная / Teaching Autopsy Room	1000 $\pm$ 261,406	226,667 $\pm$ 89,144	5,700	0,007
Секционной модуля / Autopsy Module	575 $\pm$ 327,872	88,333 $\pm$ 34,303	2,958	0,059 $p > 0,05$
Секционная № 1 / Autopsy Room One	875 $\pm$ 384,057	135 $\pm$ 85,264	3,792	0,029
Секционной с ламинарами / Autopsy Room with laminar flow cabinets	812,5 $\pm$ 154,785	165 $\pm$ 166,463	6,287	0

Таблица 4. Эмпирические значения критерия t-Стьюдента для независимых выборок для проб воздуха на плесень и дрожжи

Table 4. Empirical values of the Student's t-test for the air samples tested for mold and yeast

Названия помещений / Names of premises	Среднее значение и ошибка среднего в группе «Измерения до и после применения СОП» $M \pm m$, КОЕ/м ³ / Mean and standard error of the mean for "Testing before and after SOP implementation", $M \pm m$, CFU/m ³		Эмпирическое значение критерия, t / Empirical value of the criterion, t	p
	До / Before	После / After		
Студенческая секционная / Teaching Autopsy Room	25 $\pm$ 5,774	6,667 $\pm$ 5,164	5,129	0,002
Секционной модуля / Autopsy Module	5 $\pm$ 5,774	3,333 $\pm$ 5,164	0,466	0,657 $p > 0,05$
Секционная № 1 / Autopsy Room One	17,5 $\pm$ 5	5 $\pm$ 5,477	3,727	0,007
Секционной с ламинарами / Autopsy Room with laminar flow cabinets	2,5	0	–	–

«Измерения после применения СОП» по шкале «Пробы воздуха на плесени и дрожжи в студенческой секционной» ($T = 5,129$, $p < 0,01$). Среднее значение в группе «Измерения до применения СОП» ($X = 25$) больше среднего значения группы «Измерения после применения СОП» ($X = 6,667$). А вот различия по шкале «Пробы воздуха на плесени и дрожжи в секционной модуля» между группой «Измерения до применения СОП» и группой «Измерения после применения СОП» статистически не значимы. Среднее значение в группе «Измерения до применения СОП» ($X = 5$) больше среднего значения группы «Измерения после применения СОП» ($X = 3,333$). Были выявлены значимые различия между группой «Измерения до применения СОП» и группой «Измерения после применения СОП» по шкале «Пробы воздуха на плесени и дрожжи в секционной № 1» ($T = 3,727$, $p < 0,01$). В группе «Измерения до применения СОП» среднее значение равно 17,5, это больше среднего значения группы «Измерения после применения СОП» равно 5.

Таким образом, внедрение СОП не оказало существенного влияния на количественные показатели проб воздуха на плесени и дрожжи в секционной модуля, но показало значительную эффективность в секционной № 1 и в студенческой секционной.

Результаты микробиологических исследований смывов с поверхностей

При изучении полученных результатов исследования микробной обсемененности объектов внешней среды, для сравнения зависимых совокупностей («до-после»), был использован тест МакНемара (изменения частоты явления на 2 этапах).

Во всех пробах, и в контрольной, и в экспериментальной группах, не был обнаружен *S. aureus*, следовательно, все расчеты и оценка проводились в отношении БГКП. Признаком в обеих группах («Измерения до применения СОП» и «Измерения после применения СОП») было принято: наличие БГКП в смывах – обозначены цифрой 1; отсутствие БГКП в смывах – обозначены цифрой 0.

Далее по результатам наличия или отсутствия БГКП в смывах с поверхностей вводили данные в результирующую четырехпольную таблицу 2×2 (см. табл. 5).

Далее было вычислено значение критерия Хи-квадрат МакНемара. Значение критерия Хи-квадрат МакНемара с поправками Йетса и Эдвардса, а также уровни значимости по результатам микро-

биологических испытаний смывов с поверхностей в отделении экспертизы трупов ГАУЗ «БСМЭ МЗ РТ» отражены в табл. 6.

Снижение частоты признака статистически значимо, $p < 0,001$.

Значение критерия χ^2 МакНемара по результатам микробиологических испытаний смывов с поверхностей в отделении экспертизы трупов ГАУЗ «БСМЭ МЗ РТ» составило 22,154, при уровне значимости $p < 0,001$.

Обсуждение. Традиционно эксперты и сотрудники БСМЭ работают в условиях неочевидности, контактируют с инфицированным или потенциально инфицированным материалом, подвергаются влиянию биологического фактора производственной среды, что создает высокий риск развития профессиональных заболеваний. Основой управления качеством в бюро судебно-медицинской экспертизы

Таблица 5. Четырехпольная таблица 2×2 по результатам наличия или отсутствия БГКП в смывах с поверхностей

Table 5. A 2×2 contingency table based on the results of detecting coliform bacteria in surface wipe samples

	A2 = 1	A2 = 0	ВСЕГО / TOTAL
A1 = 1	12	25	37
A1 = 0	1	26	27
ВСЕГО / TOTAL	13	51	64

Примечание: где A1 – значение признака до эксперимента (применения СОП), A2 – значение признака после эксперимента (применения СОП).

Notes: A1 and A2 are values of the attribute before and after the experiment (SOP implementation), respectively.

Таблица 6. Значение критерия χ^2 МакНемара по результатам микробиологических испытаний смывов с поверхностей в отделении экспертизы трупов ГАУЗ «БСМЭ МЗ РТ»

Table 6. The value of the McNemar's chi-square (χ^2) according to the results of bacteriological testing of surface wipe samples taken in the Autopsy Division of the Republican Bureau of Forensic Medicine, Kazan

Критерий / Criterion	Значение критерия / Criterion value	p
χ^2 МакНемара / McNemar's χ^2	22,154	$< 0,001$
χ^2 МакНемара с поправкой Йетса / McNemar's χ^2 with Yates's continuity correction	21,240	$< 0,001$
χ^2 МакНемара с поправкой Эдвардса / McNemar's χ^2 with Edwards' continuity correction	20,346	$< 0,001$

является комплексный подход, основанный на единстве цели и задач при применении в ежедневной практике методов и форм системы менеджмента качества с учетом риск-ориентированного подхода к организации работы [5, 21]. Важным аспектом судебно-медицинской экспертной деятельности является сохранение безопасных условий труда и соблюдение санитарно-противоэпидемического режима. По данным разных исследователей, уровни загрязненности воздуха и различных поверхностей в БСМЭ могут различаться в течение нескольких лет и в зависимости от объектов, но имеют высокие значения, требующие разработки новых мер профилактики, что также подтверждает статистика заболеваний у сотрудников медицинских организаций [1, 3, 4, 7, 10].

Современная нормативная документация не в полной мере обеспечивает снижение биологических рисков, в большей степени это касается микобактерии туберкулеза, что подтверждают проведенные исследования: в секционной с ламинарами не выявлено статистически значимых изменений в пробах воздуха, как по бактериологической обсемененности, так и по плесени и дрожжам, именно в таких помещениях производится вскрытие умерших от туберкулеза и особо опасных инфекций и установленная система ламинаров позволяет создавать движение воздуха таким образом, что восходящие потоки от вскрываемого тела не попадают в зону дыхания эксперта и санитаров (удаляемый воздух из зоны дыхания персонала проходит этапы фильтрации и инактивации микроорганизмов, содержащихся в нем).

Несмотря на то, что на «вооружении» госпитальных эпидемиологов появился еще один «инструмент»: СанПиН 3.3686–21⁹ в пункте 3534, регламентирует проводить процедуру индикации и разрушения (деструкции) матрикса биологических пленок на абиотических поверхностях, имеющиеся не позволяют уменьшить риск заражения опасными инфекционными заболеваниями работников бюро судебно-медицинской экспертизы.

Проведенное исследование доказывает необходимость введения дополнительных мер профилактики и защиты персонала БСМЭ. Практическое внедрение внутреннего контроля качества и безопасности в судебно-медицинскую экспертную деятельность может обеспечиваться внедрением стандартных операционных процедур: документально оформленные алгоритмы по выполнению рабочих процедур, исполнению требований стандартов и порядка проведения судебно-медицинских экспертных исследований. Данное исследование убедительно показывает эффективность предлагаемых действий и доказывает необходимость регламентации проведения СОП в медицинской практике.

Анализ проб воздуха на общее количество микроорганизмов после применения СОП показал значительное уменьшение бактериологической обсемененности в помещениях отделения экспертизы трупов ГАУЗ «РБСМЭ МЗ РТ». Были выявлены значимые различия между группой «Измерения до

применения СОП» и группой «Измерения после применения СОП» в Студенческой секционной ($T = 5,7$, $p < 0,01$) и в Секционной №1 ($T = 6,287$, $p < 0,001$) и в Секционной модуля ($T = 3,792$, $p < 0,05$);

Оценка результатов санитарно-бактериологических исследований воздуха на плесень и дрожжи выявила, что внедрение СОП показало значительную эффективность в Секционной № 1 ($T = 3,727$, $p < 0,01$) и в Студенческой секционной ($T = 5,129$, $p < 0,01$);

После внедрения в деятельность бюро судебно-медицинской экспертизы СОП частота обнаружения бактерий группы кишечной палочки (БГКП) на различных поверхностях и на секционных инструментах статистически значимо уменьшилась ($p < 0,001$).

Заключение. Результаты микробиологических исследований свидетельствуют о том, что внедрение стандартных операционных процедур, включающих проведение санитарно-гигиенических, дезинфекционных, организационных и планировочных мероприятий, направленных на повышение биологической безопасности персонала, в деятельность ГАУЗ «БСМЭ МЗ РТ» показало свою эффективность и может применяться в качестве обязательной процедуры в учреждениях СМЭ для профилактики и снижения риска биологической угрозы для сотрудников БСМЭ.

Таким образом, в государственных судебно-медицинских экспертных учреждениях необходим комплексный риск-ориентированный подход к организации деятельности всех подразделений, позволяющий обеспечить качество и безопасность проведения судебно-медицинских экспертиз. Перспективным направлением развития внутреннего контроля качества в государственных судебно-медицинских экспертных учреждениях является постоянное развитие системы менеджмента качества, включающей применение СОП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильина О.А., Шулаев А.В., Тимерзянов М.И. Оценка здоровья работников здравоохранения Республики Татарстан на примере врачей-судебно-медицинских экспертов // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 7. С. 34–38. doi 10.35627/2219-5238/2019-316-7-34-38.
2. Hasmi AH, Khoo LS, Koo ZP, et al. The craniotomy box: An innovative method of containing hazardous aerosols generated during skull saw use in autopsy on a COVID-19 body. *Forensic Sci Med Pathol.* 2020;16(3):477-480. doi: 10.1007/s12024-020-00270-z
3. Dufayet L, Langrand J, Ludes B. Risk of occupational infection in forensic workers: A review. *Forensic Sci Res.* 2023;8(1):1-4. doi: 10.1093/fsr/owad001
4. Кравченко Э.В., Суранова Т.Г., Забозлаев Ф.Г. Особенности эпидемического процесса в патологоанатомических отделениях и учреждениях // Медицина и фармакология: современный взгляд на изучение актуальных проблем: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Астрахань, 2016. Выпуск I. С. 139–145.
5. Shkrum MJ, Kent J. An autopsy checklist: A monitor of safety and risk management. *Am J Forensic Med Pathol.* 2016;37(3):152-157. doi: 10.1097/PAF.0000000000000244

⁹ СанПиН 3.3686–21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 4).

6. Tomao P, La Russa R, Oliva A, et al. Mapping biological risks related to necropsy activities: Old concerns and novel issues for the safety of health professionals. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(22):11947. doi: 10.3390/ijerph182211947
7. Тимофеев Р.М., Марченко А.Н., Калашников А.А. Оценка интенсивности микробной контаминации объектов производственной среды бюро судебно-медицинской экспертизы // Медицинская наука и образование Урала. 2022. Т. 23. № 2. С. 63–69.
8. Brooks EG, Utley-Bobak SR. Autopsy biosafety: Recommendations for prevention of meningococcal disease. *Acad Forensic Pathol*. 2018;8(2):328–339. doi: 10.1177/1925362118782074
9. Колкутин В.В., Джувалыков П.Г., Иванова Е.Б. Проблемы санитарно-гигиенического обеспечения деятельности государственных судебно-медицинских экспертных учреждений // Дезинфекция. Антисептика. 2012. Т. 3. № 4. С. 44–49.
10. Ильина О.А., Шулаев А.В., Тимерзянов М.И. К вопросу оценки биологических факторов риска в практике врача судебно-медицинского эксперта // Медицинский альманах. 2018. № 4. С. 149–151. doi: 10.21145/2499-9954-2018-4-149-151.
11. Жукова С.А., Смирнов И.В. Анализ условий и охраны труда работников сферы здравоохранения // Социально-трудовые исследования. 2020. № 4. С. 145–154. doi: 10.34022/2658-3712-2020-41-4-145-154.
12. Боговская Е.А. К вопросу о предупреждении возникновения профессиональных заболеваний у лиц, участвующих в организации и производстве судебно-медицинских экспертиз. Судебная медицина. 2019. Т. 5. № S1. С. 26–27.
13. Мазуркевич В.В., Степанова Т.Ф., Ребещенко А.П., Бакштановская И.В. Анализ результативности многолетнего применения системы эпидемиологической безопасности сотрудников бюро судебно-медицинской экспертизы. Судебная медицина. 2019. Т. 5. № S1. С. 25–26.
14. Степанова Т.Ф., Катаева Л.В., Ребещенко А.П., Бакштановская И.В., Мазуркевич В.В. Анализ результативности многолетнего применения системы биологической безопасности сотрудников бюро судебно-медицинской экспертизы // Вестник судебной медицины. 2018. № 1. С. 4–9.
15. Васильев Д.Е. Биологические факторы риска и методы обеспечения инфекционной безопасности персонала бюро судебно-медицинской экспертизы и патолого-анатомических отделений // Тихоокеанский медицинский журнал. 2023. № 2. С. 25–30. doi: 10.34215/1609-1175-2023-2-25-30
16. Минаева П.В. Актуальные вопросы судебно-медицинской экспертизы в случаях инфекционных заболеваний // Судебная медицина: вопросы, проблемы, экспертная практика: Материалы научно-практической конференции, посвященной 30-летию Межрегиональной общественной организации “Судебные медики Сибири”. Томск, 2023. Выпуск 9. С. 39–44.
17. Асташкина О.Г. Модель системы менеджмента качества при выполнении судебно-биохимических исследований // Актуальные вопросы судебной медицины и права: сборник научно-практических статей, посвященный 70-летию организации Республиканского бюро судебно-медицинской экспертизы МЗ РТ. Казань, 2020. Выпуск 11. С. 40–44.
18. Тимерзянов М.И., Милушкина О.Ю., Васильев Д.Е., Валеева Ю.В., Хаертдинова Л.А. Стандартная процедура: становление и внедрение в медицинскую практику, в частности в деятельность бюро судебно-медицинской экспертизы // Общественное здоровье и здравоохранение. 2023. № 3. С. 59–68. doi: 10.56685/18120555_2023_78_3_59
19. Перминов А.Ю., Кудряшева И.А., Коломин В.В., Фоменко Н.С. К вопросу о подготовке стандартов операционных процедур в аспектах обеспечения безопасности медицинской помощи // Прикаспийский вестник медицины и фармации. 2023. Т. 4. № 2. С. 39–45. doi: 10.29039/2712-8164-2023-2-39-45
20. Шестопалова Т.Н., Гололобова Т.В. Использование стандартных операционных процедур как одно из направлений обеспечения безопасности медицинской деятельности // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 129–137. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.15.
21. Линденбратен А.Л., Сидоренко Н.В., Гололобова Т.В., Шестопалова Т.Н. Роль стандартов операционных процедур в управлении качеством медицинской деятельности // Вестник Росздравнадзора. 2018. № 6. С. 40–44.
22. Фатхуллина Л.С., Гололобова Т.В., Александрова О.Ю., Матвеева Е.А., Шестопалова Т.Н., Рулева А.И. Разработка и применение системы стандартных операционных процедур в медицинской организации как инструмента обеспечения безопасности медицинской деятельности // Проблемы стандартизации в здравоохранении. 2020. № 1–2. С. 43–51. doi: 10.26347/1607-2502202001-02043-051
23. Тимерзянов М.И., Газизянова Р.М., Низамов А.Х., Минаева П.В. Возможности совершенствования противоэпидемических мероприятий в бюро судебно-медицинской экспертизы на основе подходов менеджмента качества // Судебно-медицинская экспертиза. 2020. Т. 63. № 3. С. 40–44. doi: 10.17116/sudmed20206303140.
24. Kritselis M, Remick DG. Universal precautions provide appropriate protection during autopsies of patients with infectious diseases. *Am J Pathol*. 2020;190(11):2180–2184. doi: 10.1016/j.ajpath.2020.08.005
25. Le AB, Brown CK, Gibbs SG, et al. Best practices of highly infectious decedent management: Consensus recommendations from an international expert workshop. *J Occup Environ Hyg*. 2022;19(3):129–138. doi: 10.1080/15459624.2022.2027427

REFERENCES

1. Il'ina OA, Shulaev AV, Timerzyanov MI. Health assessment of health workers of the Republic of Tatarstan on the example of forensic medical experts. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019;(7(316)):34–38. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-316-7-34-38
2. Hasmi AH, Khoo LS, Koo ZP, et al. The craniotomy box: An innovative method of containing hazardous aerosols generated during skull saw use in autopsy on a COVID-19 body. *Forensic Sci Med Pathol*. 2020;16(3):477–480. doi: 10.1007/s12024-020-00270-z
3. Dufayet L, Langrand J, Ludes B. Risk of occupational infection in forensic workers: A review. *Forensic Sci Res*. 2023;8(1):1–4. doi: 10.1093/fsr/owad001
4. Kravchenko EV, Suranova TG, Zabozaev FG. [Features of the epidemic process in pathology departments and institutions.] In: *Medicine and Pharmacology: A Modern View on the Study of Current Problems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Astrakhan; 2016;1:139–145. (In Russ.)
5. Shkrum MJ, Kent J. An autopsy checklist: A monitor of safety and risk management. *Am J Forensic Med Pathol*. 2016;37(3):152–157. doi: 10.1097/PAF.0000000000000244
6. Tomao P, La Russa R, Oliva A, et al. Mapping biological risks related to necropsy activities: Old concerns and novel issues for the safety of health professionals. *Int*

- J Environ Res Public Health*. 2021;18(22):11947. doi: 10.3390/ijerph182211947
7. Timofeev RM, Marchenko AN, Kalashnikov AA. Assessment of the microbial contamination intensity of the Bureau of Forensic Medical Expertise production environment objects. *Meditinskaya Nauka i Obrazovanie Urala*. 2022;23(2):63-69. (In Russ.) doi: 10.36361/18148999_2022_23_2_63
 8. Brooks EG, Utley-Bobak SR. Autopsy biosafety: Recommendations for prevention of meningococcal disease. *Acad Forensic Pathol*. 2018;8(2):328-339. doi: 10.1177/1925362118782074
 9. Kolkutin VV, Dzhuvayakov PG, Ivanova EB. [Problems of sanitary and hygienic support of activities of state forensic medical expert institutions.] *Dezinfektsiya. Antiseptika*. 2012;3(4):44-49. (In Russ.)
 10. Iliina OA, Shulaev AV, Timerzyanov MI. On the issue of assessing biological risk factors in forensic practice. *Meditinskiy Al'manakh*. 2018;(4):149-151. (In Russ.) doi: 10.21145/2499-9954-2018-4-149-151
 11. Zhukova SA, Smirnov IV. Analysis of labour conditions and protection of healthcare workers. *Sotsial'no-Trudovye Issledovaniya*. 2020;(4(41)):145-154. (In Russ.) doi: 10.34022/2658-3712-2020-41-4-145-154
 12. Bogovskaya EA. [On the issue of preventing the occurrence of occupational diseases among persons involved in organizing and doing forensic medical examinations.] *Sudebnaya Meditsina*. 2019;5(S1):26-27. (In Russ.)
 13. Mazurkevich VV, Stepanova TF, Rebeshchenko AP, Baksh-tanovskaya IV. [Analysis of the effectiveness of a long-term application of the system of epidemiological safety for employees of the forensic medical examination bureau.] *Sudebnaya Meditsina*. 2019;5(S 1):25-26. (In Russ.)
 14. Stepanova TF, Kataeva LV, Rebeschchenko AP, Baksh-tanovskaya IV, Mazurkevich VV. Effectiveness of long-term application of a system of biological safety of the employees of the Forensic Medical Examination Bureau. *Vestnik Sudebnoy Meditsiny*. 2018;7(1):4-9. (In Russ.)
 15. Vasiliev DE. Biological risk factors and methods to ensure the infectious safety of personnel in forensic and pathology departments. *Tikhookeanskiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2023;(2):25-30. (In Russ.) doi: 10.34215/1609-1175-2023-2-25-30
 16. Minaeva PV. [Current issues of forensic medical examination in cases of infectious diseases.] In: *Forensic Medicine: Issues, Problems, Expert Practice: Proceedings of the Scientific and Practical Conference Dedicated to the 30th Anniversary of the Interregional Public Organization "Forensic Medical Examiners of Siberia", Petropavlovsk-Kamchatsky, September 7-8, 2023*. Tomsk: STT Publ.; 2023;(9):39-44. (In Russ.)
 17. Astashkina OG. Quality management system for performing forensic biochemical studies. In: *Current Issues of Forensic Medicine and Law: Collection of Scientific and Practical Articles Dedicated to the 70th Anniversary of the Republican Bureau of Forensic Medicine of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan*. Kazan: Republican Bureau of Forensic Medicine; 2020;(11):40-44. (In Russ.)
 18. Timerzyanov MI, Milushkina OYu, Vasiliev DE, Valeeva YuV, Khaertdinova LA. Standard procedure: Establishment and implementation in medical practice, in particular in the activities of the bureau of forensic medical examination (literature review). *Obshchestvennoe Zdorov'e i Zdravookhranenie*. 2023;(3(78)):59-68. (In Russ.) doi: 10.56685/18120555_2023_78_3_59
 19. Perminov AY, Kudryasheva IA, Kolomin VV, Fomenko NS. On the issue of preparing standards for operating procedures in the aspects of ensuring the safety of medical care. *Prikladnyy Vestnik Meditsiny i Farmatsii*. 2023;4(2):39-45. (In Russ.) doi: 10.29039/2712-8164-2023-2-39-45
 20. Shestopalova TN, Gololobova TV. Standard operating procedures as a trend in ensuring healthcare safety. *Health Risk Analysis*. 2018;(2):129-137. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.15.eng
 21. Lindenbraten AL, Sidorenko NV, Gololobova TV, Shestopalova TN. The role of standard operating procedures in quality management of medical activities. *Vestnik Roszdravnadzora*. 2018;(6):40-44. (In Russ.)
 22. Fatkhullina LS, Gololobova TV, Aleksandrova OY, Matveeva EA, Shestopalova TN, Ruleva AI. Development and application of a standard operating procedure system in a medical organization as a tool for ensuring the safety of medical activities. *Problemy Standartizatsii v Zdravookhranении*. 2020;(1-2):43-51. (In Russ.) doi: 10.26347/1607-2502202001-02043-051
 23. Timerzyanov MI, Gazizyanova RM, Nizamov AKh, Minaeva PV. Possibilities of improvement of anti-epidemic events at forensic medical institution on the basis of quality management approaches. *Sudebno-Meditinskaya Ekspertiza*. 2020;63(3):40-44. (In Russ.) doi: 10.17116/sudmed20206303140
 24. Kritselis M, Remick DG. Universal precautions provide appropriate protection during autopsies of patients with infectious diseases. *Am J Pathol*. 2020;190(11):2180-2184. doi: 10.1016/j.ajpath.2020.08.005
 25. Le AB, Brown CK, Gibbs SG, et al. Best practices of highly infectious decedent management: Consensus recommendations from an international expert workshop. *J Occup Environ Hyg*. 2022;19(3):129-138. doi: 10.1080/15459624.2022.2027427

Сведения об авторе:

✉ **Васильев** Денис Евгеньевич – канд. мед. наук, преподаватель кафедры профилактической медицины; e-mail: vasdenis78@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6205-3760>.

Информация о вкладе автора: автор подтверждает единоличное участие в разработке концепции и дизайна исследования, сборе и анализе данных, написания текста рукописи, проверке содержания и редактировании рукописи.

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

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

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

Статья получена: 04.08.23 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ **Denis E. Vasiliev**, Cand. Sci. (Med.), Lecturer, Department of Preventive Medicine; e-mail: vasdenis78@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6205-3760>.

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 received no external funding.

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

Received: August 4, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Акустическое воздействие железнодорожного транспорта на селитебные территории города Воронежа

П.А. Суханов, Т.И. Прожорина, А.С. Боева, О.В. Клепиков

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
Университетская площадь, д. 1, г. Воронеж, 394018, Российская Федерация

Резюме

Введение. Неблагоприятное воздействие на человека железнодорожного шума изучается во многих зарубежных и отечественных исследованиях.

Цель исследования: оценка шумового воздействия железнодорожного транспорта и его вклада в создание зоны акустического дискомфорта на селитебных территориях города Воронежа.

Материалы и методы. Проведено 36 измерений уровня шума в 9 мониторинговых точках контроля на территории жилой зоны объектов индивидуального жилищного строительства (частного сектора) на расстояниях 25 – 50 – 75 м от основного источника шума – движения железнодорожного транспорта (пассажирских поездов дальнего и пригородного сообщения). Для измерений использован шумомер «Ассистент» (1-й класс точности). Измерения проводились в ноябре 2023 – январе 2024 года в выходные дни (сб–вс) в дневное и ночное время. Расчетным методом оценен вклад железнодорожного транспорта в уровень комбинированного шума.

Результаты. Натурные измерения показали, что эквивалентный уровень шума вдоль железнодорожного полотна в дневное время превышает гигиенические нормативы на 1,4–1,7 дБА без железнодорожного движения и обусловлен наличием автомагистрали на удалении 70 м и на 14–18,6 дБА при движении железнодорожных составов; ночью – на 2,2–3,2 дБА – без железнодорожного движения, и на 25–29,9 дБА – при движении железнодорожных составов. В результате объект исследования в течение суток при отсутствии движения железнодорожного транспорта находится в зоне шумового воздействия выше ПДУ на 30 % своей территории, во время прохождения пассажирских поездов дальнего сообщения и пассажирских электропоездов пригородного сообщения зона дискомфорта днем возрастает до 60 %, ночью – до 100 %.

Заключение. Снижение шума, производимого железнодорожным транспортом, в нашем случае может быть достигнуто путем установки дополнительных светопрозрачных шумозащитных экранов, озеленением придомовой территории, отделяющей селитебную застройку от железнодорожных путей, древесно-кустарниковой растительностью. В общем случае при проектировании железнодорожных путей сообщения и объектов их инфраструктуры необходимо предусматривать санитарно-защитные разрывы с современными шумозащитными мерами.

Ключевые слова: железнодорожный шум, комбинированный шум, мониторинг, зона акустического дискомфорта.

Для цитирования: Суханов П.А., Прожорина Т.И., Боева А.С., Клепиков О.В. Акустическое воздействие железнодорожного транспорта на селитебные территории города Воронежа // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 23–32. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-23-32

Acoustic Impact of Rail Transport on Residential Areas of the City of Voronezh

Pavel A. Sukhanov, Tatiana I. Prozhorina, Anastasiya S. Boeva, Oleg V. Klepikov

Voronezh State University, 1 University Square, Voronezh, 394018, Russian Federation

Summary

Introduction: Adverse human health effects of railway noise are examined in many foreign and domestic studies.

The purpose of our work was to assess the noise impact of rail transport and its contribution to creating an acoustic discomfort zone in residential areas of the city of Voronezh.

Materials and methods: We took 36 noise measurements at nine monitoring points in the residential area of single-family housing construction at the distances of 25, 50, and 75 meters from the main local source of noise, i.e. railway traffic, including long-distance and suburban passenger trains. The “Assistant” sound level meter (accuracy class 1) was used for measurements taken in November 2023 – January 2024 on weekends (Sat–Sun) in the daytime and at night. Contribution of railway transport to the overall noise level was then estimated.

Results: Field measurements showed that in the daytime, the equivalent noise level along the railway track exceeded hygienic standards by 1.4 to 1.7 dBA in the absence of railway traffic due to the proximity to a highway (70 m) and by 14 to 18.6 dBA in its presence; at night – by 2.2 to 3.2 dBA and by 25 to 29.9 dBA, respectively. This means that during 24 hours, 30 % of the territory of the study object is exposed to higher noise levels in the absence of railway traffic. During the passage of long-distance and commuter trains, the discomfort zone increases to 60 % in the daytime and to 100 % at night.

Conclusions: In our case, railway noise pollution can be reduced by installing additional translucent noise shields, landscaping the adjacent territory to separate residential buildings from railway tracks, and planting trees and shrubs. In general, when designing railway lines and their infrastructure facilities, it is important to envisage sanitary gaps with modern means of protection against noise.

Keywords: railway noise, combined noise, monitoring, acoustic discomfort zone.

Cite as: Sukhanov PA, Prozhorina TI, Boeva AS, Klepikov OV. Acoustic impact of rail transport on residential areas of the city of Voronezh. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):23–32. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-23-32

Введение. Одним из приоритетных факторов, негативно влияющих на окружающую среду и человека, является шум, создаваемый непосредственно железнодорожным (ж/д) подвижным составом, а также при эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта [1–3].

Среди причин возникновения шума можно выделить следующие: шум от стука стыков рельсов под действием подвижного состава; шум от механизмов локомотива и вагонов; шум от звукового сигнала; аэродинамические воздействия подвижного состава, создающие и усиливающие шумовое воздействие; шум от вентиляционных систем объектов инфраструктуры ж/д транспорта; шум от громкоговорящих систем оповещения на железнодорожной станции; шум от прохождения поездов по железнодорожным мостам [4, 5].

Зарубежные и отечественные исследования воздействия шума от ж/д транспорта на население, проживающее вблизи ж/д путей и станций, показывают, что отсутствие тишины долгое время, особенно ночью, может привести к усталости, а также ухудшению состояния здоровья, риску развития заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем. В частности, в систематическом обзоре и метаанализе, представленном в статье M.G. Smith et al. (2022) по материалам 36 исследований, делается вывод, что группы населения, подвергающиеся воздействию высоких уровней транспортного ночного шума, в том числе и железнодорожного, могут подвергаться большему риску нарушения сна: относительный риск нарушения сна при превышении рекомендаций ВОЗ (свыше 40 дБ) на 10 дБ от воздействия железнодорожного шума составляет 2,97 единицы [6]. В исследованиях M. Ögren et al. (2017), A. Pultzerova et al. (2018) на основе анкетирования жителей, проживающих в районах, подверженных воздействию шума от железной дороги, и инструментальных измерений достоверно показано раздражающее действие ночного шума, эквивалентный уровень которого возле фасадов зданий достигал 72 дБ [7]; при уровне шума 59 дБ вероятность раздражающего действия составляет 20 %, 63 дБ – около 40 % [8]. Наиболее часто респонденты отмечали, что воздействие шума, создаваемого проезжающими поездами, вызывало раздражительность, головную боль, плохую концентрацию внимания и бессонницу.

Результаты работ M.S. Ragettli (2015), A.L. Brown et al. (2017) также свидетельствуют о неблагоприятном влиянии ж/д шума на состояние здоровья жителей, проживающих вблизи ж/д путей [9, 10]. При этом из числа заболеваний, причинами которых наряду с другими факторами может являться транспортный шум, в том числе железнодорожный, отмечаются болезни сердечно-сосудистой и нервной систем как в зарубежных [11–14], так и отечественных работах [15, 16].

Некоторые исследования, в частности N. Vincens et al. (2022), M.L. Cantuaria et al. (2023), указывают на наличие влияния ж/д шума на распространенность диабета и ожирения [17, 18], рака молочной железы [19], хотя такие результаты, по нашему мнению,

еще требуют верификации на основе проведения метаанализа по мере накопления данных.

В этой связи оценка уровня железнодорожного шума на территории жилой застройки является актуальной гигиенической задачей.

Цель исследования: оценка шумового воздействия железнодорожного транспорта и его вклада в создание зоны акустического дискомфорта на селитебных территориях города Воронежа.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выбрана жилая зона объектов индивидуального жилищного строительства (частного сектора), расположенная в городе Воронеже, в микрорайоне Березовая роща по ул. Фронтальной с переулками, общей площадью 1,0 га, состоящая из одно- и двухэтажной застройки. Исследовался участок индивидуального жилищного строительства длиной 120 м (параллельно ж/д полотну).

Железнодорожное полотно, по которому активно курсируют пассажирские поезда дальнего и пригородного сообщения, расположено в непосредственной близости от жилых домов (25–30 м) и имеет следующие характеристики: тип шпал – железобетонные, тип пути – бесстыковой. На участке имеется остановочная платформа (о.п.) «Березовая роща» для поездов пригородного сообщения. Примерно в 70 м от исследуемого участка железной дороги параллельно проходит одна из загруженных магистралей города – улица Ломоносова, относящаяся к категории 1В (обычная, не скоростная дорога, с общим количеством полос движения в двух направлениях – 4, центральной разделительной полосой, с расчетной пропускной способностью более 14 тыс. автомобилей в сутки). По классификации, предложенной Н.Н. Мининой (2012), такая автомагистраль характеризуется как шумная и относится к 3-му классу шумности [24].

Таким образом, на жилую зону ул. Фронтальной оказывают влияние одновременно два мощных источника шума (автомобильный и ж/д транспорт), поэтому исследуемая селитебная территория нуждается в контроле уровня акустической нагрузки.

В ходе исследования влияния ж/д шума на акустический фон жилой городской застройки в период ноябрь 2023 – январь 2024 года проведены измерения уровня комбинированного шума (автотранспортный и ж/д) в 9 мониторинговых точках контроля (м. т. к.), количество которых подобрано таким образом, чтобы полностью покрыть территорию объекта исследования и проанализировать вклад движения ж/д транспорта в уровень шума по мере удаления жилых домов от железнодорожного полотна (25 – 50 – 75 м) (рис. 1).

В зоне расположения м. т. к. № 1–3 имеется шумозащитный экран из профилированного металлического листа высотой 2 м и длиной до 50 м, который заканчивается на границе остановочной платформы.

Измерительная часть работы выполнена сотрудниками кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета. Для измерения уровня шума использован шумомера «Ассистент» (1-й класс

точности). Измерения и анализ результатов проводились в соответствии с требованиями нормативных документов^{1,2}.

В качестве шумовой характеристики движения ж/д транспорта установлен эквивалентный уровень шума (дБА), измеренный на расстоянии 25 м от оси ближнего к точке измерения магистрального железнодорожного пути и на высоте 1,5 м над уровнем головки рельса. Для проходящего поезда шум измеряют до тех пор, пока уровень звука по меньшей мере снизится на 10 дБА относительно наибольшего мгновенного уровня звука в момент прохода поезда мимо точки измерения.

Всего выполнено 36 измерений (по 18 замеров днем и ночью) для двух видов подвижного состава (пассажирские поезда дальнего следования и поезда пригородного сообщения на электрической тяге) в выходные дни в разное время суток.

Дневной шум измерялся с 16:00 до 18:00 часов, ночной шум – с 06:00 до 06:50 часов. Следует отметить, что выбор времени выполнения измерений связан с расписанием движения поездов. Известно, что ночным считается шум, измеренный с 23:00 до 07:00 часов. Однако пригородные поезда прекращают свое движение в 22:00 часа, а возобновляют в 06:00 часов, поэтому ночной шум электропоездов измерялся в раннее утреннее время с 06:00 до 07:00 часов.

Выбор выходных дней (суббота и воскресенье) связан с тем, чтобы снизить влияние автотранспортного шума при оценке шумового фактора от движения поездов, т. к. в выходные дни поток автомобилей значительно меньше. В связи с тем что при оценке уровня шума железнодорожного транспорта полностью исключить автотранспортный шум в исследуемых точках не представляется возможным, оценивался комбинированный шум.

Вместе с тем при измерении уровня ж/д шума невозможно полностью отделить его от шума автотранспортного, поэтому после проведения измерений определение значений уровня ж/д шума производили расчетным путем по адаптированной формуле, опубликованной в статье А.Л. Пономарева и соавт. (2022) [25]:

$$L_{ж/д} = 10 \times \lg (10^{0,1 \cdot L_{общ}} - 10^{0,1 \cdot L_{авт}}),$$

где $L_{ж/д}$ – уровень шума от железнодорожного транспорта, дБА;

$L_{общ}$ – общий (комбинированный) шум, дБА;

$L_{авт}$ – уровень шума от автомобильного транспорта, дБА.

Для определения вклада ж/д транспорта в уровень общего шума необходимо путем логарифмического вычитания из комбинированного шума отнять рассчитанный уровень ж/д шума по формуле:

$$K_{ж/д} = 100 - \lg(L_{общ}/L_{ж/д}) \times 100\%,$$

где $K_{ж/д}$ – вклад уровня шума от железнодорожного транспорта, %;

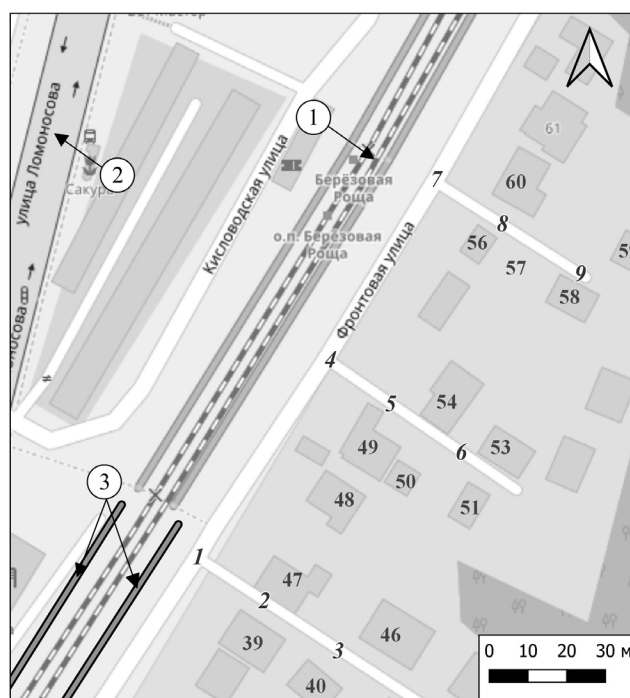
$L_{общ}$ – общий (комбинированный) шум, дБА;

$L_{ж/д}$ – уровень шума от железнодорожного транспорта, дБА.

По данным изменения уровня шумового воздействия составлены карты акустической нагрузки на территории объекта исследования. Построение карт акустической нагрузки осуществлялось в картографической программе Quantum GIS³.

Работа одобрена экспертной комиссией факультета географии, геоэкологии и туризма ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (закключение от 30.01.2024).

Результаты. Анализ результатов выполненных измерений шумового фактора показал, что в связи с удаленностью ул. Ломоносова от оцениваемой



3. номер точки мониторинга уровня шума / number of the noise level monitoring point

1 железнодородное полотно (источник железнодородного шума) / railway track (source of railway noise)

2 дорожное полотно - ул. Ломоносова (источник автотранспортного шума) / roadbed - Lomonosov St. (source of motor vehicle noise)

3 шумопоглощающие сооружения / Noise-absorbing structures

Рис. 1. Карта-схема расположения мониторинговых точек контроля для измерений уровня шума (в качестве подложки использовались карты из бесплатного сервиса Open Street Map⁴)

Fig. 1. The map chart showing location of noise measurement points (images from OpenStreetMap, a free, open geographic database, were used as a substrate)

¹ ГОСТ 31296.2–2006 «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности». Часть 2.

² СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2).

³ <https://qgis.org/ru/site/> Свободная географическая информационная система с открытым кодом, поддерживаемая международным сообществом разработчиков и пользователей.

⁴ <https://www.openstreetmap.org> [условия использования, предоставляемые Open Street Map Foundation (OSMF)].

территории индивидуальной жилой застройки уровень автотранспортного шума в течение суток практически находится в пределах нормы, за исключением м. т. к. (№ 1, 4, 7), в которых ПДУ в дневное время превышен на 1,4–1,7 дБА, в ночное – на 2,2–3,2 дБА. При прохождении поездов уровень шума резко увеличивается с 54,9–56,7 до 69,0–73,6 дБА (табл. 1 и 2).

Установлено, что в ночное время уровень комбинированного шума (при прохождении поезда) выше, чем днем. В дневное время вдоль ж/д полотна

уровень шума регистрировался в интервале от 69 до 73,6 дБА, что превышает ПДУ на 14–18,6 дБА (ПДУ = 55 дБА). В ночное время эквивалентный уровень шума находится в интервале от 70 до 74,9 дБА, что превышает установленные нормативы на 25–29,9 дБА (ПДУ = 45 дБА).

В зависимости от вида проходящих поездов, уровень шума от ж/д транспорта превышает установленные нормативы на 16,8–18,6 дБА (для пассажирских поездов дальнего сообщения) и на 14–15,3 дБА (для пассажирских поездов пригородного

Таблица 1. Уровни автотранспортного и комбинированного шума в зависимости от типа подвижного состава в дневное время

Table 1. Motor vehicle and combined noise levels depending on rail traffic in the daytime

№	№ м. т. к. / NMP No.	Местоположение мониторинговой точки контроля (м. т. к.) / Location of the noise measurement point (NMP)	Расстояние от ж/д полотна, м / Distance to the railway track, m	Движение железнодорожного транспорта / Rail traffic				Уровень экви- валентного шума от ж/д транспорта, дБА (расчет- ный метод) / Estimated rail traffic equivalent noise level, dBA	Вклад ж/д транспорта в уровень ком- бинированного шума (расчет- ный метод), % / Estimated contribution of rail traffic to the combined noise level, %
				нет / no		да / yes			
				Уровень экви- валентного шума от авто- транспорта, дБА / Equivalent noise level from motor vehicles, dBA	Превышение ПДУ автотран- спортного шума, дБА / Fold excess of the maximum permissible level, dBA	Уровень экви- валентного комбинирован- ного шума, дБА / Equivalent combined noise level, dBA	Превышение ПДУ комби- нированного шума, дБА / Fold excess of the maximum permissible level, dBA		
Пассажирские поезда дальнего сообщения / Long-distance passenger trains									
1	1	вдоль ж/д полотна (за экраном) / along the railway track (behind the screen)	25	54,9	—	71,8	16,8	71,7	99,95
2	2	ул. Фронтальная между д. 40 и д. 46 / between 40 and 46, Frontovaya Street	50	48,8	—	59,2	4,2	58,8	99,69
3	3	ул. Фронтальная между д. 41 и д. 45 / between 41 and 45, Frontovaya Street	75	45,0	—	53,4	—	52,7	99,45
4	4	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	56,4	1,4	73,5	18,5	73,4	99,95
5	5	ул. Фронтальная между д. 49 и д. 54 / between 49 and 54, Frontovaya Street	50	50,5	—	60,4	5,4	59,9	99,66
6	6	ул. Фронтальная между д. 50 и д. 53 / between 50 and 53, Frontovaya Street	75	46,7	—	54,2	—	53,3	99,31
7	7	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	56,7	1,7	73,6	18,6	73,5	99,95
8	8	ул. Фронтальная между д. 57 и д. 60 / between 57 and 60, Frontovaya Street	50	50,9	—	60,3	5,3	59,8	99,62
9	9	ул. Фронтальная между д. 58 и д. 59 / between 58 and 59, Frontovaya Street	75	46,6	—	54,5	—	53,7	99,38
Пассажирские поезда пригородного сообщения (с остановкой) / Commuter trains (making a stop)									
10	1	вдоль ж/д полотна (за экраном) / along the railway track (behind the screen)	25	54,9	—	69,0	14,0	68,8	99,89
11	2	ул. Фронтальная между д. 40 и д. 46 / between 40 and 46, Frontovaya Street	50	48,8	—	57,2	2,7	56,5	99,48
12	3	ул. Фронтальная между д. 41 и д. 45 / between 41 and 45, Frontovaya Street	75	45,0	—	50,0	—	48,3	98,54
13	4	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	56,4	1,4	70,3	15,3	70,1	99,89
14	5	ул. Фронтальная между д. 49 и д. 54 / between 49 and 54, Frontovaya Street	50	50,5	—	58,4	3,4	57,6	99,42
15	6	ул. Фронтальная между д. 50 и д. 53 / between 50 and 53, Frontovaya Street	75	46,7	—	51,7	—	50,0	98,59
16	7	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	56,7	1,7	70,1	15,1	69,9	99,87
17	8	ул. Фронтальная между д. 57 и д. 60 / between 57 and 60, Frontovaya Street	50	50,9	—	58,2	3,2	57,3	99,33
18	9	ул. Фронтальная между д. 58 и д. 59 / between 58 and 59, Frontovaya Street	75	46,6	—	51,6	—	49,9	98,59

Таблица 2. Уровни автотранспортного и комбинированного шума в зависимости от типа подвижного состава в ночное время**Table 2. Motor vehicle and combined noise levels depending on rail traffic at night**

№	№ м. т. к. / NMP No.	Местоположение мониторинговой точки контроля (м. т. к.) / Location of the noise measurement point (NMP)	Расстояние от ж/д полотна, м / Distance to the railway track, m	Движение железнодорожного транспорта / Rail traffic				Уровень эквивалентного шума от ж/д транспорта, дБА (расчетный метод) / Estimated rail traffic equivalent noise level, dBA	Вклад ж/д транспорта в уровень комбинированного шума (расчетный метод), % / Estimated contribution of rail traffic to the combined noise level, %
				нет / no		да / yes			
				Уровень эквивалентного шума от автотранспорта, дБА / Equivalent noise level from motor vehicles, dBA	Превышение ПДУ автотранспортного шума, дБА / Fold excess of the maximum permissible level, dBA	Уровень эквивалентного комбинированного шума, дБА / Equivalent combined noise level, dBA	Превышение ПДУ комбинированного шума, дБА / Fold excess of the maximum permissible level, dBA		
Пассажирские поезда дальнего сообщения / Long-distance passenger trains									
1	1	вдоль ж/д полотна (за экраном) / along the railway track (behind the screen)	25	47,2	2,2	72,6	27,6	72,6	99,99
2	2	ул. Фронтальная между д. 40 и д. 46 / between 40 and 46, Frontovaya Street	50	38,9	—	61,2	16,2	61,2	99,98
3	3	ул. Фронтальная между д. 41 и д. 45 / between 41 and 45, Frontovaya Street	75	32,2	—	55,1	10,1	55,1	99,98
4	4	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	48,2	3,2	74,9	29,9	74,9	99,99
5	5	ул. Фронтальная между д. 49 и д. 54 / between 49 and 54, Frontovaya Street	50	38,8	—	63,0	18,0	63,0	99,99
6	6	ул. Фронтальная между д. 50 и д. 53 / between 50 and 53, Frontovaya Street	75	33,1	—	56,7	11,7	56,7	99,99
7	7	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	48,1	3,1	74,7	29,7	74,7	99,99
8	8	ул. Фронтальная между д. 57 и д. 60 / between 57 and 60, Frontovaya Street	50	39,0	—	62,2	17,2	62,2	99,99
9	9	ул. Фронтальная между д. 58 и д. 59 / between 58 and 59, Frontovaya Street	75	33,6	—	56,1	11,1	56,1	99,98
Пассажирские поезда пригородного сообщения (с остановкой) / Commuter trains (making a stop)									
10	1	вдоль ж/д полотна (за экраном) / along the railway track (behind the screen)	25	47,2	2,2	70,0	25,0	70,0	99,99
11	2	ул. Фронтальная между д. 40 и д. 46 / between 40 and 46, Frontovaya Street	50	38,9	—	57,8	12,8	57,7	99,96
12	3	ул. Фронтальная между д. 41 и д. 45 / between 41 and 44, Frontovaya Street	75	32,2	—	50,5	5,5	50,4	99,94
13	4	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	48,2	3,2	72,0	27,0	72,0	99,99
14	5	ул. Фронтальная между д. 49 и д. 54 / between 49 and 54, Frontovaya Street	50	38,8	—	59,4	14,4	59,4	99,97
15	6	ул. Фронтальная между д. 50 и д. 53 / between 50 and 53, Frontovaya Street	75	33,1	—	52,5	7,5	52,4	99,96
16	7	вдоль ж/д полотна / along the railway track	25	48,1	3,1	71,9	26,9	71,9	99,99
17	8	ул. Фронтальная между д. 57 и д. 60 / between 57 and 60, Frontovaya Street	50	39,0	—	59,7	14,7	59,7	99,97
18	9	ул. Фронтальная между д. 58 и д. 59 / between 58 and 59, Frontovaya Street	75	33,6	—	52,0	7,0	51,9	99,95

сообщения с остановкой на платформе на 1–2 мин). Разница ж/д шума объясняется тем, что масса подвижного состава пассажирского поезда дальнего сообщения больше (13–18 вагонов), а пассажирских поездов пригородного сообщения (электропоездов) – меньше (4–8 вагонов). Кроме того, более продолжительный шум накапливается.

Экран, установленный вдоль ж/д полотна, незначительно снижает уровень комбинированного шума – на 1,5–2 дБА.

Наблюдается закономерное снижение уровня комбинированного шума, в том числе от ж/д транспорта, с увеличением расстояния от железной дороги до жилой застройки примерно на 12–13,5 дБА на расстоянии 50 м и на 18,2–20,4 дБА на расстоянии 75 м от ж/д полотна.

В дневное время комбинированный шум превышает ПДУ вдоль ж/д полотна (25 м) и на территории жилых домов (50 м), на расстоянии 75 м шумовая нагрузка в пределах нормы. Однако в ночное время комбинированный шум превышает

ПДУ на всей территории индивидуальной жилой застройки (25 – 50 – 75 м).

Установлено, что вклад шума от ж/д транспорта при прохождении подвижного состава в общее акустическое состояние территории составляет от 99,31 до 99,99 %.

Оценка акустического воздействия комбинированного шума (автотранспортный + железнодорожный) на селитебную территорию города Воронежа показала, что жители, проживающие вблизи ж/д полотна (на расстоянии до 25 м) в момент прохождения поездов, испытывают большой дискомфорт, особенно в ночное время. Это объясняется тем, что, с одной стороны, ночью затихают или вовсе исчезают посторонние шумы, а с другой – ночной воздух более холодный, значит и более плотный, звуки в таком воздухе более слышны.

По данным изменения уровня шумового воздействия с помощью программного обеспечения Quantum GIS составлены карты акустической нагрузки на территории объекта исследования (рис. 2, 3).

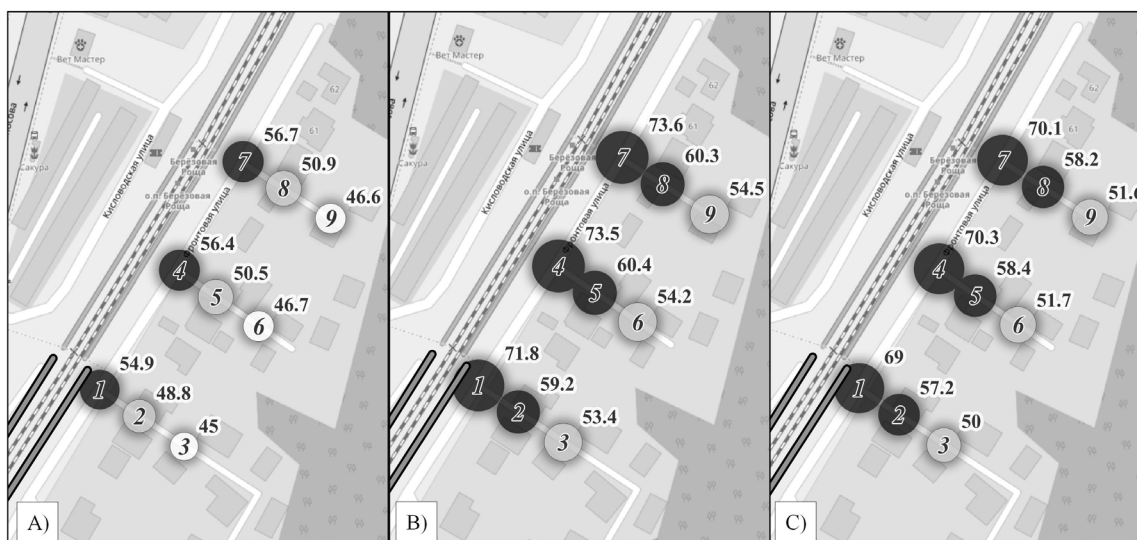
Полученные карты позволяют оценить влияние комбинированного шума на селитебную зону по мере удаления от источника акустического воздействия.

Анализ шумового состояния в дневное время показал, что в периоды отсутствия железнодорожного движения большая часть исследуемой территории находится в зоне акустического комфорта, лишь 30 % участка подвержена повышенному воздействию шума от автотранспорта. При прохождении железнодорожных составов через

селитебную территорию зона дискомфорта возрастает до 60 %.

В ночное время в периоды отсутствия железнодорожного движения, аналогично дневному времени, зона дискомфорта составляет 30 %. Железнодорожный транспорт при прохождении через селитебные территории образует 100 % зону дискомфорта.

Обсуждение. Исследования показывают, что существенное влияние на распространение звуковой волны от железнодорожного транспорта в городской черте оказывает тип городской застройки и проведение шумозащитных мероприятий (установка шумозащитных экранов вдоль ж/д путей, организация озелененных санитарных разрывов между ж/д путями и жилой застройкой [20–22], а из числа реализуемых в современном строительстве ж/д путей – использование рельсов без стыков и шумо-виброгасящих матов из композитных полимерных материалов под ж/д полотном [23]. Учитывая материалы данных исследований и наш опыт, при планировании измерений уровня железнодорожного шума в условиях города в общем случае следует иметь в виду следующие методические моменты: 1) при измерении ж/д шума необходимо учитывать тип шпал (железобетонные или деревянные) и тип пути (бесстыковой или звеньевой), от которых зависит создаваемый уровень шумовой нагрузки; 2) шум от ж/д транспорта формируется поездами различного вида пассажирскими и грузовыми (или товарными); в пассажирских перевозках различают



А) автотранспортный шум; В) шум от автотранспорта и пассажирских поездов;

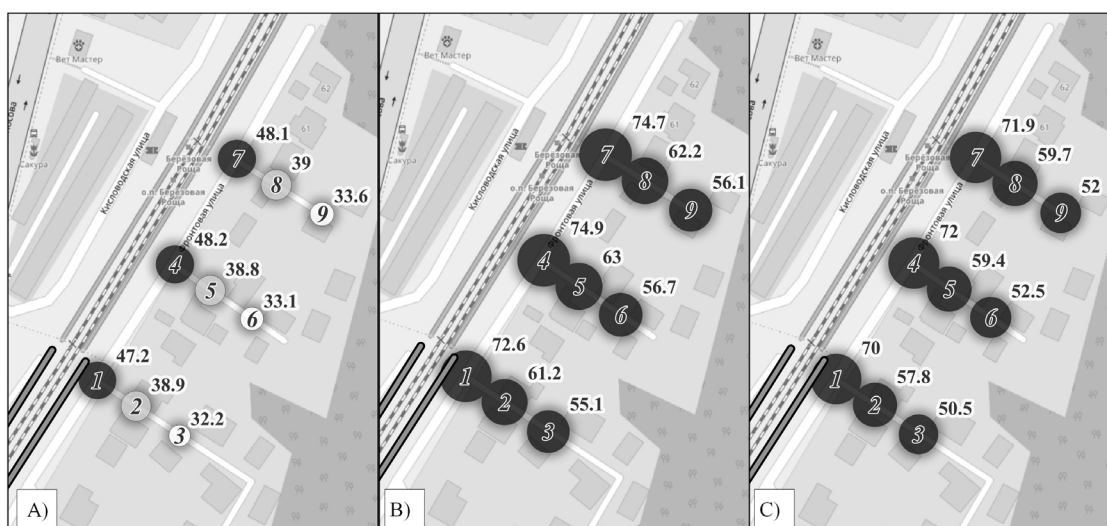
С) шум от автотранспорта и пригородных электропоездов

Рис. 2. Картосхемы уровня шума в дневное время суток

A) motor vehicle noise; B) noise from motor vehicles and passenger trains;

C) noise from motor vehicles and commuter trains

Fig. 2. Maps of daytime noise levels



А) автотранспортный шум; В) шум от автотранспорта и пассажирских поездов;
С) шум от автотранспорта и пригородных электропоездов
Рис. 3. Картосхемы уровня шума в ночное время суток

A) motor vehicle noise; B) noise from motor vehicles and passenger trains;
C) noise from motor vehicles and suburban electric trains

Fig. 3. Maps of nighttime noise levels

скоростные, скорые и пассажирские подвижные составы в зависимости от скорости их движения; дальние и пригородные в зависимости от расстояния следования, что обусловлено массой и длиной подвижного состава. Поэтому при измерениях ж/д шума необходимо учитывать различные типы поездов. Последнее подтверждается исследованиями О.И. Копытенковой и соавт. (2019), установившей в частности, что на расстоянии 25 м от железнодорожного полотна для грузового подвижного состава, а также скоростных электропоездов типа «Сапсана», «Ласточки», «Аллегро» эквивалентный уровень звука составляет до 77 дБА, максимальный – до 83 дБА, для пассажирских поездов эквивалентный уровень звука составлял до 71 дБА, для электропоездов пригородного сообщения – 66–69 дБА [26].

Установить фактическую долю вклада ж/д транспорта в общую акустическую нагрузку на селитебные территории города, примыкающие к ж/д путям, достаточно сложно, так следует учитывать, что шум от автотранспорта носит практически постоянный характер, а ж/д шум возникает периодически. В этой связи, как аргументированно предложено Пономаревым А.Л. и соавт. (2022), возможно дополнение результатов натурных измерений расчетным методом, позволяющим оценить вклад в формирование шумовой нагрузки конкретного источника из нескольких [25]. Этот подход использован и в нашем исследовании.

Закключение. Результаты исследования показали значимость проведения мониторинговых работ на селитебных территориях города Воронежа по определению уровня шумовой нагрузки при формировании зоны акустического дискомфорта. Натурные измерения показали, что эквивалентный уровень шума вдоль железнодорожного полотна в дневное время превышает гигиенические нормативы на 1,4–1,7 дБА – без ж/д движения, и на 14–18,6 дБА при движении ж/д составов, а ночью – на 2,2–3,2 дБА – без ж/д движения, и на 25–29,9 дБА – при движении ж/д составов. В результате объект исследования в течение суток при отсутствии ж/д транспорта находится в зоне шумового воздействия выше ПДУ на 30 % своей территории, во время прохождения пассажирских поездов дальнего сообщения и пассажирских электропоездов пригородного сообщения зона дискомфорта днем возрастает до 60 %, ночью – до 100 %.

Интенсивность шума зависит от скорости движения и вида подвижного состава. При снижении скорости движения поезда можно уменьшить уровень шума. Поэтому скорость поездов, если подвижной состав находится в черте города, ограничена. Снижение шума, производимого железнодорожным транспортом, в нашем случае может быть достигнуто путем установки дополнительных светопрозрачных шумозащитных экранов, озеленением придомовой территории, отделяющей селитебную застройку от ж/д путей, древесно-кустарниковой

растительностью. В общем случае при проектировании железнодорожных путей сообщения и объектов их инфраструктуры необходимо предусматривать санитарно-защитные разрывы с современными шумозащитными мерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчин М.В. Влияние шума железнодорожного транспорта на человека и экосистему // *Аллея науки*. 2022. Т. 1. № 2 (65). С. 54–57.
2. Абубекирова А.Ш., Тынгыш А.Ж., Масенов К.Б. Влияние железнодорожных транспортов на окружающую среду // *The Scientific Heritage*. 2021. № 63-1 (63). С. 5–7. doi: 10.24412/9215-0365-2021-63-1-5-7
3. Репницын В.М., Ладыгин М.Е. Воздействие шума и вибраций железнодорожного и авиационного транспорта на здоровье человека // *Бюллетень Северного государственного медицинского университета*. 2023. № 2 (50). С. 72–77.
4. Лыков А.С., Гомелев В.В., Яицков И.А. Основные источники шумового дискомфорта, возникающего при работе железнодорожного транспорта // *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2021. № 3 (56). С. 20–22.
5. Баланов И.А., Лыков А.С., Гомелев В.В. Классификация источников шума подвижного состава // *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2022. № 1 (58). С. 7–13.
6. Smith MG, Cordoza M, Basner M. Environmental noise and effects on sleep: An update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect*. 2022;130(7):76001. doi: 10.1289/EHP10197
7. Ögren M, Gidlöf-Gunnarsson A, Smith M, Gustavsson S, Persson Wayne K. Comparison of annoyance from railway noise and railway vibration. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(7):805. doi: 10.3390/ijerph14070805
8. Pultznerova A, Eva P, Kucharova D, Argalasova L. Railway noise annoyance on the railway track in Northwest Slovakia. *Noise Health*. 2018;20(94):90-100. doi: 10.4103/nah.NAH_59_17
9. Ragetti MS, Goudreau S, Plante C, Perron S, Fournier M, Smargiassi A. Annoyance from road traffic, trains, airplanes and from total environmental noise levels. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;13(1):90. doi: 10.3390/ijerph13010090
10. Brown AL, van Kamp I. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(8):873. doi: 10.3390/ijerph14080873
11. Héritier H, Vienneau D, Foraster M, et al; SNC study group. Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: A nationwide cohort study from Switzerland. *Eur J Epidemiol*. 2017;32(4):307-315. doi: 10.1007/s10654-017-0234-2
12. Pyko A, Roswall N, Ögren M, et al. Long-term exposure to transportation noise and ischemic heart disease: A pooled analysis of nine Scandinavian cohorts. *Environ Health Perspect*. 2023;131(1):17003. doi: 10.1289/EHP10745
13. Petri D, Licitra G, Vigotti MA, Fredianelli L. Effects of exposure to road, railway, airport and recreational noise on blood pressure and hypertension. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(17):9145. doi: 10.3390/ijerph18179145
14. Fu X, Wang L, Yuan L, et al. Long-term exposure to traffic noise and risk of incident cardiovascular diseases: A systematic review and dose-response meta-analysis. *J Urban Health*. 2023;100(4):788-801. doi: 10.1007/s11524-023-00769-0
15. Салыхова А.И. Акустическое воздействие железнодорожного транспорта на человека // *Матрица научного познания*. 2023. № 5-2. С. 683–685.
16. Буторина М.В., Куклин Д.А., Васильев А.П., Шабарова А.В. Риск-ориентированный подход к оценке шума железнодорожного транспорта // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2019. № 1 (73). С. 28–33.
17. Vincens N, Persson Wayne K. Railway noise and diabetes among residents living close to the railways in Västra Götaland, Sweden: Cross-sectional mediation analysis on obesity indicators. *Environ Res*. 2022;212(Pt B):113477. doi: 10.1016/j.envres.2022.113477
18. Cantuaria ML, Pedersen ER, Poulsen AH, et al. Transportation noise and risk of tinnitus: A nationwide cohort study from Denmark. *Environ Health Perspect*. 2023;131(2):27001. doi: 10.1289/EHP11248
19. Sørensen M, Poulsen AH, Kroman N, et al. Road and railway noise and risk for breast cancer: A nationwide study covering Denmark. *Environ Res*. 2021;195:110739. doi: 10.1016/j.envres.2021.110739
20. Есева Е.А., Беленюк И.Ф., Маракулина С.П., Гончарук А.Г. Акустическая защита жилой среды вблизи железных дорог // *Путь и путевое хозяйство*. 2023. № 3. С. 22–23.
21. Май И.В., Кошурников Д.Н. Сценарное прогнозирование шумовой нагрузки в задачах пространственного городского планирования и застройки // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2021. № 1 (41). С. 46–57. doi: 10.15593/2409-5125/2021.01.04
22. Копытенкова О.И., Афанасьева Т.А., Бурнашов Л.Б., Кузнецова Е.Б. Гигиеническая оценка мер снижения сверхнормативного акустического воздействия на жилые территории // *Гигиена и санитария*. 2019. Т. 98. № 6. С. 671–676. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-671-676
23. Локтев А.А., Илларионова Л.А., Соколов А.А. Оценка влияния числа подвижных источников на шум и вибрации в городской среде вблизи транспортных магистралей // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2023. № 3. С. 75–84. doi: 10.15593/24111678/2023.03.08
24. Минина Н.Н. Классификация автомобильных дорог по шуму и расчет шума автотранспорта // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 1-3. С. 909–912.
25. Пономарев А.Л., Уланова Т.С., Молок О.А., Одегов А.А. Метод измерения шума и оценка вклада крупного промышленного предприятия в шумовую обстановку селитебной территории // *Здоровье населения и среда обитания*. 2022. Т. 30. № 12. С. 59–65. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-12-59-65
26. Копытенкова О.И., Афанасьева Т.А. Эффективность снижения шума от железнодорожного транспорта акустическими экранами // *Гигиена и санитария*. 2023. Т. 102. № 8. С. 764–767. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-764-767

REFERENCES

1. Kolchin MV. [The impact of railway noise on humans and the ecosystem.] *Alleya Nauki*. 2022;1(2(65)):54-57. (In Russ.)
2. Abubekirova A, Tyngysh A, Massenov K. The impact of rail transport on the environment. *The Scientific Heritage*. 2021;(63-1(63)):5-7. (In Russ.) doi: 10.24412/9215-0365-2021-63-1-5-7

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-3-23-32>
Original Research Article

3. Reprnitsyn VM, Ladygin ME. [The impact of noise and vibrations of railway and aviation transport on human health.] *Byulleten' Severnogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta*. 2023;(2(50)):72-77. (In Russ.)
4. Lykov AS, Gomelov VV, Yaitskov IA. The main sources of noise discomfort occurring during the operation of railway transport. *Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*. 2021;(3(56)):20-22. (In Russ.)
5. Balanov IA, Lykov AS, Gomelev VV. Classification of rolling stock noise sources. *Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*. 2022;(1(58)):7-13. (In Russ.)
6. Smith MG, Cordoza M, Basner M. Environmental noise and effects on sleep: An update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect*. 2022;130(7):76001. doi: 10.1289/EHP10197
7. Ögren M, Gidlöf-Gunnarsson A, Smith M, Gustavsson S, Persson Wayne K. Comparison of annoyance from railway noise and railway vibration. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(7):805. doi: 10.3390/ijerph14070805
8. Pultznerova A, Eva P, Kucharova D, Argalasova L. Railway noise annoyance on the railway track in Northwest Slovakia. *Noise Health*. 2018;20(94):90-100. doi: 10.4103/nah.NAH_59_17
9. Ragettli MS, Goudreau S, Plante C, Perron S, Fournier M, Smargiassi A. Annoyance from road traffic, trains, airplanes and from total environmental noise levels. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;13(1):90. doi: 10.3390/ijerph13010090
10. Brown AL, van Kamp I. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(8):873. doi: 10.3390/ijerph14080873
11. Héritier H, Vienneau D, Foraster M, et al; SNC study group. Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: A nationwide cohort study from Switzerland. *Eur J Epidemiol*. 2017;32(4):307-315. doi: 10.1007/s10654-017-0234-2
12. Pyko A, Roswall N, Ögren M, et al. Long-term exposure to transportation noise and ischemic heart disease: A pooled analysis of nine Scandinavian cohorts. *Environ Health Perspect*. 2023;131(1):17003. doi: 10.1289/EHP10745
13. Petri D, Licitra G, Vigotti MA, Fredianelli L. Effects of exposure to road, railway, airport and recreational noise on blood pressure and hypertension. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(17):9145. doi: 10.3390/ijerph18179145
14. Fu X, Wang L, Yuan L, et al. Long-term exposure to traffic noise and risk of incident cardiovascular diseases: A systematic review and dose-response meta-analysis. *J Urban Health*. 2023;100(4):788-801. doi: 10.1007/s11524-023-00769-0
15. Salakhova AI. Acoustic effects of railway transport on humans. *Matritsa Nauchnogo Poznaniya*. 2023;(5-2):683-685. (In Russ.)
16. Butorina MV, Kuklin DA, Vasilyev AP, Shabarova AV. Risk-oriented approach to estimation of railway noise. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*. 2019;(1(73)):28-33. (In Russ.)
17. Vincens N, Persson Wayne K. Railway noise and diabetes among residents living close to the railways in Västra Götaland, Sweden: Cross-sectional mediation analysis on obesity indicators. *Environ Res*. 2022;212(Pt B):113477. doi: 10.1016/j.envres.2022.113477
18. Cantuaria ML, Pedersen ER, Poulsen AH, et al. Transportation noise and risk of tinnitus: A nationwide cohort study from Denmark. *Environ Health Perspect*. 2023;131(2):27001. doi: 10.1289/EHP11248
19. Sørensen M, Poulsen AH, Kroman N, et al. Road and railway noise and risk for breast cancer: A nationwide study covering Denmark. *Environ Res*. 2021;195:110739. doi: 10.1016/j.envres.2021.110739
20. Yeseva E, Beleniuk I, Marakulina S, Goncharuk A. Acoustic protection of the residential environment near railways. *Put' i Putevye Khozyaystvo*. 2023;(3):22-23. (In Russ.)
21. May I, Koshurnikov D. Scenarios prediction of noise load in the problems of spatial urban planning and development. *Vestnik Permskogo Natsional'nogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta. Prikladnaya Ekologiya. Urbanistika*. 2021;(1(41)):46-57. (In Russ.) doi: 10.15593/2409-5125/2021.01.04
22. Kopytenkova OI, Afanaseva TA, Bumashov LB, Kuznetsova EB. Hygienic assessment of interventions for reducing excessive acoustic impact on residential areas. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(6):671-676. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-671-676
23. Loktev AA, Illarionova LA, Sokolov AA. Assessment of the impact of the number of mobile sources on noise and vibrations in the urban environment near highways. *Transport. Transportnye Sooruzheniya. Ekologiya*. 2023;(3):75-84. (In Russ.) doi: 10.15593/24111678/2023.03.08
24. Minina N. Automobile roads classification and noise prediction. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2012;14(1-3):909-912. (In Russ.)
25. Ponomarev AL, Ulanova TS, Molok OA, Odegov AA. Environmental noise measurement technique and evaluation of contribution of a large industrial enterprise to noise pollution in the neighboring residential area. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(12):59-65. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-12-59-65
26. Kopytenkova OI, Afanasyeva TA. Efficiency of reduction of noise from railway transport by acoustic screens. *Gigiena i Sanitariya*. 2023;102(8):764-767. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-764-767

Сведения об авторах:

Суханов Павел Алексеевич – аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды; e-mail: suhanov.1990@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6234-8887>.

Прожорина Татьяна Ивановна – к.х.н., доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды; e-mail: coriander@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2808-0802>.

Боева Анастасия Сергеевна – преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды; e-mail: nastya.boeva.82@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4793-4607>.

✉ **Клепиков Олег Владимирович** – д.б.н., профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды; e-mail: klepa1967@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9228-620X>.

Информация о вкладе авторов: проведение измерений, анализ данных, подготовка картографического иллюстрационного материала: Суханов П.А.; дизайн исследования, проведение измерений, курирование проведения измерений: Прожорина Т.И.; проведение измерений, анализ данных: Боева А.С.; подготовка обзора зарубежных и отечественных исследований, проверка, структурирование и редактирование материала: Клепиков О.В. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172>.

Конфликт интересов: соавтор статьи Клепиков О.В. является членом редакционного совета научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 31.01.24 / Принята к публикации: 09.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

Pavel A. **Sukhanov**, postgraduate student, Department of Geoecology and Environmental Monitoring; e-mail: sukhanov.1990@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6234-8887>.

Tatiana I. **Prozhorina**, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring; e-mail: coriander@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2808-0802>.

Anastasiya S. **Boeva**, lecturer, Department of Geoecology and Environmental Monitoring; e-mail: nastya.boeva.82@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4793-4607>.

✉ Oleg V. **Klepikov**, Dr. Sci. (Biol.), Prof.; Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring; e-mail: klepa1967@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9228-620X>.

Author contribution: measurements, data analysis, preparation of cartographic illustrative material: *Sukhanov P.A.*; study design, measurement supervision: *Prozhorina T.I.*; measurements, data analysis: *Boeva A.S.*; bibliography compilation and referencing, verification, structuring and editing: *Klepikov O.V.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The research was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>.

Conflict of interest: Oleg V. Klepikov is a member of the editorial council of the journal *Public Health and Life Environment*; other authors have no conflicts of interest to declare.

Received: January 31, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды антибиотиками на примере тетрациклинов (обзор)

Н.С. Антропова, О.В. Ушакова, О.Н. Савостикова, Е.И. Филимонова

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
ФМБА России, ул. Погодинская, д. 10, стр. 1, г. Москва, 191121, Российская Федерация

Резюме

Введение. Одним из негативных последствий использования антибиотиков является развитие антибиотикорезистентности. При этом не определен масштаб влияния на данную проблему от попадания антибиотиков в окружающую среду.

Цель исследования: проанализировать имеющиеся данные о распространенности антибиотиков в окружающей среде и связанные с этим проблемами.

Материалы и методы. Применены информационно-аналитические приемы, основанные на сборе и обработке научных статей, представленных в базах Scopus, Elsevier, РИНЦ за 2003–2023 гг., также применялись поисковые запросы в Google Scholar по ключевым словам. Критерием отбора служило наличие в статьях информации об обнаруженных концентрациях антибиотиков в объектах окружающей среды, путях их поступления, а также рассматриваются вопросы негативных последствий от загрязнения. В итоге отобрано 53 публикации, соответствующих критериям.

Результаты. Уровень загрязнения воды и почвы антибиотиками близок к уровню загрязнения пестицидами. Резистентность бактерий возникает из-за субингибирующих концентраций антибиотиков, которые в 200 раз меньше минимальной ингибирующей концентрации. Существуют исследования, доказывающие влияние на почвенные процессы: снижение почвенного дыхания, изменение скорости нитрификации и денитрификации. В России использование антибиотиков в животноводстве растет на 40% в год, а самыми популярными классами антибиотиков являются пенициллины и тетрациклины. Почва обладает высокой способностью к поглощению антибиотиков, поэтому они быстро накапливаются и медленно разлагаются. Например, период полураспада тетрациклина составляет около 500 дней, а при низком содержании органических веществ в почве риск попадания антибиотика в пищевую цепь и растительную продукцию возрастает.

Заключение. Непрерывный выброс антибиотиков в окружающую среду и их неблагоприятное воздействие на живые организмы вызывает серьезную озабоченность, требующую дальнейшего изучения в контексте нарушения экологического баланса. Также будущие исследования должны быть направлены на разработку и внедрение методов, минимизирующих распространение генов устойчивости к антибиотикам.

Ключевые слова: антибиотики в окружающей среде, антибиотикорезистентность, мировое потребление антибиотиков, антибиотики в почве, тетрациклины, количественное определение тетрациклина.

Для цитирования: Антропова Н.С., Ушакова О.В., Савостикова О.Н., Филимонова Е.И. Проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды антибиотиками на примере тетрациклинов (обзор) // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 33–43. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-33-43

Problems Related to Antibiotic Pollution of the Environment: A Review with a Focus on Tetracyclines

Natalia S. Antropova, Olga V. Ushakova, Olga N. Savostikova, Ekaterina I. Filimonova

Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks,
Bldg 1, 10 Pogodinskaya Street, Moscow, 191121, Russian Federation

Summary

Introduction: One of the negative consequences of using antibiotics is the development of antimicrobial resistance. At the same time, the scale of impact of antibiotic pollution in the environment has not been determined so far.

Objective: To analyze data on antibiotics in the environment and associated issues.

Materials and methods: We used information analysis techniques based on collection and processing of scientific articles published in 2003–2023 and presented in such abstract databases as Scopus, Elsevier, and RSCI; Google Scholar keyword search was also done. The selection criterion was availability of information about measured concentrations of antibiotics in various environmental objects, routes of their entry, and adverse effects of antibiotic contamination. Fifty-three publications were found eligible for inclusion in this review.

Results: Contamination of water and soil with antibiotics is almost similar to that with pesticides. Bacteria develop resistance to antibiotics due to subinhibitory concentrations of the latter, which are 200 times lower than the minimum inhibitory concentration. Some studies prove that exposure of soil to antibiotics causes a decrease in soil respiration and changes in its nitrification and denitrification rates. In Russia, the use of veterinary antibiotics grows by 40 % annually, while penicillins and tetracyclines remain the most popular classes. Antibiotics are easily adsorbed to soil particles, accumulate quickly and degrade slowly. The half-life of tetracycline, for instance, is about 500 days, and when soil levels of certain substances are low, the risk of antibiotics entering the food chain and plant products increases.

Conclusion: The continuous release of antibiotics into the environment and their harmful effects on living organisms is a serious challenge, requiring further study in the context of ecological imbalance. Future research should also focus on developing and implementing methods minimizing the spread of antibiotic resistance genes.

Keywords: antibiotics in the environment, antibiotic resistance, global consumption of antibiotics, antibiotics in soil, tetracyclines, tetracycline quantification.

Cite as: Antropova NS, Ushakova OV, Savostikova ON, Filimonova EI. Problems related to antibiotic pollution of the environment: A review with a focus on tetracyclines. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):33–43. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-33-43

Введение. Начиная со второй половины XX века антибиотики нашли широкое применение в разнообразных сферах практической деятельности человека. Как в России, так и в других странах антибиотики стали применяться не только в медицине, но и в пищевой промышленности, животноводстве и птицеводстве для лечения животных и в целях профилактики. В растениеводстве их используют в составе средств фунгицидного и инсектицидного действия [1].

Одним из негативных последствий использования антибиотиков является развитие антибиотикорезистентности. По мнению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), антибиотикорезистентность является одной из главных угроз общественному здоровью и безопасности в мире¹. Согласно официальным отчетам [2], из-за устойчивости к противомикробным препаратам в мире ежегодно умирает 10 миллионов человек [3].

Проблема антибиотикорезистентности рассматривается в качестве глобальной экологической катастрофы рядом общественных организаций, такими как ВОЗ и Центры по контролю и профилактике заболеваний (Centers for Disease Control and Prevention – CDC), что способствует разработке стратегических документов, направленных на предупреждение и сдерживание распространения антибиотикорезистентности [4]. Так, Россия вступила в программу борьбы с микробной антибиотикорезистентностью (MAP) в 2017 г., утвердив Стратегию предупреждения распространения MAP в Российской Федерации (РФ) на период до 2030 г.² Так же 30 декабря 2020 г. был принят закон № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации», где распространение антибиотикорезистентности относится к основным угрозам биологической безопасности. В нем описывается ряд принципов и системных подходов при реализации мероприятий, направленных на обеспечение биологической безопасности, в том числе накладываются ограничения на применение ряда профилактических и терапевтических препаратов.

В то же время не определен масштаб влияния на данную проблему от попадания антибиотиков в окружающую среду. На рынке для ветеринарного применения продаются как минимум 70 % антибиотиков, которые имеют жизненно важное значение для человека [5]. Несоблюдение дозировки, а также сроков выведения из организма животных приводит к попаданию антибиотиков в животноводческую продукцию, воду и почву [6–7].

Понимание масштабов использования антибиотиков, путей их поступления, распространения и поведения в окружающей среде, а также влияния на биоту определило актуальность исследования.

Цель исследования заключается в анализе имеющихся данных о распространенности антибиотиков в окружающей среде и связанных с этим проблемах.

Материалы и методы. Для выполнения данной работы применены информационно-аналитические приемы, основанные на сборе и обработке научных статей, представленных на английском и русском языках в реферативных базах Scopus, PubMed, Elsevier, РИНЦ в период 2003–2023 гг. Также применялись поисковые запросы в Google Scholar, CDC, ВОЗ с использованием комбинации предложенных заголовков и ключевых слов, таких как «загрязнение окружающей среды антибиотиками», «антибиотики в животноводстве» «антибиотики в почве», «проблема антибиотикорезистентности», «обнаружение антибиотиков в объектах окружающей среды».

Первоначально для понимания объемов потребления антибиотиков и процессов законодательного регулирования использования антибиотиков в ветеринарии и медицине был проведен анализ международных и российских документов, содержащих актуальную статистику о мировых и российских продажах антибиотиков в животноводстве. Последние опубликованные отчеты, затрагивающие данный вопрос, датируются 2021 годом. Для систематизации информации о связи между использованием антибиотиков в ветеринарии и общественным здравоохранением был проведен поиск информации в базе данных ВОЗ. Найденные документы представлены в статье периодом с 2017 по 2022 г.

Систематический отбор научных исследований осуществлялся по принципу наличия в статьях сведений об обнаруженных концентрациях антибиотиков в окружающей среде за последние 5 лет. Особое внимание было сосредоточено на поиске оригинальных исследований, которые показывают негативные эффекты на почвенную биоту. Статьи, не соответствующие данным критериям, с повторяющимися исследованиями и статьи, которые включали простое упоминание или незначительное обсуждение интересующих вопросов, были исключены.

Из первоначальной выборки, состоящей из 85 источников, 32 были удалены после первичного анализа. В итоге было отобрано 53 публикации, соответствующие указанным критериям.

Результаты. Неконтролируемое поступление антибиотиков в окружающую среду может приводить к возникновению негативного влияния как на биоту, так и на человека. Имеется доказательство того, что бактерии, которые находятся в окружающей среде, представляют собой источник резистентных генов [8]. Так как ряд антибиотиков был синтезирован микроорганизмами окружающей среды, можно предположить, что гены, отвечающие за устойчивость, возникли у микроорганизма, который производил этот антибиотик. В противном случае, если бы такой микроорганизм не обладал генами устойчивости, продуцируемый антибиотик привел бы к его гибели [2]. Также, есть данные, которые свидетельствуют о том, что резистентность у бактерий возникает из-за субингибирующей концентрации антибиотиков

¹ World Health Organization. Antimicrobial resistance. 2023. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance> (дата обращения: 13.02.2024).

² Распоряжение Правительства РФ от 25 сентября 2017 г. № 2045-р «Об утверждении Стратегии предупреждения распространения антимикробной резистентности в Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 11 сентября 2021 года)».

[9]. Эти субингибирующие концентрации в 200 раз ниже минимальной ингибирующей концентрации, и, по распространенному мнению, при попадании антибиотиков в окружающую среду, быстро разлагаются, не оказывая негативного влияния. Тем не менее они все же могут вызывать селекцию антибиотикорезистентности (вызывать SOS-ответ) и даже вызывать развитие полирезистентных условно-патогенных микроорганизмов [10–11].

Анализ преодоления экологических барьеров на примере популяций сапротрофных и энтеропатогенных бактерий с устойчивостью к некоторым антибиотикам показывает транспорт микроорганизмов от животноводства и сельского хозяйства к человеку по замкнутой пищевой цепи: корм – кишечный тракт крупного рогатого скота – экскременты животных – почва – растения – человек. Желудочно-кишечный тракт человека рассматривается как огромный резервуар бактерий, которые могут получать гены антибиотикоустойчивости [12]. Было получено ограниченное подмножество генов, кодируемых хромосомами бактерий окружающей среды. Эти гены были перемещены в новый организм при помощи элементов переноса генов, независимо от регуляторных и метаболических систем первоначального хозяина. Основной функцией перенесенных генов является обеспечение устойчивости к антибиотикам в новых организмах-носителях [2, 13].

Для понимания и прогнозирования процессов эволюции и распространения антибиотикорезистентности необходимо тщательно изучать клинические и экологические места обитания микроорганизмов окружающей среды, в которых возникают гены устойчивости к антибиотикам [2].

Так как основной функцией антибиотиков является воздействие на микроорганизмы, то при попадании в окружающую среду они могут оказывать влияние на микробные сообщества экосистем, играющих ключевую роль в базовых экологических процессах, в особенности почвенных.

Почвенные микроорганизмы выполняют множество жизненно важных процессов и участвуют в поддержании здоровья и качества почвы. Гомеостаз почвы может быть нарушен биотическими и абиотическими факторами, включая воздействие пестицидов, тяжелых металлов и антибиотиков [14].

Множество исследований показывают, что даже низкие концентрации антибиотиков влияют на различные почвенные процессы, например, снижение и изменение реакции почвенного дыхания [15–17], изменение скорости нитрификации, денитрификации [16, 18–20] и обмена железа в почве [18, 21], а также вызывают изменения в общей активности ферментов, таких как дегидрогеназа, фосфатаза и уреазы [22–27].

Таким образом, перечисленные факторы отрицательно сказываются не только на структуре и функционировании экосистем, но и на здоровье человека. Для ограничения негативного воздействия антибиотиков следует применять ряд мер, одной из

которых должен быть контроль за поступлением и содержанием остаточных количеств антибиотиков в объектах окружающей среды.

С каждым годом появляется все больше работ по обнаружению фармацевтических препаратов в окружающей среде и растениях [28–33]. Установлено, что уровень загрязнения воды и почвы антибиотиками приближен к уровню загрязнения пестицидами, и остаточное содержание этих антибиотиков может достигать до 21 мг/кг в твердых веществах, включая почву [34]. В то же время в сточных водах предприятий по производству антибиотиков наблюдалась даже чрезвычайно высокая концентрация 32,0 мг/л [35]. При этом пороговое значение содержания антибиотиков в водной среде, установленное Европейским агентством по оценке лекарственных средств (European Medicines Agency – EMA), составляет 10 нг/л [35].

Лекарственные средства, в том числе антибиотики, имеют различные пути поступления в окружающую среду (рис. 1).

В поверхностные воды антибиотики поступают со сточными водами фармацевтических и сельскохозяйственных предприятий, стоками жилищно-коммунального хозяйства и больниц [6].

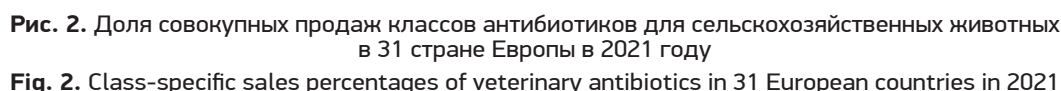
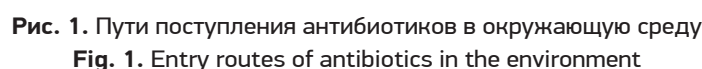
В загрязнение почвы антибиотиками наибольший вклад вносит сельское хозяйство и животноводство. Для улучшения почвенного состава в сельском хозяйстве могут использоваться биосоліды – твердые органические материалы, обогащенные питательными веществами, полученные из бытовых сточных вод путем их фильтрации, в которых также могут быть обнаружены экстрагируемые антибиотики [5]. Но преимущественно в качестве органического удобрения используется навоз животных, в котором содержится большое количество антибиотиков, поскольку до 90 % применяемого препарата выводится из организма без изменения или в виде метаболитов [36].

Согласно отчету EMA³ 2021 г., в Европейском Союзе наиболее распространенными антибиотиками в ветеринарной медицине являются пенициллины, тетрациклины и сульфаниламиды, составляющие 66,9 % от общего объема продаж (рис. 2). После них идут макролиды, аминогликозиды, линкозамиды, фторхинолоны, полимиксины и плевомутилины. Прочие группы антибиотиков составляют 4,4 % от общего объема продаж. По оценке экспертов Всемирной торговой организации, в России использование антибиотиков в животноводстве ежегодно растет примерно на 35–40 % [37].

В Европе самым продаваемым классом антибиотиков в 2021 г. являлись пенициллины (рис. 2), однако продажи тетрациклинов превзошли их в 13 странах. В США также чаще всего используются антибиотики тетрациклиновой группы (71 %) [5].

В рамках работы по защите общественного здоровья в 2017 г. ВОЗ составила Руководящие принципы по применению важных в медицинском отношении противомикробных препаратов в про-

³ European Medicines Agency (EMA), Sales of veterinary antimicrobial agents in 31 European countries in 2021. Trends from 2010 to 2021 Twelfth ESVAC report. https://www.ema.europa.eu/en/documents/report/sales-veterinary-antimicrobial-agents-31-european-countries-2021-trends-2010-2021-twelfth-esvac_en.pdf (2022).



В 2020 году Европейское агентство по лекарственным средствам представило обновленный документ⁶ о категоризации антибиотиков в ве-

По данному перечню наиболее часто используемые в ветеринарии антибиотики, такие как тетрациклины и сульфаниламиды, относятся к категории D – препараты первой линии. В то же время различные препараты пенициллиновой группы, в зависимости

6 European Medicines Agency. Categorisation of Antibiotics Used in Animals Promotes Responsible Use to Protect Public and Animal Health. 2020. <https://bit.ly/30ZEuRi>.

от комбинации их с ингибиторами относятся к категориям А – запрещенных к применению, С – применяемые с осторожностью по определенным показаниям и категории D.

Для эффективного мониторинга и контроля за загрязнением окружающей среды необходимо учитывать тот факт, что в распределении антибиотиков различных классов в разных объектах играют роль такие факторы, как химическая структура соединений, их полярность и физико-химические свойства. Также следует отметить, что по отношению к разным антибиотикам отличается сорбционная емкость почв [36] и способность их аккумуляции разными видами сельскохозяйственных культур. Следовательно, целесообразно углубленно изучать антибиотики по отдельным классам, нежели определять их комплексно, как это проводят во многих исследованиях.

Изучение антибиотиков тетрациклиновой группы является перспективным направлением. В течение более пятидесяти лет тетрациклины активно использовались в ветеринарии для стимуляции роста животных, занимают лидирующие позиции в продажах и являются первостепенными препаратами для лечения. И несмотря на то, что с 2006 года в ряде стран вводились запреты на применение антибактериальных препаратов с целью стимуляции роста и повышения продуктивности животных [38], в России только в 2022 году приняли закон, запрещающий добавление антибиотиков в корма без рецепта⁷, в перечень которого вошли тетрациклины. Это дает возможность изучения кумулятивного эффекта вещества в окружающей среде ввиду его долгого бесконтрольного применения. К тому же при низком содержании органических веществ в почве для антибиотика данной группы установлен наибольший риск попадания в пищевую цепь [5].

Первые представители группы тетрациклинов были открыты в 1945–1949 гг. Бенджамином Дуггаром, выделенные из культуральной жидкости *Streptomyces aureofaciens* и *Streptomyces rimosus*, которые были названы ауреомицином (хлортетрациклин) и тетрарамицином (окситетрациклин) [39]. В 1953 году создается полусинтетический антибиотик тетрациклин, который был получен путем комбинирования биологических и химических процессов. Молекула этого антибиотика имела простую структуру, но при этом она сохраняла свои функции.

Антибиотики тетрациклин, окситетрациклин и хлортетрациклин послужили базой для создания новых производных, включая демеклоциклин, ролитетрациклин и метациклин, которые относятся к первому поколению тетрациклинов. Однако недостатком данных антибиотиков было их кратковремен-

ное пребывание в организме [40]. Для повышения их эффективности применили различные структурные изменения и было разработано второе поколение полусинтетических производных тетрациклинов. Они имели повышенную антибактериальную активность, более широкий спектр действия, стойкость и лучшую растворимость [39, 41]. Третье поколение является полностью синтетическим. Таким образом, удалось создать обширную линейку тетрациклинов, и на данный момент насчитывается примерно 40 природных антибиотиков тетрациклинового ряда и около 3000 синтетических представителей этой группы лекарств⁸.

Тетрациклины представляют собой кристаллические вещества желтого цвета, которые легко растворяются в щелочах, кислотах, метаноле, пиридине и этиленгликоле, но имеют плохую растворимость в воде, этилацетате, хлороформе и дихлорметане. Присутствие хромофоров в структуре этих соединений обуславливает их окраску. Химические свойства тетрациклинов зависят от наличия различных функциональных групп в их молекулах, таких как кислотные, фенольные, спиртовые, гидроксильные, енольные, карбонильные, аминные и амидные.

Тетрациклины стабильны в сухом виде, но их устойчивость в растворах зависит от pH среды, оптимальные значения pH 6,1–6,6. В растворах они могут принимать три формы: катионную, анионную или цвиттер-ионную. Отмечается их способность образовывать хелатные комплексы с поливалентными катионами (Fe^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} и др.) и соли с щелочными и щелочноземельными металлами, а также с органическими и неорганическими кислотами⁷.

Тетрациклины имеют широкий спектр воздействия на грамотрицательные и грамположительные бактерии, риккетсии, хламидии, микоплазмы, боррелии, кампилобактеры и легионеллы. Механизм их действия заключается в ингибировании синтеза белка, связываясь с 30S фракцией бактериальной хромосомы. Это препятствует прикреплению транспортной РНК и доставке аминокислот для образования белков [42]. Тетрациклины отличаются друг от друга по некоторым физико-химическим свойствам, степени антибактериального действия, а также имеют разные особенности всасывания, распределения и метаболизма в организме [38]. Они также различаются по периодам полураспада: доксициклин и миноциклин имеют период полураспада более 15 часов, демеклоциклин – 12 часов, а хлортетрациклин, окситетрациклин и тетрациклин – от 6 до 9 часов [43].

Как описывалось ранее, в окружающую среду тетрациклины попадают с навозом, используемым

⁷ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 02.11.2022 № 776 «Об утверждении порядка назначения лекарственных препаратов для ветеринарного применения, перечня лекарственных средств для ветеринарного применения, в том числе антимикробных препаратов для ветеринарного применения, отпускаемых по рецепту на лекарственный препарат или по требованию ветеринарной организации или организации (индивидуального предпринимателя), осуществляющей (осуществляющего) разведение, выращивание и содержание животных, формы рецептурного бланка на лекарственный препарат для ветеринарного применения, формы требования ветеринарной организации или организации (индивидуального предпринимателя), осуществляющей (осуществляющего) разведение, выращивание и содержание животных, порядка оформления таких рецептурного бланка и требования, их учета и хранения».

⁸ Удалова А.Ю. Сорбционное концентрирование антибиотиков тетрациклиновой группы для их последующего определения. Дис. ... к.хим.наук. Москва, 2015.

в качестве органического удобрения, а также со стоками. Хотя некоторые процессы очистки сточных вод могут привести к разрушению антибиотиков, скорость удаления антибиотиков заметно различается. Это может быть связано с различиями в процессах очистки и типах используемой технологии [44–45]. В таблице приведены примеры обнаруживаемых концентраций основных антибиотиков тетрациклиновой группы в различных объектах.

По литературным данным установлено, что в почве антибиотики группы тетрациклинов подавляют урезанную и дегидрогеназную активность [23], изменяют реакции микробного дыхания [17], а такой препарат как окситетрациклин ингибирует восстановления Fe (III) [21] и снижает скорость нитрификации [26].

В почвенной среде антибиотики могут подвергаться различным абиотическим и биотическим процессам, включая трансформацию, деградацию, сорбцию, десорбцию, поглощение растениями, а также перенос в грунтовые воды [6].

На стойкость этих антибиотиков в окружающей среде влияют процессы деградации, в то время как перенос в водные объекты и поглощение растениями зависят от процессов адсорбции и десорбции [48]. На эти процессы влияют физико-химические характеристики антибиотиков (такие, как молекулярная структура, размер, растворимость и гидрофобность), а также характеристики почвы, в основном pH и содержание компонентов, способных задерживать эти поллютанты (органические вещества, глина, некристаллические минералы) [49]. В частности,

роль органического вещества имеет большое значение из-за его большого количества pH-зависимых функциональных групп, способных иметь сильно отрицательный заряд, что позволяет адсорбировать положительно заряженные антибиотики посредством электростатических взаимодействий. Кроме того, адсорбция также может происходить посредством водородных связей или через связь с ионами металлов [50–51].

Исследования, проводимые в работах [7] и [48], показали, что почвы с более высоким содержанием органического вещества поглощают 100 % тетрациклинов, при этом десорбция составляет не выше 3 %. Согласно данным исследованиям, можно сделать вывод о том, что при попадании высоких доз антибиотиков в почву с низким содержанием органического вещества, повышается вероятность перехода их в растения или в грунтовые воды.

Разложению тетрациклинов способствует такой абиотический фактор, как фотохимическое превращение (фоторазрушение), которое происходит в основном на поверхности почвы или в воде. В работе [52] исследовали разрушение тетрациклинов в воде при имитации солнечного света. Показано, что в чистой воде при солнечном свете тетрациклин разрушается медленнее окситетрациклина и хлортетрациклина в 2,2 раза. Присутствие бактериальных суспензий, выделенных из почвы и птичьего помета, спровоцировало увеличение распада, которое было связано не с биодеградацией тетрациклинов, а с присутствием гуминовых кислот, адсорбирующих эти антибиотики.

Таблица. Концентрация антибиотиков тетрациклиновой группы в окружающей среде
Table. Concentrations of tetracycline antibiotics measured in the environment

Антибиотик / Antibiotic	Концентрация мкг/кг мкг/л / Concentration, µg/kg µg/L	Объект / Object	Страна / Country	Ссылка / Reference
Тетрациклин / Tetracycline	8 326	Осадок сточных вод / Sewage sludge	Китай / China	[6]
	0,15	Поверхностные воды / Surface water	США / USA	[29]
	2 683	Почва / Soil	Китай / China	[6]
	0,6–6	Сельскохозяйственные поля / Agricultural field	Дания / Denmark	[28]
	199	Поле, удобрённое навозом / Field fertilized with manure	Германия / Germany	[28]
	44	Овощные угодья / Vegetable farmland	Китай / China	[28]
Хлортетрациклин / Chlortetracycline	764 000	Навоз / Manure	Китай / China	[6]
	20–30	Сельскохозяйственные поля / Agricultural field	Дания / Denmark	[28]
	2–140	Поле, удобрённое навозом / Field fertilized with manure	США / USA	[28]
	54–532	Кориандр / Coriander	Китай / China	[46]
	41,8	Почва / Soil	Соединенное Королевство / United Kingdom	[29]
Окситетрациклин / Oxytetracycline	354 000	Навоз / Manure	Китай / China	[6]
	40–500	Поле, удобрённое навозом / Field fertilized with manure	Турция / Turkey	[28]
	2–4	Поле рядом с компостным комплексом / Field adjacent to composting facility	Южная Корея / South Korea	[28]
	23	Морковь / Carrot	Великобритания / Great Britain	[47]
	71,7	Стоки / Wastewater	Англия / England	[29]
	8700	Биосолиды / Biosolids	Китай / China	[6]
	50 000	Почва / Soil	Китай / China	[6]

Большой диапазон периодов полураспада в почве – от <1 дня до 9,5 года [6] различных групп фармацевтических препаратов – объясняется именно множественным влиянием всех этих факторов. Примечательно, что даже для антибиотиков из одной группы период полураспада значительно различается. Так, например, по разным исследованиям в окружающей среде период полураспада тетрациклина составляет около 500 дней, хлортетрациклина – 24 дня, окситетрациклина – > 20 дней [53].

Наблюдаемые различия в стойкости, вероятно, обусловлены различиями в составе почв, дозах антибиотиков и условиях, использованных в исследованиях. Однако, основываясь на обзоре литературы, можно сделать вывод, что тетрациклины характеризуются высокими значениями периода полураспада.

Обсуждение. Анализ существующих исследований свидетельствуют, что в разных объектах окружающей среды антибиотики проявляет себя по-разному. На примере антибиотика тетрациклина видно, что при попадании его в воду возможен быстрый распад за счет проникновения солнечного света, а также нахождения в исходной форме, то при попадании антибиотика в почву можно прогнозировать его взаимодействие с почвенным веществом с образованием химических связей. Это влияет как на процессы распада, так и на сложности при его аналитическом определении. При этом все эти исследования показывают, что даже низкие концентрации антибиотиков влияют на различные почвенные процессы, опосредуемые микроорганизмами, несмотря на то, что эффекты являлись непостоянными и определялись тем, как быстро распадались антибиотики.

Существующие на сегодняшний день методы не всегда позволяют провести различие между разложением и сорбцией. Поэтому особое внимание следует уделять методам экстракции (пробоподготовки), так как недостаточные или неправильные процедуры экстракции могут привести к неправильной интерпретации поведения антибиотиков в почве, поскольку антибиотики, которые прочно связаны с частицами почвы, могут ошибочно считаться трансформированными или разложившимися.

Точное количественное определение антибиотиков и продуктов их трансформации имеет первостепенное значение, поскольку имеются данные, свидетельствующие о том, что устойчивость бактерий к антибиотикам может развиваться под воздействием субингибирующих концентраций. Однако это требует применения передовых аналитических методов (например ВЭЖХ-МС/МС), поскольку выделение следовых количеств из сложной матрицы, такой как почва, представляет собой трудную задачу. При этом контроль за попаданием антибиотиков в окружающую среду становится все более значимой проблемой для гигиенических исследований. В России на данный момент отсутствуют аттестованные методики по определению антибиотиков в объектах окружающей среды, которые можно рекомендовать для государственного экологи-

ческого и санитарно-гигиенического контроля. Также следует отметить, что отсутствие стандартизированных методов анализа затрудняет оценку, которая привела бы к общим выводам о влиянии антибиотиков на биогеохимические циклы в почве.

Непрерывный выброс антибиотиков в окружающую среду и их неблагоприятное воздействие на живые организмы вызывает серьезную озабоченность и требует дальнейшего изучения в контексте нарушения экологического баланса.

Заключение

В результате литературного обзора можно сделать вывод о том, что загрязнение окружающей среды антибиотиками является проблемой, которой, по прогнозам, в ближайшем будущем будет уделяться повышенное внимание, так как потребление антибиотиков по всему миру продолжает расти вместе с распространением антибиотикорезистентности.

Тетрациклины выделяются среди наиболее часто обнаруживаемых антибиотиков в окружающей среде, а также являются лидерами в продажах и потреблении в животноводстве, что делает их перспективными для дальнейших исследований.

Другими проблемами, которые следует принимать во внимание, являются различия в процедурах оценки пределов обнаружения антибиотиков и отсутствие стандартных аналитических методов для мониторинга содержания антибиотиков в окружающей среде.

Также будущие исследования должны быть направлены на разработку и внедрение методов, которые минимизируют распространение генов устойчивости к антибиотикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеснокова С.М., Космачева А.Г. Оценка фитотоксичности и опасности для окружающей среды антибиотиков, используемых в сельском хозяйстве // Инновационные пути решения актуальных. Проблем природопользования и защиты окружающей среды: Материалы докладов Международной научно-технической конференции. / Под редакцией: И.В. Старостина. Том III. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. С. 289–295.
2. Tan HM, Lall AC, Keppo J, Chen SL. Evaluation of a new antiresistant strategy to manage antibiotic resistance. *J Glob Antimicrob Resist.* 2023;33:368–375. doi: 10.1016/j.jgar.2023.03.006
3. Dadgostar P. Antimicrobial resistance: Implications and costs. *Infect Drug Resist.* 2019;12:3903–3910. doi: 10.2147/IDR.S234610
4. Давидович Н. В. и др. Основные принципы эволюции антибиотикорезистентности у бактерий (обзор литературы) // Клиническая лабораторная диагностика. 2020. Т. 65. № 6. С. 387–393. doi: 10.1882im69-2084-2020-65-6-387-393
5. Лаврухина О.И., Амелин В.Г., Киш Л.К. и др. Определение остаточных количеств антибиотиков в объектах окружающей среды и пищевых продуктов // Журнал аналитической химии. 2022. Т. 77. № 11. С. 969–1015. doi: 10.31857/S004445022211007X
6. Cycoń M, Mroziak A, Piotrowska-Seget Z. Antibiotics in the soil environment – Degradation and their impact on microbial activity and diversity. *Front Microbiol.* 2019;10:338. doi: 10.3389/fmicb.2019.00338
7. Conde-Cid M, Ferreira-Coelho G, Núñez-Delgado A, et al. Competitive adsorption of tetracycline, oxytetracycline

- and chlortetracycline on soils with different pH value and organic matter content. *Environ Res.* 2019;178:108669. doi: 10.1016/j.envres.2019.108669
8. Кудинова А.Г., Соина В.С., Максакова С.А., Петрова М.А. Изучение базовой устойчивости к антибиотикам бактерий, выделенных из различных биотопов // Микробиология. 2019. Т. 88. № 6. С. 695–704. doi: 10.1134/S0026365619050094
 9. Циркунова Ж.Ф. и др. Влияние субингибирующих концентраций биоцидов на формирование адаптивной устойчивости клинических изолятов *Klebsiella pneumoniae* // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2022. № 3. С. 30–39. doi:10.14427/jipai.2022.3.30
 10. Berglund B. Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics. *Infect Ecol Epidemiol.* 2015;5:28564. doi: 10.3402/iee.v5.28564
 11. Saima S, Fiaz M, Zafar R, Ahmed I, Arshad M. Dissemination of antibiotic resistance in the environment. In: Hashmi MZ, ed. *Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment*. 2020;1:99–116. doi: 10.1016/B978-0-12-818882-8.00006-1
 12. Кожевин П.А., Виноградова К.А., Булгакова В.Г.. Почвенная антибиотическая резистомы // Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение. 2013. № 2. С. 3–10.
 13. Martinez JL, Sánchez MB, Martínez-Solano L, et al. Functional role of bacterial multidrug efflux pumps in microbial natural ecosystems. *FEMS Microbiol Rev.* 2009;33(2):430–449. doi: 10.1111/j.1574-6976.2008.00157.x
 14. Orlewska K, Markowicz A, Piotrowska-Seget Z, Smoleń-Dzirba J, Cycoń M. Functional diversity of soil microbial communities in response to the application of cefuroxime and/or antibiotic-resistant *Pseudomonas putida* strain MC1. *Sustainability.* 2018;10(10):3549. doi: 10.3390/su10103549
 15. Liu F, Ying GG, Tao R, Zhao JL, Yang JF, Zhao LF. Effects of six selected antibiotics on plant growth and soil microbial and enzymatic activities. *Environ Pollut.* 2009;157(5):1636–1642. doi: 10.1016/j.envpol.2008.12.021
 16. Grenni P, Ancona V, Caracciolo AB. Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review. *Microchem J.* 2018;136:25–39. doi: 10.1016/j.microc.2017.02.006
 17. Wepking C, Avera B, Badgley B, et al. Exposure to dairy manure leads to greater antibiotic resistance and increased mass-specific respiration in soil microbial communities. *Proc Biol Sci.* 2017;284(1851):20162233. doi: 10.1098/rspb.2016.2233
 18. Toth JD, Feng Y, Dou Z. Veterinary antibiotics at environmentally relevant concentrations inhibit soil iron reduction and nitrification. *Soil Biol Biochem.* 2011;43(12):2470–2472. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.09.004
 19. Cui H, Wang SP, Fu J, Zhou ZQ, Zhang N, Guo L. Influence of ciprofloxacin on microbial community structure and function in soils. *Biol Fert Soils.* 2014;50:939–947. doi: 10.1007/s00374-014-0914-y
 20. Yang JF, Ying GG, Liu S, et al. Biological degradation and microbial function effect of norfloxacin in a soil under different conditions. *J Environ Sci Health B.* 2012;47(4):288–295. doi: 10.1080/03601234.2012.638886
 21. Molaei A, Lakzian A, Haghnia G, et al. Assessment of some cultural experimental methods to study the effects of antibiotics on microbial activities in a soil: An incubation study. *PLoS One.* 2017;12(7):e0180663. doi: 10.1371/journal.pone.0180663
 22. Ma T, Pan X, Chen L, et al. Effects of different concentrations and application frequencies of oxytetracycline on soil enzyme activities and microbial community diversity. *Eur J Soil Biol.* 2016;76:53–60. doi: 10.1016/j.ejsobi.2016.07.004
 23. Абрамов Е.Г., Антропова Н.С. Влияние антибиотика тетрациклина гидрохлорида на биотрансформацию мочевины // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 5. С. 589–595. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-5-589-595
 24. Pinna MV, Castaldi P, Deiana P, Pusino A, Garau G. Sorption behavior of sulfamethazine on unamended and manure-amended soils and short-term impact on soil microbial community. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2012;84:234–242. doi: 10.1016/j.ecoenv.2012.07.006
 25. Akimenko YV, Kazeev KS, Kolesnikov SI. Impact assessment of soil contamination with antibiotics (For example, an ordinary chernozem). *Am J Appl Sci.* 2015;12(2):80–88. doi: 10.3844/ajassp.2015.80.88
 26. Liu B, Li Y, Zhang X, Wang J, Gao M. Effects of chlortetracycline on soil microbial communities: Comparisons of enzyme activities to the functional diversity via Biolog EcoPlates™. *Eur J Soil Biol.* 2015;68:69–76. doi: 10.1016/j.ejsobi.2015.01.002
 27. Unger IM, Goynes KW, Kennedy AC, Kremer RJ, McLain JE, Williams CF. Antibiotic effects on microbial community characteristics in soils under conservation management practices. *Soil Sci Soc Am J.* 2013;77(1):100–112. doi: 10.2136/sssaj2012.0099
 28. Kuppusamy S, Kakarla D, Venkateswarlu K, Megharaj M, Yoon YE, Lee YB. Veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global agro-ecological issue: A critical view. *Agric Ecosyst Environ.* 2018;257:47–59. doi: 10.1016/j.agee.2018.01.026
 29. Тимофеева С.С., Гудилова О.С. Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. № 3 (23). С. 251–265. doi: 10.21285/2500-1582-2021-3-251-265
 30. Geng J, Liu X, Wang J, Li S. Accumulation and risk assessment of antibiotics in edible plants grown in contaminated farmlands: A review. *Sci Total Environ.* 2022;853:158616. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158616
 31. Jia WL, Song C, He LY, et al. Antibiotics in soil and water: Occurrence, fate, and risk. *Curr Opin Environ Sci Health.* 2022;32:100437. doi: 10.1016/j.coesh.2022.100437
 32. Rashid A, Muhammad J, Khan S, Kanwal A, Sun Q. Poultry manure gleaned antibiotic residues in soil environment: A perspective of spatial variability and influencing factors. *Chemosphere.* 2023;317:137907. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.137907
 33. Wang Y, Dong X, Zang J, et al. Antibiotic residues of drinking-water and its human exposure risk assessment in rural Eastern China. *Water Res.* 2023;236:119940. doi: 10.1016/j.watres.2023.119940
 34. Mousavi L, Tamiji Z, Khoshayand MR. Applications and opportunities of experimental design for the dispersive liquid-liquid microextraction method – A review. *Talanta.* 2018;190:335–356. doi: 10.1016/j.talanta.2018.08.002
 35. Zhang F, Wang J, Tian Y, et al. Effective removal of tetracycline antibiotics from water by magnetic functionalized biochar derived from rice waste. *Environ Pollut.* 2023;330:121681. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121681
 36. Wegst-Uhrich S, Navarro DA, Zimmerman L, Aga DS. Assessing antibiotic sorption in soil: A literature review and new case studies on sulfonamides and macrolides. *Chem Cent J.* 2014;8(1):5. doi: 10.1186/1752-153X-8-5
 37. Маилян Э.С. Проблема использования антибиотиков в животноводстве и пути контроля микробной антибиотикорезистентности // БИО. 2021. Т. 255. № 12. С. 4.
 38. Ришко О. Тетрациклины: взгляд из прошлого в будущее // Животноводство России. 2019. № 1. С. 36–37.
 39. Nelson ML, Levy SB. The history of the tetracyclines. *Ann N Y Acad Sci.* 2011;1241:17–32. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06354.x

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-3-33-43>
Review Article

40. Walsh C. *Antibiotics: Actions, Origins, Resistance*. Washington, DC: ASM Press; 2003.
41. Мирошникова М. С. Тетрациклиновые антибиотики в животноводстве и ветеринарии // Шаг в науку. 2021. № 2. С. 10–20.
42. Rivas J, Encinas Á, Beltrán F, Graham N. Application of advanced oxidation processes to doxycycline and norfloxacin removal from water. *J Environ Sci Health A*. 2011;46(9):944–951. doi: 10.1080/10934529.2011.586249
43. Pereira-Maia EC, Pereira-Silva P, de Almeida WB, et al. Tetracyclines and glycyclines: An overview. *Quim Nova*. 2010;33(3):700–706. doi: 10.1590/S0100-40422010000300038
44. Forsberg KJ, Reyes A, Wang B, Selleck EM, Sommer MO, Dantas G. The shared antibiotic resistome of soil bacteria and human pathogens. *Science*. 2012;337(6098):1107–1111. doi: 10.1126/science.1220761
45. Wu XL, Xiang L, Yan QY, et al. Distribution and risk assessment of quinolone antibiotics in the soils from organic vegetable farms of a subtropical city, Southern China. *Sci Total Environ*. 2014;487:399–406. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.015
46. Fernández-Calviño D, Bermúdez-Couso A, Arias-Estévez M, et al. Competitive adsorption/desorption of tetracycline, oxytetracycline and chlortetracycline on two acid soils: Stirred flow chamber experiments. *Chemosphere*. 2015;134:361–366. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.04.098
47. Pan M, Chu LM. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Sci Total Environ*. 2017;599–600:500–512. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.214
48. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment. *Ecol Indic*. 2008;8(1):1–13. doi: 10.1016/j.ecolind.2007.06.002
49. Wang S, Wang H. Adsorption behavior of antibiotic in soil environment: A critical review. *Front Environ Sci Eng*. 2015;9:565–574. doi: 10.1007/s11783-015-0801-2
50. Okaikue-Woodi FE, Kelch SE, Schmidt MP, Martinez CE, Youngman RE, Aristilde L. Structures and mechanisms in clay nanopore trapping of structurally-different fluoroquinolone antimicrobials. *J Colloid Interface Science*. 2018;513:367–378. doi: 10.1016/j.jcis.2017.11.020
51. Conde-Cid M, Fernández-Calviño D, Nóvoa-Muñoz JC, et al. Biotic and abiotic dissipation of tetracyclines using simulated sunlight and in the dark. *Sci Total Environ*. 2018;635:1520–1529. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.233
52. Walters E, McClellan K, Halden RU. Occurrence and loss over three years of 72 pharmaceuticals and personal care products from biosolids–soil mixtures in outdoor mesocosms. *Water Res*. 2010;44(20):6011–6020. doi: 10.1016/j.watres.2010.07.051
53. Scaria J, Anupama KV, Nidheesh PV. Tetracyclines in the environment: An overview on the occurrence, fate, toxicity, detection, removal methods, and sludge management. *Sci Total Environ*. 2021;771:145291. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145291
3. Dadgostar P. Antimicrobial resistance: Implications and costs. *Infect Drug Resist*. 2019;12:3903–3910. doi: 10.2147/IDR.S234610
4. Davidovich NV, Kukalevskaya NN, Bashilova EN, Bazhukova TA. General principles of antibiotic resistance evolution in bacteria (review of literature). *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2020;65(6):387–393. (In Russ.) doi: 10.18821/0869-2084-2020-65-6-387-393
5. Lavrukina OI, Amelin VG, Kish LK, Tretyakov AV, Pen'kov TD. [Determination of residual amounts of antibiotics in environmental samples and food products.] *Zhurnal Analiticheskoy Khimii*. 2022;77(11):969–1015. (In Russ.) doi: 10.31857/S004445022211007X
6. Cycoń M, Mroziak A, Piotrowska-Seget Z. Antibiotics in the soil environment – Degradation and their impact on microbial activity and diversity. *Front Microbiol*. 2019;10:338. doi: 10.3389/fmicb.2019.00338
7. Conde-Cid M, Ferreira-Coelho G, Núñez-Delgado A, et al. Competitive adsorption of tetracycline, oxytetracycline and chlortetracycline on soils with different pH value and organic matter content. *Environ Res*. 2019;178:108669. doi: 10.1016/j.envres.2019.108669
8. Kudinova AG, Petrova MA, Soina VS, Maksakova SA. Basic antibiotic resistance of bacteria isolated from different biotopes. *Microbiology*. 2019;88(6):739–746. doi: 10.1134/S0026365619050094
9. Tsyrukunova ZhF, Emelyanova AA, Gudkova EI, et al. Effect of subinhibitory concentrations of biocides on formation of adaptive resistance of clinical isolates of *Klebsiella pneumoniae*. *Immunopatologiya, Allergologiya, Infektologiya*. 2022;(3):30–39. (In Russ.) doi: 10.14427/jipai.2022.3.30
10. Berglund B. Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics. *Infect Ecol Epidemiol*. 2015;5:28564. doi: 10.3402/iee.v5.28564
11. Saima S, Fiaz M, Zafar R, Ahmed I, Arshad M. Dissemination of antibiotic resistance in the environment. In: Hashmi MZ, ed. *Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment*. 2020;1:99–116. doi: 10.1016/B978-0-12-818882-8.00006-1
12. Kozhevin PA, Vinogradova KA, Bulgakova VG. Soil antibiotic resistome. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2013;(2):3–10. (In Russ.)
13. Martinez JL, Sánchez MB, Martínez-Solano L, et al. Functional role of bacterial multidrug efflux pumps in microbial natural ecosystems. *FEMS Microbiol Rev*. 2009;33(2):430–449. doi: 10.1111/j.1574-6976.2008.00157.x
14. Orlewska K, Markowicz A, Piotrowska-Seget Z, Smoleń-Dzirba J, Cycoń M. Functional diversity of soil microbial communities in response to the application of cefuroxime and/or antibiotic-resistant *Pseudomonas putida* strain MC1. *Sustainability*. 2018;10(10):3549. doi: 10.3390/su10103549
15. Liu F, Ying GG, Tao R, Zhao JL, Yang JF, Zhao LF. Effects of six selected antibiotics on plant growth and soil microbial and enzymatic activities. *Environ Pollut*. 2009;157(5):1636–1642. doi: 10.1016/j.envpol.2008.12.021
16. Grenni P, Ancona V, Caracciolo AB. Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review. *Microchem J*. 2018;136:25–39. doi: 10.1016/j.microc.2017.02.006
17. Wepking C, Avera B, Badgley B, et al. Exposure to dairy manure leads to greater antibiotic resistance and increased mass-specific respiration in soil microbial communities. *Proc Biol Sci*. 2017;284(1851):20162233. doi: 10.1098/rspb.2016.2233
18. Toth JD, Feng Y, Dou Z. Veterinary antibiotics at environmentally relevant concentrations inhibit soil iron reduction and nitrification. *Soil Biol Biochem*. 2011;43(12):2470–2472. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.09.004

REFERENCES

1. Chesnokova SM, Kosmacheva AG. [Assessment of phytotoxicity and environmental hazards of antibiotics used in agriculture.] In: Starostina IV, ed. *Innovative Ways of Solving Current Problems of Nature Management and Environmental Protection: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Alushta, June 4–8, 2018*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov Publ.; 2018;3:289–295. (In Russ.)
2. Tan HM, Lall AC, Keppo J, Chen SL. Evaluation of a new antiresistive strategy to manage antibiotic resistance. *J Glob Antimicrob Resist*. 2023;33:368–375. doi: 10.1016/j.jgar.2023.03.006

19. Cui H, Wang SP, Fu J, Zhou ZQ, Zhang N, Guo L. Influence of ciprofloxacin on microbial community structure and function in soils. *Biol Fert Soils*. 2014;50:939-947. doi: 10.1007/s00374-014-0914-y
20. Yang JF, Ying GG, Liu S, et al. Biological degradation and microbial function effect of norfloxacin in a soil under different conditions. *J Environ Sci Health B*. 2012;47(4):288-295. doi: 10.1080/03601234.2012.638886
21. Molaie A, Lakzian A, Haghnia G, et al. Assessment of some cultural experimental methods to study the effects of antibiotics on microbial activities in a soil: An incubation study. *PLoS One*. 2017;12(7):e0180663. doi: 10.1371/journal.pone.0180663
22. Ma T, Pan X, Chen L, et al. Effects of different concentrations and application frequencies of oxytetracycline on soil enzyme activities and microbial community diversity. *Eur J Soil Biol*. 2016;76:53-60. doi: 10.1016/j.ejsobi.2016.07.004
23. Abramov EG, Antropova NS. The effect of the antibiotic tetracycline hydrochloride on the biotransformation of urea. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(5):589-595. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-5-589-595
24. Pinna MV, Castaldi P, Deiana P, Pusino A, Garau G. Sorption behavior of sulfamethazine on unamended and manure-amended soils and short-term impact on soil microbial community. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2012;84:234-242. doi: 10.1016/j.ecoenv.2012.07.006
25. Akimenko YV, Kazeev KS, Kolesnikov SI. Impact assessment of soil contamination with antibiotics (For example, an ordinary chernozem). *Am J Appl Sci*. 2015;12(2):80-88. doi: 10.3844/ajassp.2015.80.88
26. Liu B, Li Y, Zhang X, Wang J, Gao M. Effects of chlortetracycline on soil microbial communities: Comparisons of enzyme activities to the functional diversity via Biolog EcoPlates™. *Eur J Soil Biol*. 2015;68:69-76. doi: 10.1016/j.ejsobi.2015.01.002
27. Unger IM, Goyne KW, Kennedy AC, Kremer RJ, McLain JE, Williams CF. Antibiotic effects on microbial community characteristics in soils under conservation management practices. *Soil Sci Soc Am J*. 2013;77(1):100-112. doi: 10.2136/sssaj2012.0099
28. Kuppusamy S, Kakarla D, Venkateswarlu K, Megharaj M, Yoon YE, Lee YB. Veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global agro-ecological issue: A critical view. *Agric Ecosyst Environ*. 2018;257:47-59. doi: 10.1016/j.agee.2018.01.026
29. Timofeeva SS, Gudilova OS. Antibiotics in the environment: Status and problems. *XXI Vek. Tekhnosfermaya Bezopasnost'*. 2021;6(3(23)):251-265. (In Russ.) doi: 10.12185/2500-1582-2021-3-251-265
30. Geng J, Liu X, Wang J, Li S. Accumulation and risk assessment of antibiotics in edible plants grown in contaminated farmlands: A review. *Sci Total Environ*. 2022;853:158616. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158616
31. Jia WL, Song C, He LY, et al. Antibiotics in soil and water: Occurrence, fate, and risk. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2022;32:100437. doi: 10.1016/j.coesh.2022.100437
32. Rashid A, Muhammad J, Khan S, Kanwal A, Sun Q. Poultry manure gleaned antibiotic residues in soil environment: A perspective of spatial variability and influencing factors. *Chemosphere*. 2023;317:137907. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.137907
33. Wang Y, Dong X, Zang J, et al. Antibiotic residues of drinking-water and its human exposure risk assessment in rural Eastern China. *Water Res*. 2023;236:119940. doi: 10.1016/j.watres.2023.119940
34. Mousavi L, Tamiji Z, Khoshayand MR. Applications and opportunities of experimental design for the dispersive liquid-liquid microextraction method – A review. *Talanta*. 2018;190:335-356. doi: 10.1016/j.talanta.2018.08.002
35. Zhang F, Wang J, Tian Y, et al. Effective removal of tetracycline antibiotics from water by magnetic functionalized biochar derived from rice waste. *Environ Pollut*. 2023;330:121681. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121681
36. Wegst-Uhrich S, Navarro DA, Zimmerman L, Aga DS. Assessing antibiotic sorption in soil: A literature review and new case studies on sulfonamides and macrolides. *Chem Cent J*. 2014;8(1):5. doi: 10.1186/1752-153X-8-5
37. Mailyan ES. [The problem of the use of antibiotics in animal husbandry and ways to control antimicrobial resistance.] *BIO*. 2021;(12(255)):4-16. (In Russ.)
38. Rishko O. Tetracyclines: Look from the past in the future. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2019;(1):36-37. (In Russ.)
39. Nelson ML, Levy SB. The history of the tetracyclines. *Ann N Y Acad Sci*. 2011;1241:17-32. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06354.x
40. Walsh C. *Antibiotics: Actions, Origins, Resistance*. Washington, DC: ASM Press; 2003.
41. Miroshnikova MS. Tetracycline antibiotics in animal husbandry and veterinary. *Shag v Nauku*. 2021;(2):10-20. (In Russ.)
42. Rivas J, Encinas Á, Beltrán F, Graham N. Application of advanced oxidation processes to doxycycline and norfloxacin removal from water. *J Environ Sci Health A*. 2011;46(9):944-951. doi: 10.1080/10934529.2011.586249
43. Pereira-Maia EC, Pereira-Silva P, de Almeida WB, et al. Tetracyclines and glycolylcyclines: An overview. *Quím Nova*. 2010;33(3):700-706. doi: 10.1590/S0100-40422010000300038
44. Forsberg KJ, Reyes A, Wang B, Selleck EM, Sommer MO, Dantas G. The shared antibiotic resistome of soil bacteria and human pathogens. *Science*. 2012;337(6098):1107-1111. doi: 10.1126/science.1220761
45. Wu XL, Xiang L, Yan QY, et al. Distribution and risk assessment of quinolone antibiotics in the soils from organic vegetable farms of a subtropical city, Southern China. *Sci Total Environ*. 2014;487:399-406. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.015
46. Fernández-Calviño D, Bermúdez-Couso A, Arias-Estévez M, et al. Competitive adsorption/desorption of tetracycline, oxytetracycline and chlortetracycline on two acid soils: Stirred flow chamber experiments. *Chemosphere*. 2015;134:361-366. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.04.098
47. Pan M, Chu LM. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Sci Total Environ*. 2017;599:600:500-512. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.214
48. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment. *Ecol Indic*. 2008;8(1):1-13. doi: 10.1016/j.ecolind.2007.06.002
49. Wang S, Wang H. Adsorption behavior of antibiotic in soil environment: A critical review. *Front Environ Sci Eng*. 2015;9:565-574. doi: 10.1007/s11783-015-0801-2
50. Okaike-Woodi FE, Kelch SE, Schmidt MP, Martinez CE, Youngman RE, Aristilde L. Structures and mechanisms in clay nanopore trapping of structurally-different fluoroquinolone antimicrobials. *J Colloid Interface Science*. 2018;513:367-378. doi: 10.1016/j.jcis.2017.11.020
51. Conde-Cid M, Fernández-Calviño D, Nóvoa-Muñoz JC, et al. Biotic and abiotic dissipation of tetracyclines using simulated sunlight and in the dark. *Sci Total Environ*. 2018;635:1520-1529. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.233
52. Walters E, McClellan K, Halden RU. Occurrence and loss over three years of 72 pharmaceuticals and personal care products from biosolids-soil mixtures in outdoor mesocosms. *Water Res*. 2010;44(20):6011-6020. doi: 10.1016/j.watres.2010.07.051
53. Scaria J, Anupama KV, Nidheesh PV. Tetracyclines in the environment: An overview on the occurrence, fate, toxicity, detection, removal methods, and sludge management. *Sci Total Environ*. 2021;771:145291. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145291

Сведения об авторах:

✉ **Антропова** Наталья Сергеевна – младший научный сотрудник отдела физико-химических исследований и экотоксикологии; e-mail: NAntropova@cspfmmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9311-9910>.

Ушакова Ольга Владимировна – к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела гигиены; e-mail: OUshakova@cspzmz.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010>.

Савостикова Ольга Николаевна – к.м.н., начальник отдела физико-химических исследований и экотоксикологии; e-mail: OSavostikova@cspfmmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366>.

Филимонова Екатерина Игоревна – химик отдела физико-химических исследований и экотоксикологии; e-mail: EFilimonova@cspfmmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5290-3049>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Савостикова О.Н., Ушакова О.В.*; сбор данных: *Антропова Н.С., Филимонова Е.И.*; литературный обзор: *Антропова Н.С.*; подготовка рукописи: *Антропова Н.С., Савостикова О.Н., Ушакова О.В.*; инфографика: *Филимонова Е.И.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по био-медицинской 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: 11.01.23 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ **Natalia S. Antropova**, Junior Researcher, Department of Physical and Chemical Research and Ecotoxicology; e-mail: NAntropova@cspfmmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9311-9910>.

Olga V. Ushakova, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Department of Hygiene; e-mail: OUshakova@cspzmz.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010>.

Olga N. Savostikova, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Physical and Chemical Research and Ecotoxicology; e-mail: OSavostikova@cspfmmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366>.

Ekaterina I. Filimonova, chemist, Department of Physical and Chemical Research and Ecotoxicology; e-mail: EFilimonova@cspfmmba.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5290-3049>.

Author contributions: study conception and design: *Savostikova O.N., Ushakova O.V.*; data collection: *Antropova N.S., Filimonova E.I.*; bibliography compilation and referencing: *Antropova N.S.*; draft manuscript preparation: *Antropova N.S., Savostikova O.N., Ushakova O.V.*; infographics: *Filimonova E.I.* 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 conflicts of interest to declare.

Received: January 11, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Динамика показателей умственной работоспособности современных школьников в процессе выполнения домашней учебной работы

И.Э. Александрова

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России
Ломоносовский пр., д. 2, стр. 1, г. Москва, 119991, Российская Федерация

Резюме

Введение. Домашняя учебная работа, будучи обязательным компонентом процесса обучения, является самой малорегулируемой его составляющей. При этом научные исследования последних лет свидетельствуют о перегрузке учащихся, нарушении режима дня, в том числе вследствие значительного объема домашних заданий.

Цель данной работы – оценка функционального состояния организма школьников в процессе выполнения домашней учебной работы для дальнейшей оптимизации данного вида учебной деятельности.

Материалы и методы. Исследование базировалось на изучении умственной работоспособности школьников 1–8-х классов, являющейся интегральным показателем функционального состояния организма и имеющей определяющее значение для учебной деятельности. Использовали метод корректурных проб, в основе которого лежит оценка основных параметров умственной работоспособности: числа просмотренных знаков и количества сделанных ошибок и их соотношения. Исследование проводилось до и после выполнения школьниками домашней учебной работы.

Результаты. Выявлена негативная динамика умственной работоспособности большинства обследуемых детей: уменьшалось число просмотренных знаков в тестах и значимо увеличивалось число ошибок в процессе выполнения домашней учебной работы. Так, обучающимися 1–2-х классов сделано 9,62 ошибки против 13,07; 5-х классов – 3,49 против 7,85 ошибки ($p < 0,001$); обучающимися 8-х классов – 5,86 против 7,39 ($p < 0,05$). У значительной доли школьников отмечены неблагоприятные сдвиги умственной работоспособности, характерные для выраженного утомления (28,6–72,7 %).

Обсуждение. Полученные результаты свидетельствуют о накопленном утомлении, когда дети приступают к самостоятельной работе с уже ухудшившейся работоспособностью под влиянием длительной предшествующей учебной деятельности в школе; после недостаточного отдыха на фоне спада физиологических функций организма.

Заключение. Выявленная картина обуславливает необходимость гигиенической оптимизации организации домашней учебной работы, которая должна быть основана на актуализированных принципах гигиены умственного труда с учетом его современных особенностей.

Ключевые слова: функциональное состояние организма, школьники, умственная работоспособность, утомление, домашние учебные задания.

Для цитирования: Александрова И.Э. Динамика показателей умственной работоспособности современных школьников в процессе выполнения домашней учебной работы // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 44–48. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-44-48

Dynamics of Indicators of Mental Performance of Modern Schoolchildren while Doing Homework

Irina E. Alexandrova

National Medical Research Center for Children's Health,
Bldg 1, 2 Lomonosovsky Avenue, Moscow, 119991, Russian Federation

Summary

Introduction: Being a mandatory component of the educational process, homework remains its least regulated part. At the same time, recent scientific research findings give evidence of study overload and daily routine disruption in schoolchildren due to, inter alia, a significant amount of homework.

The **purpose** of this work is to assess the functional state of the organism of schoolchildren in the course of doing homework for further optimization of this type of educational activity.

Materials and methods: The study was based on testing of mental performance of schoolchildren in grades 1–8, which is an integral indicator of the functional state of the body and is crucial for educational activities. The technique of proofreading tests was used to assess the main parameters of mental performance: the number of characters viewed, the number of mistakes made, and their ratio. The tests were conducted before and after the children completed their homework.

Results and discussion: A decline in mental performance was observed in the majority of the examined: the number of viewed characters decreased while the number of errors significantly increased after doing homework. First and second-year primary school children made 9.62 errors against 13.07; fifth graders – 3.49 against 7.85 errors ($p < 0.001$); and eighth graders – 5.86 against 7.39 ($p < 0.05$). A significant proportion of schoolchildren (28.6 to 72.7 %) had adverse shifts in mental performance characteristic of severe fatigue. The results show accumulated fatigue by the start of independent work with already deteriorated performance related to previous intensive studies at school or insufficient rest against the background of a decline in physiological functions of the body.

Conclusion: It is essential to optimize organization of homework based on updated principles of mental health given its current features.

Keywords: functional state of the body, schoolchildren, mental performance, fatigue, homework.

Cite as: Alexandrova IE. Dynamics of indicators of mental performance of modern schoolchildren while doing homework. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):44–48. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-44-48

Введение. Современный темп жизнедеятельности, цифровая трансформация общества и образования обуславливают появление новых рисков для здоровья человека. Особую озабоченность вызывает состояние здоровья детей и подростков. Научные исследования свидетельствуют о его негативной динамике в последние десятилетия [1–3]. Значимый вклад в данную проблему вносят факторы, связанные со школьным обучением, поскольку учебный день современного школьника с учетом домашних заданий составляет не менее 10–12 часов [4], что сопоставимо с профессиональной нагрузкой.

Наблюдается накопление возникающего утомления на фоне перегрузок, дефицита времени, недостаточности отдыха для полного восстановления исходного уровня состояния физиологических систем, что может привести к переутомлению, следствием которого является повышение заболеваемости, возникновение школьно-обусловленных заболеваний [5, 6].

Тенденция повышения объема и интенсификация учебной нагрузки школьников приводит к стойкому увеличению продолжительности выполнения уроков, обуславливающему не только утомление и стресс, но и жалобы на боли в животе, головные боли, что отражено в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях. Показано, что домашние задания обуславливают развитие стресса, ухудшение настроения школьников, значительно сокращают время отдыха, сна, занятий физическими активностями [7–9]. Установлено, что более плотный график домашних заданий, особенно в будние дни, связан с более поздним временем засыпания и поздним временем пробуждения, более короткой продолжительностью сна [10, 11]. Выявлено, что чрезмерное время, затрачиваемое на учебу во внеурочное время, недостаточный сон, отсутствие физической активности и более высокий уровень просмотра экрана являются основными причинами ожирения у детей [12], а также коррелируют с жалобами учащихся на боль в шее, плече, пояснице [13].

Безопасность для здоровья обучающихся образовательной деятельности регламентируется санитарным законодательством (количество уроков, длительность различных видов учебной деятельности на уроке, продолжительность использования электронных средств на уроке и т. д.)^{1,2}. Что касается домашней учебной работы, являющейся неотъемлемой и обязательной частью образовательного процесса, в нормативах определено лишь максимальное общее время, которое должен потратить школьник на ее выполнение [14].

Учитывая изменения в формах и методах обучения, обусловленные цифровой трансформацией образования, а также сложность нормирования домашней работы педагогом, обращение к проблеме оценки вклада домашней учебной работы в развитие утомления, является актуальным.

Целью исследования являлась оценка функционального состояния организма школьников в процессе выполнения домашней учебной работы для дальнейшей оптимизации данного вида учебной деятельности.

Материалы и методы. Исследование базировалось на изучении умственной работоспособности (УР) обучающихся методом корректурных проб [15].

Поскольку УР является интегральным показателем ФСО ребенка и имеет определяющее значение для учебной деятельности, корректурная методика традиционно используется в физиолого-гигиенических исследованиях по оценке влияния образовательной деятельности на функциональное состояние ЦНС школьников.

Дозированный по времени корректурный тест позволяет получать информацию об основных параметрах, характеризующих умственную работоспособность: числе просмотренных знаков и количестве сделанных ошибок. Соотношение данных показателей определяет продуктивность работы, и ей дается комплексная оценка (отличная, хорошая, удовлетворительная, плохая, неудовлетворительная). Исходя из соотношения суммы отличных и хороших оценок к сумме плохих и неудовлетворительных, вычисляется интегральный показатель работоспособности классного коллектива.

Динамику функционального состояния центральной нервной системы школьника оценивали с учетом характера индивидуальных сдвигов работоспособности от начала к концу урока. За отсутствие изменений принимали изменение количества прослуженных знаков в пределах $\pm 5\%$ от исходного и изменение количества ошибок $\pm 0,5$ на 500 знаков от исходного.

При оценке изменений, происходящих в процессе выполнения домашней работы, учитывалось суммарное количество таких сдвигов. Для этого использовалась схема оценки индивидуальных сдвигов, где каждому сочетанию изменений скорости и точности присваивается определенный номер сдвига. Все возможные сочетания количественных и качественных показателей выполнения корректурного теста образуют 9 индивидуальных сдвигов: благоприятные (1–4); сдвиги, отражающие начальные признаки утомления (5, 6), явное утомление (7, 8) и выраженное утомление (9). При оценке изменений, происходящих за период выполнения домашних заданий, учитывалось суммарное количество сдвигов, отражающих явное и выраженное утомление: снижение (сохранение) числа просмотренных знаков при сохранении (возрастании) ошибок.

Провели анализ умственной работоспособности 104 обучающихся 1–8-х классов в процессе выполнения домашней работы.

Школьники 1–5-х классов выполняли домашние учебные занятия организованно под руководством учителя в условиях класса во второй половине дня

¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2).

² МР 2.4.0331–23 «Методические рекомендации по обеспечению оптимальной учебной нагрузки в общеобразовательных организациях» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 10 ноября 2023 г.).

(с 16:00) после отдыха (прогулки) и внеурочной деятельности.

Школьники 6-х и 8-х классов выполняли домашние задания вне школы (дома). Было организовано проведение исследования УР учащихся как в условиях класса (1–5-е классы), так и в домашних условиях (6-е, 8-е классы) до и после приготовления уроков. В 1–5-х классах исследование проводил педагог. Школьники 6-х и 8-х классов были обучены методике корректурной пробы, проинструктированы о ходе проведения исследования. Каждый школьник ответил на вопросы, касающиеся содержания и продолжительности домашних заданий, жалоб на нарушение самочувствия в процессе их выполнения.

От родителей (законных представителей) всех участвовавших в исследовании детей получены письменные информированные согласия.

Результаты исследования подвергнуты статистической обработке с использованием программы Statistica 13.3. Проводился расчет средних арифметических величин (M), средних ошибок средних арифметических (m). При сравнении средних показателей использовался парный t -критерий Стьюдента для связанных выборок.

Результаты. Анализ показал, УР учащихся 1–2-х классов от начала к окончанию самоподготовки уроков имела негативную динамику: уменьшалось число просмотренных знаков в тестах и значительно увеличивалось число ошибок (9,62 против 13,07; $p < 0,001$) (табл.).

Интегральный показатель работоспособности изменялся с 1,40 до 0,29 у.е., что свидетельствовало о снижении продуктивности работоспособности в изучаемом коллективе. Количество неблагоприятных сдвигов умственной работоспособности к окончанию приготовления уроков достигало 34,6 %.

В то же время для более старших учащихся начальной школы (3–4-е классы) были характерны

положительные результаты оценки УР в процессе выполнения домашней работы: при практически неизменном показателе скорости работы число ошибок в корректурных тестах снижалось значительно (с $7,14 \pm 0,45$ до $3,34 \pm 0,38$; $p < 0,001$). Это свидетельствует об оптимальной организации «самоподготовки» домашней учебной работы школьников 3–4-х классов (в условиях школы).

Функциональное состояние организма пятиклассников, испытывающих напряжение адаптационных механизмов при переходе на предметное обучение, характеризовалось неблагоприятной его динамикой в течение учебного дня. Несмотря на наличие в режиме второй половины дня времени для отдыха и переключения, отмечалась негативная динамика УР и в процессе выполнения домашней работы: снижалось число просмотренных знаков (с $312,7 \pm 22,1$ до $236,4 \pm 16,6$; $p < 0,05$), вдвое возросло количество ошибок (табл.). К концу выполнения домашних заданий отмечалась значительная доля сдвигов УР, отражающих явное и выраженное утомление (72,7 %).

Согласно результатам опроса 91,0 % школьников 6-х и 8-х классов начали самоподготовку после 17:00, и ее продолжительность не превышала гигиенические рекомендации для данных возрастов; выполнение работы у всех опрошенных предполагало использование электронных средств. Половина школьников отметила жалобы на общую усталость (50,9 %), усталость глаз (48,8 %).

Результаты анализа динамики УР свидетельствовали о значительном ухудшении ее показателей от начала к концу выполнения домашней работы. Значимо увеличивалось количество ошибок в тестах, снижался объем просмотренных знаков. Более половины школьников (в 6-м классе – 60,0 %; в 8-м классе – 54,5 %) обнаруживали неблагоприятные сдвиги УР, преимущественно характерные для выраженного утомления.

Таблица. Показатели умственной работоспособности школьников 1–8-х классов до и после выполнения домашней работы

Table. Indicators of mental performance of schoolchildren in grades 1–8 before and after doing homework

Показатели / Indicators	1–2-й класс / Grade 1–2		3–4-й класс / Grade 3–4		5-й класс / Grade 5		6-й класс / Grade 6		8-й класс / Grade 8	
	до / before	после / after	до / before	после / after	до / before	после / after	до / before	после / after	до / before	после / after
Количество исследований / Number of tests	31	34	36	24	11	11	10	10	13	12
Количество просмотренных знаков ($M \pm m$) / Number of characters viewed ($M \pm m$)	219,7 $\pm$ 11,4	202,6 $\pm$ 9,4	241,2 $\pm$ 17,4	235,0 $\pm$ 24,8	312,7 $\pm$ 22,1	236,4 $\pm$ 16,6*	318,6 $\pm$ 26,8	290,2 $\pm$ 31,9*	275,8 $\pm$ 11,4	215,3 $\pm$ 22,3*
Количество стандартизированных ошибок на 500 знаков ($M \pm m$) / Number of standardized errors per 500 characters, $M \pm m$	9,62 $\pm$ 0,56	13,07 $\pm$ 0,62**	7,14 $\pm$ 0,45	3,34 $\pm$ 0,38**	3,49 $\pm$ 0,59	7,85 $\pm$ 0,89**	6,43 $\pm$ 0,85	10,67 $\pm$ 1,09**	5,86 $\pm$ 0,7	7,39 $\pm$ 0,82*
Интегральный показатель работоспособности, усл. ед. / Integral indicator of mental performance, conventional units	1,40	0,29	1,15	1,67	3,0	0,10	2,00	0,10	2,33	0,13
Количество сдвигов УР с явным и выраженным утомлением, % / The number of shifts in mental performance with obvious and pronounced fatigue, %		34,6 $\pm$ 9,3		28,6 $\pm$ 9,9		72,7 $\pm$ 13,4		60,0 $\pm$ 15,5		54,5 $\pm$ 15,0

Примечание: * – различия статистически значимы – $p < 0,05$; ** – различия статистически значимы – $p < 0,001$.

Notes: the differences are statistically significant with * $p < 0.05$ and ** $p < 0.001$.

Обсуждение. Подобная картина динамики УР может быть обусловлена накопленным утомлением у школьников в процессе учебного дня. Различия в исходном функциональном состоянии центральной нервной системы к моменту приготовления домашнего задания обуславливали величину сдвигов работоспособности в процессе выполнения уроков. Кроме того, в данное время был менее благоприятен сам фон суточной периодичности физиологических функций организма, что особенно отражалось на детях более младшего возраста. После 16:00–17:00 часов ухудшения показателей работоспособности проявлялся раньше и оказываются более значительными, чем утром. Полученные результаты свидетельствуют о том, что дети приступают к самостоятельной работе с уже ухудшившейся работоспособностью под влиянием длительной предшествующей учебной деятельности; после недостаточного отдыха на фоне спада физиологических функций организма.

Фактором, способствующим синхронизации социальных и биологических ритмов организма, как известно, является организация специальных форм двигательной активности, превышающей по интенсивности ее произвольный характер [16].

Выявленная картина динамики умственной работоспособности школьников при выполнении домашней работы обуславливает необходимость оптимизации организации учебной деятельности, которая должна быть основана на принципах гигиены умственного труда с учетом его современных особенностей [17, 18]. При построении режима дня (включая выполнение домашних заданий) школьников для профилактики социального джетлага следует учитывать суточные биоритмы физиологических функций организма [16, 19, 20].

Заключение. Результаты нашего исследования показали, что учебная нагрузка современных школьников, обусловленная выполнением в домашних заданиях, особенно на начальном этапе обучения и в основной школе, способствует возникновению признаков выраженного утомления, что на фоне нарушения режима дня может запускать цепочки патологических процессов в организме. Необходимо достаточное восстановление функционального состояния нервной системы организма к моменту приготовления уроков, минимизация времени использования электронных средств обучения при подготовке домашних заданий, распределение времени, выделяемого на приготовление уроков с учетом их утомительности для обучающегося, и др., что определяет перспективы дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворова А.В., Якубова И.Ш., Чернякина Т.С. Динамика показателей состояния здоровья детей и подростков Санкт-Петербурга за 20-летний период // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 4. С. 332–338. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4332-338
2. Баранов А.А., Альбицкий В.Ю., Намазова-Баранова Л.С., Терлецкая Р.Н. Состояние здоровья детей современной России. М.: ПедиатрЪ, 2018. 116 с.
3. Кучма В.Р., Рапопорт И.К., Сухарева Л.М. и др. Здоровье детей и подростков в школьном онтогенезе как основа совершенствования системы медицинского обеспечения и санитарно-эпидемиологического благополучия обучающихся // Здравоохранение РФ. 2021. № 4. С. 325–333. doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333
4. Каркашадзе Г.А., Намазова-Баранова Л.С., Захарова И.Н., Макарова С.Г., Маслова О.И. Синдром высоких учебных нагрузок у детей школьного и подросткового возраста // Педиатрическая фармакология. 2017. Т. 14. № 1. С. 7–23. doi: 10.15690/pf.v14i1.1697
5. Абдрахманова А.Ш., Мавлиев Ф.А., Ахметов И.И., Назаренко А.С. Утомление: понимание проблемы и системные механизмы его развития // Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10. № 1. С. 6–17. doi:10.36028/2308-8826-2022-10-1-6-17
6. Сорокин Г.А., Чистяков Н.Д., Суслов В.Л. Влияние усталости и переутомления на общую заболеваемость работников // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 8. С. 494–500 <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-494-500>
7. Brown SL, Nobiling BD, Teufel J, Birch DA. Are kids too busy?: Early adolescents' perceptions of discretionary activities, overscheduling, and stress. *J Sch Health*. 2011;81(9):574–580. doi: 10.1111/j.1746-1561.2011.00629.x
8. Kouzma NM, Kennedy GA. Homework, stress, and mood disturbance in senior high school students. *Psychol Rep*. 2002;91(1):193–198. doi: 10.2466/pr0.2002.91.1.193
9. Galloway M, Conner J, Pope D. Nonacademic effects of homework in privileged, high-performing high schools. *J Exp Educ*. 2012;81(4):490–510. doi: 10.1080/00220973.2012.745469
10. Li S, Yang Q, Chen Z, Jin X, Jiang F, Shen X. Homework schedule: An important factor associated with shorter sleep duration among Chinese school-aged children. *Behav Sleep Med*. 2014;12(5):389–397. doi: 10.1080/15402002.2013.821654
11. Sun WQ, Spruyt K, Chen WJ, et al. The relation among sleep duration, homework burden, and sleep hygiene in Chinese school-aged children. *Behav Sleep Med*. 2014;12(5):398–411. doi: 10.1080/15402002.2013.825837
12. Ren H, Zhou Z, Liu WK, Wang X, Yin Z. Excessive homework, inadequate sleep, physical inactivity and screen viewing time are major contributors to high paediatric obesity. *Acta Paediatr*. 2017;106(1):120–127. doi: 10.1111/apa.13640
13. Zhou L, Huang YY, Chen DY, et al. Correlation between both neck/shoulder and low back pain and daily behavioral habits among middle school students in Shenzhen. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi*. 2018;39(4):469–473. (In Chinese.) doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.04.016
14. Александрова И.Э. Физиолого-гигиенические аспекты организации домашней учебной работы школьников (научный обзор) // Здоровье населения и среда обитания. 2022. № 8. С. 17–24. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-8-17-24>
15. Унифицированная методика гигиенического изучения организации условий и режима учебных занятий с использованием компьютеров. Методические рекомендации. Под ред. Г. Н. Сердюковской. М., 1987. 91 с.
16. Доскин В.А., Куинджи Н.Н. Биологические ритмы растущего организма. М.: Медицина, 1989. 224 с.
17. Александрова И.Э., Березина Н.О., Айязтова М.В., Чекалова С.А. Домашняя работа школьников в условиях цифровизации образования: гигиенические проблемы // Народное образование. 2023. № 3. С. 181–186. doi: 10.52422/0130-6928_2023_3_181 ISSN 0130-6928
18. Кучма В.Р., Степанова М.И., Седова А.С., Тикашкина О.В. Гигиеническая регламентация образовательной нагрузки школьников // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2023. № 2. С. 15–31.

19. Путилов А.А. Камо грядеши, хронопсихология? Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2021. Т. 71. № 2. С. 244–269.
20. Tamura N, Komada Y, Inoue Y, Tanaka H. Social jetlag among Japanese adolescents: Association with irritable mood, daytime sleepiness, fatigue, and poor academic performance. *Chronobiol Int*. 2022;39(3):311–322. doi: 10.1080/07420528.2021.1996388

REFERENCES

1. Suvorova AV, Iakubova ISh, Chernyakina TS. Dynamics of indices of the state of health of children and adolescents in the city of St. Petersburg for 20 years. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(4):332–338. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4332-338
2. Baranov AA, Al'bitskiy VYu, Namazova-Baranova LS, Terletskaya RN. [The State of Health of Children in Contemporary Russia.] Moscow: Pediatr Publ.; 2018. (In Russ.)
3. Kuchma VR, Rapoport IK, Sukhareva LM, et al. The health of children and adolescents in school ontogenesis as a basis for improving the system of school health care and sanitary-epidemiological wellbeing of students. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii*. 2021;65(4):325–333. (In Russ.) doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333
4. Karkashadze GA, Namazova-Baranova LS, Zakharova IN, Makarova SG, Maslova OI. Syndrome of high academic loads in school-aged children and adolescents. *Pediatricheskaya Farmakologiya*. 2017;14(1):7–23. (In Russ.) doi: 10.15690/pf.v14i1.1697
5. Abdrakhmanova ASH, Mavliev FA, Ahmetov II, Nazarenko AS. Fatigue: Understanding the problem and systematic mechanisms of its development. *Nauka i Sport: Sovremennye Tendentsii*. 2022;10(1):6–17. (In Russ.) doi: 10.36028/2308-8826-2022-10-1-6-17
6. Sorokin GA, Chistyakov ND, Suslov VL. Influence of fatigue and overwork on the general morbidity of workers. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(8):494–500. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-8-494-500
7. Brown SL, Nobiling BD, Teufel J, Birch DA. Are kids too busy?: Early adolescents' perceptions of discretionary activities, overscheduling, and stress. *J Sch Health*. 2011;81(9):574–580. doi: 10.1111/j.1746-1561.2011.00629.x
8. Kouzma NM, Kennedy GA. Homework, stress, and mood disturbance in senior high school students. *Psychol Rep*. 2002;91(1):193–198. doi: 10.2466/pr0.2002.91.1.193
9. Galloway M, Conner J, Pope D. Nonacademic effects of homework in privileged, high-performing high schools. *J Exp Educ*. 2012;81(4):490–510. doi: 10.1080/00220973.2012.745469
10. Li S, Yang Q, Chen Z, Jin X, Jiang F, Shen X. Homework schedule: An important factor associated with shorter sleep duration among Chinese school-aged children. *Behav Sleep Med*. 2014;12(5):389–397. doi: 10.1080/15402002.2013.821654
11. Sun W-Q, Spruyt K, Chen W-J, et al. The relation among sleep duration, homework burden, and sleep hygiene in Chinese school-aged children. *Behav Sleep Med*. 2014;12(5):398–411. doi: 10.1080/15402002.2013.825837
12. Ren H, Zhou Z, Liu WK, Wang X, Yin Z. Excessive homework, inadequate sleep, physical inactivity and screen viewing time are major contributors to high paediatric obesity. *Acta Paediatr*. 2017;106(1):120–127. doi: 10.1111/apa.13640
13. Zhou L, Huang YY, Chen DY, et al. Correlation between both neck/shoulder and low back pain and daily behavioral habits among middle school students in Shenzhen. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi*. 2018;39(4):469–473. (In Chinese.) doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.04.016
14. Alexandrova IE. Physiological and hygienic aspects of doing homework: A review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(8):17–24. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-8-17-24
15. Serdyukovskaya GN, ed. [The Unified Method of Hygienic Studies of Conditions and Mode of Learning Using Computers: Guidelines.] Moscow; 1987. (In Russ.)
16. Doskin VA, Kuindzhi NN. [Biological Rhythms of a Growing Organism.] Moscow: Medicine; 1989. (In Russ.)
17. Alexandrova IE, Berezina NO, Aizatova MV, Chekalova SA. Homework of schoolchildren in the conditions of digitalization of education: Hygienic problems. *Narodnoe Obrazovanie*. 2023;(3(1498)):181–186. (In Russ.) doi: 10.52422/0130-6928_2023_3_181
18. Kuchma VR, Stepanova MI, Sedova AS, Tikashkina OV. Hygienic regulation of study workload of students. *Voprosy Shkol'noy i Universitetskoy Meditsiny i Zdorov'ya*. 2023;(2):15–32. (In Russ.)
19. Putilov AA. Quo vadis, chronopsychology? *Zhurnal Vysshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*. 2021;71(2):244–269. (In Russ.)
20. Tamura N, Komada Y, Inoue Y, Tanaka H. Social jetlag among Japanese adolescents: Association with irritable mood, daytime sleepiness, fatigue, and poor academic performance. *Chronobiol Int*. 2022;39(3):311–322. doi: 10.1080/07420528.2021.1996388

Сведения об авторе:

✉ Александрова Ирина Эрнстовна – д.м.н., заведующий лабораторией; e-mail: accialex@yandex.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8664-1866.

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

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

Финансирование: исследование выполнено в рамках Госзадания ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России «Системные профилактические технологии формирования здоровья обучающихся в образовательных организациях» (2022–2024 гг.). Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 21.02.24 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ Irina E. Alexandrova, Dr. Sci. (Med.), Head of the laboratory, Research Institute of Hygiene and Health Protection of Children and Adolescents, National Medical Research Center for Children's Health; e-mail: accialex@yandex.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8664-1866.

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 received no external funding and was carried out within the State Assignment of the National Medical Research Center for Children's Health "Systemic preventive technologies for the formation of students' health in educational organizations for 2022–2024".

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

Received: February 21, 2024 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Табакокурение как фактор риска снижения слуха у работников шумовых профессий (обзор литературы)

В.Ф. Спири́н, С.В. Райкова, Н.Е. Комлева, А.М. Старшов

Саратовский МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», ул. Заречная, зд. 1а, стр. 1, г. Саратов, 410022, Российская Федерация

Резюме

Введение. Нейросенсорная тугоухость занимает ведущее место в списке профессиональных заболеваний у лиц шумовых профессий. Современные исследования свидетельствуют о роли табакокурения как фактора риска снижения слуха у работников, подвергающихся воздействию производственного шума.

Цель исследования: обобщить и систематизировать результаты исследований, посвященных изучению влияния табакокурения на снижение слуха у работников шумовых профессий.

Материалы и методы. Выполнен поиск исследований, опубликованных в базах данных Scopus, Web of Science, PubMed, РИНЦ за период 1990–2023 гг., по ключевым словам и их сочетаниям: табакокурение, снижение слуха, нейросенсорная тугоухость, производственный шум, патогенез, smoking, hearing loss, occupational noise-induced hearing loss, sensorineural hearing loss, noise, pathogenesis. Были использованы материалы 36 полнотекстовых источников, содержащих информацию о роли табакокурения и патогенетических механизмах снижения слуха у работников шумовых профессий.

Результаты. В настоящее время отсутствует единое мнение о первичных мишенях и основном патогенетическом механизме снижения слуха. В последнее время все большая роль в формировании тугоухости отводится влиянию метаболических нарушений с последующей активацией сигнальных путей, ведущих к апоптозу клеток. Установлено, что табакокурение может быть самостоятельным фактором риска потери слуха на высоких частотах, а сочетанное воздействие табакокурения и профессионального шума обладает аддитивным действием. Курение может выступать как самостоятельный фактор, вызывающий поражение слуха при более низких дозах шумовой нагрузки на производстве, а отказ от курения приводит к снижению риска потери слуха.

Заключение. Проведенный анализ позволяет расширить представление о роли табакокурения в снижении слуха у работников шумовых профессий и патогенетических механизмах снижения слуха при хроническом воздействии производственного шума у лиц, употребляющих курительную табачную продукцию, для обоснования системного, комплексного подхода к его лечению и профилактике.

Ключевые слова: снижение слуха, нейросенсорная тугоухость, производственный шум, табакокурение, патогенетические механизмы, сочетанный эффект, обзор.

Для цитирования: Спири́н В.Ф., Райкова С.В., Комлева Н.Е., Старшов А.М. Табакокурение как фактор риска снижения слуха у работников шумовых профессий (обзор литературы) // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 49–53. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-49-53

Tobacco Smoking as a Risk Factor of Hearing Impairment in Workers Exposed to Occupational Noise: A Literature Review

Vladimir F. Spirin, Svetlana V. Raikova, Nataliia E. Komleva, Andrey M. Starshov

Saratov Scientific Research Center for Hygiene, Branch of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Bldg 1, 1A Zarechnaya Street, Saratov, 410022, Russian Federation

Summary

Background: Sensorineural hearing loss ranks first among occupational diseases in workers of noisy occupations. Recent studies have proven the role of tobacco smoking as a risk factor for hearing impairment in workers exposed to industrial noise.

Objective: To summarize and systematize the results of studying the impact of tobacco smoking on hearing impairment in workers employed in noisy jobs.

Materials and methods: We have searched Scopus, Web of Science, PubMed, and RSCI databases for the studies published in 1990–2023 using the following keywords and phrases in Russian and English: smoking, hearing loss, occupational noise-induced hearing loss, sensorineural hearing loss, noise, and pathogenesis. Materials from 36 full-text sources containing information on the role of tobacco smoking and the pathogenetic mechanisms of hearing loss in individuals exposed to noise at work were used for the review.

Results: Currently, there is no consensus on primary targets and the main pathogenetic mechanism of hearing loss. An increasing role in its development has been assigned recently to metabolic disorders with subsequent activation of signaling pathways leading to cell apoptosis. We have established that tobacco smoking can be an independent risk factor for hearing loss at high frequencies, while the combined exposure to tobacco smoking and occupational noise has an additive effect. Smoking can act as an independent factor causing hearing impairment at lower noise levels in the workplace, and quitting smoking reduces the risk of hearing loss.

Conclusion: Our findings allow us to expand the understanding of the role of tobacco smoking in hearing loss in workers employed in noisy jobs and the pathogenetic mechanisms of hearing impairment related to chronic occupational noise exposure in smokers in order to substantiate a comprehensive, integrated approach to its treatment and prevention.

Keywords: hearing impairment, sensorineural hearing loss, occupational noise, tobacco smoking, pathogenetic mechanisms, combined effect, review.

Cite as: Spirin VF, Raikova SV, Komleva NE, Starshov AM. Tobacco smoking as a risk factor of hearing impairment in workers exposed to occupational noise: A literature review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):49–53. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-49-53

Введение. Профессиональное поражение слуха, обусловленное воздействием производственного шума, остается одной из серьезных проблем здравоохранения многих стран с высоким уровнем промышленного производства [1, 2]. По данным ряда исследователей, профессиональная нейросенсорная тугоухость (НСТ) является причиной до 16 % всех случаев инвалидизации работников, занятых в различных сферах деятельности, определяя огромные как прямые экономические потери, связанные с социальными выплатами, так и косвенные, вызванные потерей трудовых ресурсов на производстве [3–5]. Вклад условий и образа жизни в формирование здоровья россиян достигает 50–55 % среди прочих факторов. Среди многочисленных вредных привычек и асоциальных моделей поведения употребление курительной табачной продукции остается наиболее распространенной причиной, приводящей к нарушению здоровья, снижению качества и продолжительности жизни. По оценкам авторов, более одного миллиарда человек потребляет курительную табачную продукцию, что составляет более 12 % от всего населения в мире [6]. В 2019 году в России табачную курительную продукцию употребляли 41 % мужчин и 13 % женщин [7]. Несмотря на комплекс антитабачных мероприятий, среди лиц трудоспособного возраста сохраняется высокая приверженность к табакокурению [8, 9]. Учитывая, что в ряде исследований получены данные, подтверждающие влияние табакокурения на увеличение порога слышимости, особенно на высоких частотах [10, 11], закономерно возникает необходимость изучения сочетанного воздействия табакокурения и производственного шума на слуховую функцию у работников.

Цель исследования: обобщить и систематизировать результаты научных исследований, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе, посвященных изучению влияния табакокурения на снижение слуха у работников шумовых профессий.

Материалы и методы. Для получения информации выполнен поиск релевантных исследований, опубликованных в реферативных базах данных Scopus, Web of Science, PubMed, РИНЦ за период 1990–2023 гг. Поиск осуществлялся по ключевым словам и их сочетаниям: табакокурение, снижение слуха, нейросенсорная тугоухость, производственный шум, патогенез, smoking, hearing loss, occupational noise-induced hearing loss, sensorineural hearing loss, noise, pathogenesis. На первом этапе поиска отбирались статьи по названию и аннотации. Затем методом двойного рецензирования отбирались статьи, максимально отвечающие тематике исследования, при этом часть ссылок, перечисленных в найденных исследованиях, были проверены для поиска дополнительных соответствующих тематике исследований. В указанный список не включались материалы тезисов, авторефераты диссертаций, публикации, косвенно затрагивающие исследуемую проблему, а также исследования по влиянию электронных систем доставки никотина и электронных систем доставки продуктов, не являющихся никотином, на слуховую функцию. Для

проведения данного анализа были использованы материалы 36 источников, полнотекстовых материалов, содержащих информацию о результатах законченных исследований о роли табакокурения и патогенетических механизмах в снижении слуха у работников шумовых профессий.

Результаты. В научной литературе накоплен большой материал, обосновывающий факт, что основной биологический ущерб в повреждении органа слуха принадлежит непосредственному воздействию производственного шума [12]. Вместе с тем не исключается вклад других факторов в формировании потери слуха. В связи с этим во всем мире активно проводятся исследования, направленные на объяснение механизмов повреждающего действия производственного шума на орган слуха с учетом влияния широкого спектра производственных и социально-бытовых факторов [13, 14]. Определены новые аспекты механизмов повреждения органа слуха, а также значение образа жизни, курения, питания, химических и прочих факторов, участвующих в нарушении качества слуха у работников, подвергающихся воздействию производственного шума [15].

В настоящее время механизм неблагоприятного воздействия табакокурения на слух еще не в полной мере ясен, однако установлено, что компоненты табачного дыма участвуют в повреждении волосковых клеток [16]. В экспериментальных исследованиях обнаружены никотиноподобные рецепторы в волосковых клетках [17], что, на наш взгляд, может в определенной степени влиять на ототоксическое действие никотина на функцию волосковых клеток. Также важно подчеркнуть, что клетки внутреннего уха, ответственные за остроту слуха на высоких частотах, наиболее чувствительны к ишемическим состояниям, так как они расположены в конце питательных артерий. Это в значительной степени определяет роль состояния микроциркуляции в улитке, как наиболее уязвимой при нарушении ее питания. Это подтверждается исследованиями, показавшими, что в результате употребления курительной табачной продукции происходит сужение капилляров улитки, вызывающих снижение транспорта кислорода, что неизбежно приводит к гипоксии в базальной части улитки и, как следствие этого процесса, к нарушению слуха на высоких частотах [18]. Заключение авторов о том, что курение является фактором риска потери слуха на высоких частотах, независимо от воздействия профессионального шума, позволяет рассматривать роль курения в отрицательном воздействии на орган слуха в более широком аспекте. С другой стороны, имеются работы, свидетельствующие об отсутствии связи между снижением слуха и табакокурением [19]. Однако следует подчеркнуть, что это исследование проводилось без сочетания употребления курительной табачной продукции с воздействием высоких уровней шума на производстве.

В связи с повсеместно высокой распространенностью табакокурения среди лиц трудоспособного возраста и установленным влиянием табакосодержащей курительной продукции на функцию многих

органов и систем организма человека изучение влияния табакокурения на снижение слуха, особенно в сочетании с длительным воздействием производственного шума, закономерно привлекло внимание специалистов. Анализ отечественной и зарубежной научной литературы свидетельствует о том, что табакокурение может являться фактором риска для многих заболеваний, в том числе и НСТ [20–24]. Рядом ученых установлено, что табакокурение связано с увеличением вероятности потери слуха [25, 26]. Многие авторы считают, что курение может быть и самостоятельным фактором риска потери слуха на высоких частотах, а его сочетанное воздействие на слух совместно с воздействием профессионального шума является аддитивным [11, 25, 26]. К выводу об участии курения в нарушении слуха в высокочастотном диапазоне приходят и другие ученые, изучавшие взаимосвязь курения сигарет и потери слуха у рабочих, подвергавшихся воздействию профессионального шума на производстве [10, 27–29]. Следует отметить, что во многих исследованиях не приводятся результаты о зависимости нарушения слуха от интенсивности курения (табачной нагрузки), зачастую выборка делится на курящих и некурящих. В этой связи большой научный интерес представляет широко-масштабное лонгитюдное исследование, в ходе которого установлена корреляционная связь между потерей слуха в высокочастотном и низкочастотном диапазонах с интенсивностью курения [30].

Mizoue T. и соавт. полагают, что сочетанный эффект табакокурения и воздействия профессионального шума может быть сравним с суммой независимых эффектов каждого фактора [25]. Это в определенной степени позволяет нам высказать мнение о том, что курение может выступать как самостоятельный вредный фактор, влияющий на развитие поражения слуха при более низких дозах шумовой нагрузки на производстве. В пользу этого могут указывать и результаты исследований, в которых установлено, что риск повреждения улитки у обследованных курильщиков был в 5–6 раз выше, чем у некурящих [31]. Позднее эти выводы были подтверждены группой иранских ученых [32]. Результаты исследования, проведенного Wild D. и соавт., по анализу порогов слышимости курильщиков, проработавших в шумной обстановке кирпичного завода в течение 10 лет с превышением допустимых уровней и имевших такое же состояние здоровья и сходные условия труда, как и не курящие, показали, что пороги слышимости у курильщиков были хуже на частотах 3000 и 4000 Гц, чем у некурящих, примерно на 7 дБА [33]. Аналогичные результаты были получены Pouryaghub G. и соавт., которые изучали функциональное состояние органа слуха у курящих и не курящих работников фабрики по производству пищевых продуктов при уровне шума 85 дБА [29]. Авторы пришли к выводу, что табакокурение влияет на скорость потери слуха, вызванную шумом, превышающим допустимый уровень, и, кроме того, может быть независимым фактором в развитии НСТ, что обосновывает целесообразность расширения исследований по изучению роли

курения в сочетании с производственным шумом в процессах формирования НСТ.

Значительный интерес в обосновании роли курения в нарушении слуха представляют исследования, показывающие, что сочетанный эффект курения и воздействия шума был больше, чем независимые эффекты [34]. В настоящее время имеются данные, указывающие на самостоятельную роль табакокурения в развитии потери слуха. Sharabi Y. и соавт. установлена сильная корреляционная связь между развитием тугоухости и употреблением табачной курительной продукции. Наиболее выраженному негативному воздействию подвергались лица до 35 лет, у которых риск развития потери слуха составил 43 против 17 % у лиц старше 35 лет [35]. Результаты исследования [30], установившего, что прекращение курения приводит к снижению риска потери слуха, позволяет считать антитабачную пропаганду важным элементом профилактики поражения слуха у работников шумовых профессий. При сочетанном воздействии двух ототоксических факторов с синергическим механизмом влияния на орган слуха скорость развития тугоухости увеличивается, как показано для некоторых ототоксических химических веществ [36]. Эти исследования в определенной степени позволяют объяснить возможность развития снижения слуха у работников шумовых профессий с небольшим стажем работы в условиях высоких уровней производственного шума, что чрезвычайно важно при разработке профилактических мероприятий по снижению НСТ.

Таким образом, анализ литературы свидетельствует о том, что проблема влияния табакокурения на снижение слуха у работников шумовых профессий достаточно освещена в зарубежной научной литературе и странами-лидерами по изучению данной проблемы являются Япония, Китай, США, Южная Корея, Великобритания. Вместе с тем в отечественной научной литературе недостаточно исследований, освещающих изучение роли курения в снижении слуха у работников, подвергающихся хроническому воздействию шумового фактора высокой интенсивности на производстве.

Обсуждение. Проведенный анализ литературы показал, что проблема влияния табакокурения на снижение слуха у работников шумовых профессий достаточно освещена в зарубежной научной литературе и странами-лидерами по изучению данной проблемы являются Япония, Китай, США, Южная Корея, Великобритания. Вместе с тем в отечественной научной литературе практически отсутствуют исследования, посвященные изучению роли курения в снижении слуха у работников, подвергающихся хроническому воздействию шумового фактора высокой интенсивности на производстве. Таким образом, проблема неблагоприятного воздействия производственного шума на качество слуха у работников шумовых профессий остается чрезвычайно актуальной во всем мире, создавая серьезные проблемы в экономической и социальной сферах.

Результаты исследований, проводимых в научных центрах большинства стран, убедительно свидетельствуют о том, что табакокурение является

существенным фактором риска для снижения слуха у работников, подвергающихся хроническому воздействию шума на производстве. В связи с некоторыми противоречиями в разных научных источниках по трактовке совместного воздействия курения и производственного шума, а также недостаточными данными по оценке зависимости нарушений слуха от интенсивности курения необходимы дополнительные исследования для изучения механизмов повреждающего действия курительной табачной продукции на состояние слуховой функции у работников различных производств для разработки обоснованных рекомендаций по профилактике поражения слухового аппарата.

Проведенный анализ позволяет расширить представление о роли табакокурения в снижении слуха у работников шумовых профессий и патогенетических механизмах снижения слуха при хроническом воздействии производственного шума у лиц, употребляющих курительную табачную продукцию, что может послужить основой для обоснования системного, комплексного подхода к лечению и профилактике данного заболевания.

Заключение. В большинстве исследований выявляются доказательства достоверного влияния курения на формирование нейросенсорной тугоухости у работников шумоопасных производств. До сих пор существует несколько разных гипотез о механизме развития данного эффекта, при этом количественная оценка эффекта влияния курения на формирование нейросенсорной тугоухости у работников шумоопасных производств до сих пор не ясна. Учитывая, что большинство исследований по рассматриваемой проблеме опубликовано в зарубежных журналах, российским исследователям перспективнее всего сосредоточиться на выделенных выше наименее проясненных ее аспектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Zhou H, Zhou Y, Zhang H, Yu A, Zhu B, Zhang L. Socio-economic disparity in the global burden of occupational noise-induced hearing loss: An analysis for 2017 and the trend since 1990. *Occup Environ Med*. 2021;78(2):125-128. doi: 10.1136/oemed-2020-106556
2. Sliwinska-Kowalska M. New trends in the prevention of occupational noise-induced hearing loss. *Int J Occup Med Environ Health*. 2020;33(6):841-848. doi: 10.13075/ijomh.1896.01600
3. Chen KH, Su SB, Chen KT. An overview of occupational noise-induced hearing loss among workers: Epidemiology, pathogenesis, and preventive measures. *Environ Health Prev Med*. 2020;25(1):65. doi: 10.1186/s12199-020-00906-0
4. Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, et al. Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380(9859):2163-2196. doi: 10.1016/S0140-6736(12)61729-2
5. Kerr MJ, Neitzel RL, Hong OS, Sataloff RT. Historical review of efforts to reduce noise induced hearing loss in the United States. *Am J Ind Med*. 2017;60(6):569-577. doi: 10.1002/ajim.22627
6. Рузанов Д.Ю., Малахова И.В., Семенов А.В., Писарик В.М. Экономическое бремя табакокурения и перехода на потребление альтернативных никотиносодержащих продуктов: критический обзор релевантных научных исследований // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. 2022. Т. 110. № 1. С. 27-35. Ruzanov DYU, Malakhova IV, Semenov AV, Pisaryk VM. Economic burden of tobacco smoking and transition to consumption of alternative nicotine-containing products: A critical review of relevant scientific research. *Voprosy Organizatsii i Informatizatsii Zdravookhraneniya*. 2022;(110):27-35. (In Russ.)
7. Калабихина И.Е., Кузнецова П.О., Тикунов В.С., Черешня О.Ю. Смертность, ассоциированная с курением, в регионах России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 6. С. 13-26. Kalabikhina IE, Kuznetsova PO, Tikunov VS, Cheresnia OYu. Smoking-associated mortality in Russian regions. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografia*. 2021;(6):13-26. (In Russ.)
8. Jung H, Koh DH, Choi S, et al. Estimates of the prevalence, intensity and the number of workers exposed to cigarette smoking across occupations and industries in Korea. *J Korean Med Sci*. 2019;34(31):e213. doi: 10.3346/jkms.2019.34.e213
9. Райкова С.В., Райкин С.С., Комлева Н.Е., Гаджиева М.К. Распространенность употребления табачных изделий среди работников промышленных предприятий // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 6. С. 641-644. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-6-641-644 Raikova SV, Raykin SS, Komleva NE, Gadzhieva MK. The prevalence of tobacco use among industrial workers. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(6):641-644. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-6-641-644
10. Engdahl B, Aarhus L, Lie A, Tambs K. Cardiovascular risk factors and hearing loss: The HUNT study. *Int J Audiol*. 2015;54(12):958-966. doi: 10.3109/14992027.2015.1090631
11. Choochouy N, Kongtip P, Chantanakul S, Nankongnab N, Sujirarat D, Woskie SR. Hearing loss in agricultural workers exposed to pesticides and noise. *Ann Work Expo Health*. 2019;63(7):707-718. doi: 10.1093/annweh/wxz035
12. Themann CL, Masterson EA. Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *J Acoust Soc Am*. 2019;146(5):3879. doi: 10.1121/1.5134465
13. Tamblay N, Torrente MC, Huidobro B, et al. Prevalence, risk factors and causes of hearing loss among adults 50 years and older in Santiago, Chile: Results from a rapid assessment of hearing loss survey. *Int J Audiol*. 2023;62(1):53-61. doi: 10.1080/14992027.2021.1998675
14. Daniel E. Noise and hearing loss: A review. *J Sch Health*. 2007;77(5):225-231. doi: 10.1111/j.1746-1561.2007.00197.x
15. Lie A, Skogstad M, Johannessen HA, et al. Occupational noise exposure and hearing: A systematic review. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89(3):351-372. doi: 10.1007/s00420-015-1083-5
16. Henderson D, Subramaniam M, Boettcher FA. Individual susceptibility to noise-induced hearing loss: An old topic revisited. *Ear Hear*. 1993;14(3):152-168. doi: 10.1097/00003446-199306000-00002
17. Blanchet C, Eróstegui C, Sugawara M, Dulon D. Acetylcholine-induced potassium current of guinea pig outer hair cells: Its dependence on a calcium influx through nicotinic-like receptors. *J Neurosci*. 1996;16(8):2574-2584. doi: 10.1523/JNEUROSCI.16-08-02574.1996
18. Mohammadi S, Mazhari MM, Mehrparvar AH, Attarchi MS. Effect of simultaneous exposure to occupational noise and cigarette smoke on binaural hearing impairment. *Noise Health*. 2010;12(48):187-190. doi: 10.4103/1463-1741.64975
19. Mao H, Chen Y. Noise-induced hearing loss: Updates on molecular targets and potential interventions. *Neural Plast*. 2021;2021:4784385. doi: 10.1155/2021/4784385

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-3-49-53>
Review Article

20. Wang DM, Wang Z, Zhou M, *et al.* The combined effect of cigarette smoking and occupational noise exposure on hearing loss: Evidence from the Dongfeng-Tongji Cohort Study. *Sci Rep.* 2017;7(1):11142. doi: 10.1038/s41598-017-11556-8
21. Dement J, Welch LS, Ringen K, Cranford K, Quinn P. Hearing loss among older construction workers: Updated analyses. *Am J Ind Med.* 2018;61(4):326-335. doi: 10.1002/ajim.22827
22. Sari MA, Adnan A, Munir D, Eyanoe PC. The correlation of smoking and noise induced hearing loss on workers at a palm oil factory X in Medan-Indonesia. *Bali Med J.* 2017;6(3):637-640. doi: 10.15562/bmj.v6i3.752
23. Sriopas A, Chapman RS, Sutammassa S, Siri Wong W. Occupational noise-induced hearing loss in auto part factory workers in welding units in Thailand. *J Occup Health.* 2017;59(1):55-62. doi: 10.1539/joh.15-0291-OA
24. Исайкина О.Ю., Розанов В.Б., Александров А.А., Котова М.Б. Ассоциация курения с показателями структуры и функции сосудов у мужчин среднего возраста // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2020. Т. 16. № 6. С. 899–907. doi: 10.20996/1819-6446-2020-12-04
Isaykina OYu, Rozanov VB, Aleksandrov AA, Kotova MB. Association of smoking with indicators of the structure and function of blood vessels in middle-aged men. *Ratsional'naya Farmakoterapiya v Kardiologii.* 2020;16(6):899-907. (In Russ.) doi: 10.20996/1819-6446-2020-12-04
25. Mizoue T, Miyamoto T, Shimizu T. Combined effect of smoking and occupational exposure to noise on hearing loss in steel factory workers. *Occup Environ Med.* 2003;60(1):56-59. doi: 10.1136/oem.60.1.56
26. Li X, Rong X, Wang Z, Lin A. Association between smoking and noise-induced hearing loss: A meta-analysis of observational studies. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(4):1201. doi: 10.3390/ijerph17041201
27. Tao L, Davis R, Heyer N, *et al.* Effect of cigarette smoking on noise-induced hearing loss in workers exposed to occupational noise in China. *Noise Health.* 2013;15(62):67-72. doi: 10.4103/1463-1741.107159
28. Sung JH, Sim CS, Lee CR, *et al.* Relationship of cigarette smoking and hearing loss in workers exposed to occupational noise. *Ann Occup Environ Med.* 2013;25(1):8. doi: 10.1186/2052-4374-25-8
29. Pouryaghoub G, Mehrdad R, Mohammadi S. Interaction of smoking and occupational noise exposure on hearing loss: A cross-sectional study. *BMC Public Health.* 2007;7:137. doi: 10.1186/1471-2458-7-137
30. Hu H, Sasaki N, Ogasawara T, *et al.* Japan Epidemiology Collaboration on Occupational Health Study Group. Smoking, smoking cessation, and the risk of hearing loss: Japan Epidemiology Collaboration on Occupational Health Study. *Nicotine Tob Res.* 2019;21(4):481-488. doi: 10.1093/ntr/nty026
31. Ferrite S, Santana V. Joint effects of smoking, noise exposure and age on hearing loss. *Occup Med (Lond).* 2005;55(1):48-53. doi: 10.1093/ocmed/kqi002
32. Mehrparvar AH, Mirmohammadi SJ, Hashemi SH, *et al.* Concurrent effect of noise exposure and smoking on extended high-frequency pure-tone thresholds. *Int J Audiol.* 2015;54(5):301-307. doi: 10.3109/14992027.2014.978906
33. Wild DC, Brewster MJ, Banerjee AR. Noise-induced hearing loss is exacerbated by long-term smoking. *Clin Otolaryngol.* 2005;30(6):517-520. doi: 10.1111/j.1749-4486.2005.01105.x
34. Golmohammadi R, Darvishi E. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors – A systematic review. *Noise Health.* 2019;21(101):125-141. doi: 10.4103/nah.NAH_4_18
35. Sharabi Y, Reshef-Haran I, Burstein M, Eldad A. Cigarette smoking and hearing loss: Lessons from the young adult periodic examinations in Israel (YAPEIS) database. *Isr Med Assoc J.* 2002;4(12):1118-1120.
36. Cary R, Clarke S, Delic J. Effects of combined exposure to noise and toxic substances – Critical review of the literature. *Ann Occup Hyg.* 1997;41(4):455-465. doi: 10.1016/S0003-4878(97)00006-9

Сведения об авторах:

✉ **Спирин Владимир Федорович** – д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом медицины труда и общей патологии; e-mail: vlad.spirin2011@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2987-0099>.

Райкова Светлана Владимировна – к.м.н., доцент, старший научный сотрудник отдела медико-профилактических и инновационных технологий; e-mail: matiz853@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5749-2382>.

Комлева Наталия Евгеньевна – д.м.н., зам. директора по научной работе; e-mail: mail@smncg.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4099-9368>.

Старшов Андрей Михайлович – научный сотрудник отдела медицины труда и общей патологии; e-mail: mail@smncg.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6499-0459>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Спирин В.Ф., Комлева Н.Е.*; сбор данных: *Спирин В.Ф., Старшов А.М.*; анализ и интерпретация результатов: *Спирин В.Ф., Комлева Н.Е., Райкова С.В.*; обзор литературы: *Спирин В.Ф.*; подготовка проекта рукописи: *Спирин В.Ф., Райкова С.В., Старшов А.М.* 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: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 08.06.23 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ **Vladimir F. Spirin**, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Leading Researcher, Head of the Department of Occupational Medicine and General Pathology; e-mail: vlad.spirin2011@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2987-0099>.

Svetlana V. Raikova, Cand. Sci. (Med.), docent; Senior Researcher of the Department of Preventive Medicine and Innovative Technologies; e-mail: matiz853@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5749-2382>.

Natalia E. Komleva, Dr. Sci. (Med.), Deputy Director for Science; e-mail: mail@smncg.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4099-9368>.

Andrey M. Starshov, Researcher, Department of Occupational Medicine and General Pathology; e-mail: mail@smncg.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6499-0459>.

Author contributions: study conception and design: *Spirin V.F., Komleva N.E.*; data collection: *Spirin V.F., Starshov A.M.*; analysis and interpretation of results: *Spirin V.F., Komleva N.E., Raikova S.V.*; bibliography compilation and referencing: *Spirin V.F.*; draft manuscript preparation: *Spirin V.F., Raikova S.V., Starshov A.M.* 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: June 8, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024

**Алгоритмический подход к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями**А.И. Блох^{1,2}, А.Н. Летюшев³, Н.А. Пеньевская^{1,2}, Н.В. Рудаков^{1,2}¹ ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора,
пр-т Мира, д. 7, г. Омск, 644080, Российская Федерация² ФГУО ВО Омский государственный медицинский университет Минздрава,
ул. Ленина, д. 12, г. Омск, 644099, Российская Федерация³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Минздрава России, ул. Баррикадная, д. 2/1, г. Москва, 125993, Российская Федерация**Резюме**

Введение. Обзор посвящен алгоритмическому подходу к установлению эпидемических порогов для широкого круга заболеваний, в том числе гриппа и острых респираторных инфекций.

Цель исследования: сравнительная характеристика отечественных и зарубежных подходов к установлению эпидемических порогов для применения в системе эпидемиологического надзора.

Материалы и методы. Для раскрытия алгоритмического подхода к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора проведено обобщение результатов 14 зарубежных научных работ и двух отечественных методических документов, опубликованных до 31.12.2023. Поиск научной литературы проведен в базах данных eLibrary, CyberLeninka, PubMed, а также с применением Google Scholar по ключевым словам «эпидемический порог» / “epidemic threshold” и «эпидемия» / “epidemic”. Проведено сопоставление отечественных и зарубежных алгоритмов установления эпидемических порогов по различным характеристикам, включая применяемый статистический метод, определение эпидемического порога в числовом значении, сложность алгоритма и возможность автоматизации расчетов.

Результаты. Представлены классификация и сравнительные характеристики базовых алгоритмов определения эпидемических порогов, используемых в различных странах мира при осуществлении эпидемиологического надзора (в том числе синдромного). Описаны существующие способы установления и формы представления эпидемических порогов, а также последовательность шагов для выполнения алгоритмов Фаррингтона, Системы раннего выявления отклонений C1–C3, Метода движущихся эпидемий, Метода движущихся перцентилей, Многоуровневого выделения повышающейся активности по показателям с учетом смешанных эффектов, а также алгоритмов МР 3.1.2.0118–17 и МР 3.1.2.0303–22. Анализируются проблемы разработки, оценки точности и перспективы внедрения существующих и разрабатываемых алгоритмов.

Заключение. Современные алгоритмы установления эпидемических порогов в системах эпидемиологического надзора по всему миру разнообразны, опираются на различные статистические методы, различаются по сложности. На сегодняшний день отсутствуют убедительные доказательства более высокой эффективности какого-либо алгоритма.

Ключевые слова: эпидемиология; эпидемии; общественное здоровье, наблюдение и контроль; эпидемиологические методы; заболеваний эпидемические вспышки.

Для цитирования: Блох А.И., Летюшев А.Н., Пеньевская Н.А., Рудаков Н.В. Алгоритмический подход к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 54–62. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-54-62

Algorithmic Approach to Determination of Epidemic Thresholds in Infectious Disease Surveillance SystemsAlexey I. Blokh,^{1,2} Alexander N. Letyushev,³ Natalia A. Penyevskaya,^{1,2} Nikolay V. Rudakov^{1,2}¹ Omsk Research Institute of Natural Focal Infections, 7 Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation² Omsk State Medical University, 12 Lenin Street, Omsk, 644099, Russian Federation³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education,
2/1 Barrikadnaya Street, Moscow, 125993, Russian Federation**Summary**

Introduction: This review is devoted to the algorithmic approach to establishing epidemic thresholds for a wide range of diseases, including influenza and acute respiratory infections.

Objective: To compare Russian and foreign approaches to the determination of epidemic thresholds within public health surveillance systems.

Materials and methods: To reveal the algorithmic approach to establishing epidemic thresholds in the epidemiological surveillance system, we summarized the results of 14 foreign scientific works and two domestic method guidelines published before December 31, 2023. The literature search was conducted in the eLibrary, CyberLeninka, PubMed, and Google Scholar databases using the keywords “epidemic threshold” and “epidemic”. We compared domestic and foreign algorithms for establishing epidemic thresholds by various characteristics, including the statistical method used, determination of a numerical value of the epidemic threshold, complexity of the algorithm, and the possibility of automating calculations.

Results: Here we discuss the classification and comparative characteristics of the basic algorithms for determining epidemic thresholds used in various countries of the world when carrying out epidemiological surveillance, including the syndromic one. We describe the existing methods for establishing and presenting epidemic thresholds, as well as the sequence of steps for performing the Farrington algorithms, the Early Aberration Detection System C1–C3, the Method of Moving Epidemics, the Method of Moving Percentiles, Multi-level identification of increasing activity by indicators taking into account mixed effects, as well as algorithms provided in Russian Method Guidelines MR 3.1.2.0118–17 and MR

3.1.2.0303–22. We also dwell on the problems of development, accuracy assessment and prospects for the implementation of existing and developed algorithms.

Conclusions: Current algorithms for establishing epidemic thresholds in epidemiological surveillance systems around the world are diverse; they rely on different statistical methods and vary in complexity. To date, there is no convincing evidence of higher efficiency of any algorithm.

Keywords: epidemiology, epidemics, public health surveillance, epidemiologic methods, disease outbreaks.

Cite as: Blokh AI, Letyushev AN, Penyevskaya NA, Rudakov NV. Algorithmic approach to determination of epidemic thresholds in infectious disease surveillance systems. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):54–62. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-54-62

Введение. Систематический сбор, анализ и распространение данных, релевантных для принятия управленческих решений в сфере общественного здоровья, составляют сущность эпидемиологического надзора [1]. На современном этапе в сферу эпидемиологического надзора включают как инфекционные, так и неинфекционные заболевания, а равно и иные, связанные со здоровьем события (травмы, отравления, рисковое поведения и проч.) [2]. Оговорим также, что традиционная форма эпидемиологического надзора опирается на использование данных клинической диагностики (установленных диагнозов), тогда как синдромный эпидемиологический надзор – на доклинические данные любого рода (например, регистрацию того или иного клинического синдрома, изменение поведения населения и пр.). В отношении инфекционной патологии система эпидемиологического надзора предназначена, среди прочего, для выявления эпидемической (вспышечной) заболеваемости для обеспечения своевременного на нее реагирования [3]. В имеющем широкое международное признание пятом издании «Эпидемиологического словаря» «эпидемия» определена как регистрация «в сообществе людей или регионе случаев болезни, связанного со здоровьем поведения или других связанных со здоровьем событий с частотой, явно превышающей нормально ожидаемую» [4]. Несмотря на относительно однородное понимание эпидемиологами всего мира термина «эпидемия», в отношении термина «вспышка» единство трактовки отсутствует: в зарубежной литературе «вспышка» обычно является менее эмоционально окрашенным синонимом термина «эпидемия» [5], тогда как в отечественной учебной и научной литературе «вспышка» рассматривается как менее выраженное, локализованное распространение инфекционного заболевания.

В большинстве стран мира и в России самым прямолинейным и понятным критерием эпидемии является (что отражено в определении) превышение нормального уровня регистрации эпидемиологически значимых событий. Подчеркнем, однако, отсутствие в научных и административно-правовых определениях четких количественных критериев, что создает определенные разночтения при отнесении фактически наблюдаемой ситуации к категории «нормально ожидаемая регистрация» или «эпидемия» («вспышка»). Наиболее распространенным способом устранения субъективности в оценке ситуации является использование так называемых

эпидемических (или мониторинговых) порогов – уровней регистрации эпидемиологически важных событий, превышение которых может указывать на развитие эпидемии (вспышки). Необходимо отметить, что прилагательное «мониторинговые» несколько лучше отражает суть порогов: как отмечали G. Shmueli и H. Burkot (2010), задача выявления эпидемии (вспышки) заболевания скорее состоит в выявлении аномалии (т.е. выявлении, что «что-то идет не так»), чем в идентификации конкретных ее особенностей (что ИМЕННО идет не так), причин и условий ее формирования [6]. Представим для примера распространение среди населения острого респираторного заболевания (ОРИ), возбудитель которого в силу различных обстоятельств не мог быть массово идентифицирован, но многие годы циркулировал в популяции. Является ли рост уровня регистрации заболевания, вызванного этим возбудителем, произошедший после расширения тестирования и этиологической расшифровки данного ОРИ, эпидемией? Очевидно, что в данном случае речь идет лишь об изменении объема наших знаний об эпидемиологической ситуации, а не изменении самой эпидемиологической ситуации.

Цель исследования: сравнительная характеристика отечественных и зарубежных алгоритмических подходов к установлению эпидемических порогов для применения в системе эпидемиологического надзора.

Материалы и методы. Для раскрытия алгоритмического подхода к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора проведено обобщение результатов 14 зарубежных научных работ и двух отечественных методических документов, опубликованных с 01.01.1990 по 31.12.2023. Поиск научной литературы проведен в базах данных elibrary, cyberleninka, pubmed, а также с применением google.scholar по ключевым словам «эпидемический порог» / «epidemic threshold» и «эпидемия» / «epidemic». В обзор включали статьи, в которых в достаточном объеме описан математический алгоритм, применяемый уполномоченным на проведение эпидемиологического надзора органом, либо публикации, в которых оценивали эффективность такого алгоритма. В итоговое обобщение вошли публикации, посвященные пяти базовым алгоритмам и их значимым модификациям, применяемым за рубежом ($n = 14$), а также алгоритмы, закрепленные в действующих в нашей стране методических рекомендациях МР 3.1.2.0118–17¹ и МР 3.1.2.0303–22². Проведено

¹ МР 3.1.2.0118–17 «Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28 сентября 2017 г.).

² МР 3.1.2.0303–22 «Методика расчета эпидемических порогов по заболеваемости гриппом и острыми респираторными инфекциями для проведения оперативного анализа эпидемиологической ситуации в отдельных субъектах Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 25 ноября 2022 г.).

сопоставление отечественных и зарубежных алгоритмов установления эпидемических порогов по различными характеристикам, включая применяемый статистический метод, определение эпидемического порога в числовом значении, сложность алгоритма и возможность автоматизации расчетов.

Ограничения исследования. Исследование построено как обзор литературы. Дизайн исследования предполагал сбор и анализ научной информации о применяемых в системах эпидемиологического надзора алгоритмах, однако, при отсутствии опубликованных в рецензируемых журналах или общедоступных базах данных сведений о применяемых в конкретной системе алгоритмах, такие алгоритмы не могли быть включены в обзор. Кроме того, одни и те же алгоритмы могут использоваться в разных странах под разными наименованиями и с незначительными модификациями, не затрагивающими математический метод – в таких случаях однократно указывался исходный алгоритм.

Результаты. Эпидемические пороги широко используются по всему миру в совершенно разных контекстах и условиях. Впервые количественный эпидемический порог был установлен официальным образом Британским департаментом здравоохранения в 1996 г. в отношении гриппоподобных заболеваний на уровне 400 на 100 тысяч населения за неделю [7], но четырьмя годами ранее Moore et al. в научном исследовании в Буркина Фасо установили эпидемический порог для менингококкового менингита на уровне 15 на 100 тысяч населения в среднем за 2 недели [7]. Способы установления и форма представления эпидемических порогов разнообразны. Так в руководстве по чрезвычайным ситуациям Управления Верховного комиссара ООН по делам беженцев установлен следующий стандарт эпидемических порогов для экстренных ситуаций и рутинного использования [8]:

Единственный случай – холера, корь, острый вялый паралич или полиомиелит, желтая лихорадка, вирусная геморрагическая лихорадка.

Превышение в 1,5 раза уровня за прошедшие 3 недели – малярия, водянистая диарея.

Превышение в 1,5 раза уровня за прошедшие 3 недели или 5 случаев – менингит.

Пять случаев – кровавая диарея.

Хотя точный способ установления именно таких величин не приводится, пороги установлены в отношении одновременно диагнозов и синдромов в виде абсолютных величин и предназначены для применения в любых условиях, то есть не подлежат адаптации к конкретным условиям. Вместе с тем необходимо отметить максимальную простоту подхода, который почти не требует расчетов, что может быть крайне полезным в условиях дефицита ресурсов, в периоды чрезвычайных ситуаций.

Более распространен, однако, другой подход, состоящий в использовании различных статистических алгоритмов для расчета эпидемических порогов в конкретных условиях как в рамках традиционного эпидемиологического надзора, так и синдромного эпидемиологического надзора. Чтобы оценить разнообразие существующих методов, обратимся

к классификации алгоритмов выявления эпидемий (вспышек) по статистическому методу, предложенной Unkel et al. [9]:

1. Регрессионные алгоритмы (параметрические, полу-параметрические, безпороговые);

2. Алгоритмы, основанные на методах анализа временных рядов (тренд-сезонные модели, модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего, Байсовские и скрытые цепи Маркова);

3. Алгоритмы статистического контроля качества (контрольные карты, временное сканирование, время между событиями);

4. Пространственные алгоритмы;

5. Многомерные алгоритмы.

Поскольку целью настоящего обзора является рассмотрение алгоритмов, применяемых организациями, осуществляющими эпидемиологический надзор, то остановимся лишь на нескольких актуальных алгоритмах, которые, в основном, являются одномерными и не включают пространственные методы (за небольшим исключением). Подчеркнем также, что далеко не все алгоритмы вычисляют непосредственно пороговое значение уровня регистрации заболевания (эпидемический порог), зачастую вычисляется контрольный показатель, который в том или ином виде использует понятие эпидемического порога, но не вычисляет его непосредственно (так называемые беспороговые алгоритмы).

Сравнительная характеристика применяемых в системах эпидемиологического надзора алгоритмов представлена в таблице.

Семейство алгоритмов Фаррингтона – Великобритания [3]. Впервые алгоритм был предложен командой исследователей под руководством Farrington в начале 1990-х [3], с тех пор он используется Британскими официальными органами, осуществляющими эпидемиологический надзор [3, 10]. Алгоритм был модифицирован в 2012 г. [10], а в 2021 г. предложен генерализованный вариант с географически взвешенной регрессией [11]. Алгоритм в модифицированном варианте использовался Институтом Роберта Коха с 2014 года в связи с положениями Закона о предотвращении инфекций (нем. – *Infektionsschutzgesetz*, 2001), возложившими на Институт функции осуществления эпидемиологического надзора. В целом алгоритмы Фаррингтона относятся к регрессионным по классификации Unkel et al. Отметим, что разработана R-библиотека “Surveillance”, для автоматизации расчетов [12]. Порядок расчета по алгоритму Фаррингтона [3] с модификацией [10] представлен ниже:

Базовый период: данные по неделям за календарную неделю с порядковым номером N , w предшествующих и w последующих недель за последние d лет (всего $d \cdot (2w + 1)$ периодов; как правило $5 \cdot (3 \cdot 2 + 1) = 35$). Использование смежных недель призвано решить проблему дрейфа недель и случайных колебаний заболеваемости.

Эпидемии в базовом периоде: значения корректируются с помощью стандартизованных остатков Анскомба: чем сильнее значение отличается от остальных, тем сильнее оно корректируется – тем

Таблица. Сравнительная характеристика алгоритмов, применяемых для идентификации эпидемий в системах эпидемиологического надзора в разных странах**Table. Comparative characteristics of the algorithms used for identification of epidemics in public health surveillance systems in different countries**

Характеристика / Characteristic	Алгоритм (семейство алгоритмов) / Algorithm (family of algorithms)						
	Фаррингтона / Farrington	CPBO / EARS	МВПАПСМ / RAMMIE	МДП / MPM	МДЭ / MEM	MP 3.1.2.0118–17	MP 3.1.2.0303–22
Применение в эпидемиологическом надзоре / Use in case based surveillance	Да / Yes	Да / Yes	Нет / No	Да / Yes	Да / Yes	Да / Yes	Да / Yes
Применение в синдромном надзоре / Use in syndromic surveillance	Нет / No	Да / Yes	Да / Yes	Да / Yes	Нет / No	Нет / No	Нет / No
Поднадзорное заболевание / Disease	Любое / Any	Любое / Any	Любое / Any	Любое / Any	Грипп и ОРИ / Flu and ARI	Грипп и ОРИ / Flu and ARI	Грипп и ОРИ / Flu and ARI
Период разработки / Developed in	1990-е / 1990s	1990-е / 1990s	2010-е / 2010s	2010-е / 2010s	2010-е / 2010s	2000-е / 2000s	2022
Основной статистический метод / Main statistical method	Регрессия Пуассона / Poisson regression	Статистический контроль качества / Statistical quality control	Регрессия Пуассона / Poisson regression	Метод перцентилей / Percentile method	Доверительный интервал / Confidence intervals	Доверительный интервал / Confidence intervals	Статистический контроль качества / Statistical quality control
Объем требуемых данных (не менее) / Data needed	5 лет / 5 years	8 дней, недель / 8 days, weeks	Годы / Years	Годы / Years	5 лет / 5 years	5 лет / 5 years	10 недель / 10 weeks
Вычисление эпидемического порога / Calculation of epidemic threshold	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Да, но именуется иначе / Calculated under different name	Да, но именуется иначе / Calculated under different name	Да / Yes	Да / Yes
Автоматизация / Automation	Обязательна / Mandatory	Возможна / Possible	Обязательна / Mandatory	Возможна / Possible	Обязательна / Mandatory	Возможна / Possible	Возможна / Possible
Сложность / Complexity	Высокая / High	Низкая / Low	Средняя / Moderate	Средняя / Moderate	Высокая / High	Средняя / Moderate	Низкая / Low

самым данные не теряются, но эпидемическая кривая сглаживается в сторону многолетней тенденции.

Многолетняя тенденция: для учета изменения уровня регистрации со временем используется регрессия Пуассона с чрезмерной дисперсией, с помощью которой аппроксимируют данные. В модифицированной версии не учитывается статистическая значимость тренда.

Трансформация данных: используется степенная трансформация $2/3$ для корректировки скошенности распределений (более актуально для редких заболеваний); может использоваться степенная трансформация $1/2$.

Порог: верхний прогностический интервал для среднего уровня регистрации при выбранном уровне доверия.

Логика срабатывания: расчетный показатель превышения порога больше 1.

Семейство алгоритмов Системы раннего выявления отклонений версии C1, C2, C3 (CPBO) – Соединенные штаты Америки [12]. Алгоритмы семейства CPBO разрабатывались с начала 90-х годов XX века для выявления актов биотерроризма, но впоследствии их использование расширилось [12]. Отметим, что одноименная система EARS включает и другие алгоритмы, схожие с представленными в данном обзоре [12]. Ключевым отличием семейства алгоритмов CPBO является их минимальная потребность в данных: всего лишь 7–11 предшествующих временных интервалов (дней, недель). Следует

отметить также простоту расчетов и отсутствие необходимости в использовании сложных методов корректировки разного рода явлений, влияющих на расчеты (например, сезонные эффекты пренебрежительно малы на промежутках времени менее 1–2 месяцев). Семейство алгоритмов CPBO относится к группе алгоритмов статистического контроля качества по классификации Unkel et al. Отметим, что разработана R-библиотека “Surveillance”, для автоматизации расчетов [13]. Порядок расчета:

Базовый период: используются данные за w предшествующих дней, отделенных от текущего дня разрывом в g дней. Все версии алгоритма используют по умолчанию $w = 7$, но версия C3 требует 3 последовательных значения, рассчитанные по алгоритму C2, т. е. фактически имеет базовый период $w + 2$ дней. Версия C1 не использует разрыв ($g = 0$), а версии C2 и C3 – двухдневный разрыв ($g = 2$).

Коэффициент превышения (порог не рассчитывается): рассчитывают отношение разности наблюдаемого количества и среднего количества за базовый период к стандартному отклонению, вычисленному за базовый период

Логика срабатывания, версия C1 и C2: если коэффициент превышения больше 3.

Логика срабатывания, версия C3: за три дня суммируют наибольшее из двух: разность коэффициента превышения по версии C2 и 1, либо 0. Алгоритм срабатывает, если итоговая сумма превышает 2.

Алгоритм Многоуровневого выделения повышающейся активности по показателям с учетом смешанных эффектов (МВПАПСМ) – Великобритания [14]. Один из достаточно новых алгоритмов, разработанный для использования в синдромном надзоре. Существенным отличием данного алгоритма является включение в модель корректировки праздничных и выходных дней (т. е. алгоритм относится к многомерным), в то же время расчетный метод прост – отрицательная биномиальная регрессия или регрессия Пуассона с чрезмерной дисперсией [14]. Отметим, что алгоритм использует абсолютные величины, однако, численность населения (или иной знаменатель) включается в регрессионную модель в качестве коэффициента смещения, что в значительной мере эквивалентно использованию относительных величин. В силу сферы применения алгоритм МВПАПСМ является лишь первым этапом оценки риска для общественного здоровья, тогда как второй этап состоит в оценке риска общественному здоровью специалистом-эпидемиологом [15].

Базовый период: может быть любым, но должен содержать не менее 365 отличных от 0 значений в соответствии с оригинальными рекомендациями авторов.

Порог: вычисляется с помощью множественной отрицательной биномиальной регрессии (ковариаты: 7 бинарных переменных для дня недели, 12 переменных для месяца, 3 бинарных переменных для выходных дней, праздничных дней и банковских выходных дней) как верхняя граница 95 % прогностического интервала.

Логика срабатывания: если наблюдаемое значение превышает ожидаемое более, чем на три стандартных отклонения.

Дополнительные правила: при срабатывании алгоритма на более общий индикатор и на входящий в него специальный индикатор, срабатывание считается только на специальный индикатор. При срабатывании алгоритма на внутрирегиональном уровне не менее 3 территорий и на уровне Центра общественного здоровья, ответственного за эти территории, срабатывание считается только на уровне Центра; аналогичный подход использовался на национальном уровне.

Метод движущихся перцентилей (МДП) – Китайская народная республика [16]. Специально разработанный для китайской системы автоматического предупреждения и реагирования на инфекционные заболевания (КСАПРИ) алгоритм МДП используется для расчета временных эпидемических порогов [16]. В системе КСАПРИ реализованы три способа генерации предупреждений: превышение фиксированного значения (более опасные, но редкие заболевания), превышение временного эпидемического порога и в дополнение превышение пространственного эпидемического порога (более распространенные и менее опасные заболевания). Порядок расчетов по алгоритму МДП:

Базовый период: данные по дням за текущий семидневный период, два предшествующих и два последующих семидневных периода за последние 3 года (всего 15 периодов, 105 значений).

Логика срабатывания: Алгоритм срабатывает, если наблюдаемое значение за день (С) превышает 80-й перцентиль базового периода, либо С между 50-м и 80-м перцентилем базового периода и пространственная кластеризация, либо С меньше 50-го перцентиля и С выше 10-го перцентиля (авторы указывают на двухэтапную проверку, в отличие от одноэтапной в предшествующем пункте, но причины такого подхода не разъяснены) и пространственная кластеризация.

Метод движущихся эпидемий (МДЭ) – ВОЗ [17]. Особенно широкое распространение алгоритмический подход получил применительно к эпидемиологическому надзору за гриппом и ОРВИ. Наиболее известен в этом направлении алгоритм МДЭ. Отметим, что авторами алгоритма разработана R-библиотека «мет», для автоматизации расчетов [17]. Особенностью алгоритма является использование в оригинальном варианте как абсолютных, так и относительных величин, но в дальнейшем использовались только относительные величины [17]. Кроме того, примеры использования данного алгоритма в зарубежных странах (в т. ч. имеющих иные мониторинговые алгоритмы) широко представлены в печати [18–20], а сам алгоритм упоминается в перечне стандартных алгоритмов ВОЗ для применения в надзоре за гриппом и ОРВИ [21]. В России данный алгоритм длительное время применяется преимущественно в научных целях [22]. Порядок расчета по алгоритму МДЭ:

Базовый период: данные по неделям за последние 5 и более эпидемических сезонов (т. е. период, начинающийся с минимальных уровней заболеваемости).

Эпидемии в базовом периоде: в каждом эпидемическом сезоне вычисляется минимальное количество последовательных недель с максимальным вкладом в показатель заболеваемости за сезон – эти недели считаются эпидемическими. В качестве минимального вклада используется величина от 2,0 % до 4,0 % в разных странах. В результате, сезоны разбиваются на три части: предэпидемический период, эпидемия, постэпидемический период.

Порог (базовая линия): из каждого предэпидемического периода выбирается $30 / N$ (где N – количество сезонов базового периода) недель с наибольшим уровнем регистрации, по которым затем вычисляется верхняя граница одностороннего 95 % доверительного интервала (т. е. используется доверительный коэффициент 1,64). Аналогичным образом считается базовая линия для постэпидемического периода.

Логика срабатывания: превышение базовой линии предэпидемического периода.

Уровни интенсивности: из каждого эпидемического периода выбирают $30 / N$ (где N – количество сезонов базового периода) недель с наибольшим уровнем регистрации, по которым затем вычисляется среднее геометрическое и верхние границы его 50 %, 90 % и 95 % односторонних доверительных интервалов, которые и представляют три уровня интенсивности эпидемии.

Алгоритм МР 3.1.2.0118–17³ – Российская Федерация. Алгоритм разработан для применения в надзоре за гриппом и ОРИ совместно ФБУН «НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева» Минздрава России и Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) и впервые введен в 2010 году, актуальная версия утверждена в виде МР 3.1.2.0118–17 «Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации». Существенным отличием алгоритма является использование для расчетов только показателей заболеваемости, а не количества случаев. Кроме того, в отличие от алгоритма MEM, по которому рассчитывается 5 пороговых значений (начало эпидемии, конец эпидемии и 3 уровня интенсивности) для всего эпидсезона, алгоритм МР 3.1.2.0118–17 предполагает вычисление порогового значения для каждой недели года (т. е. 52–53 пороговых значения). Ввиду возможной неполноты имеющихся данных, алгоритм реализован в виде двух вариантов – точного и приближенного:

Базовый период: данные по неделям за календарную неделю с порядковым номером N за последние 5–10 лет.

Эпидемии в базовом периоде: для исключения влияния предшествующих эпидемий (вспышек) на оценку текущей ситуации осуществляется рекурсивное удаление эпидемических недель из базового периода.

Порог: верхний толерантный предел среднего уровня регистрации при выбранном уровне доверия (точный алгоритм), верхняя граница 95 % доверительного интервала при выбранном уровне доверия (приближенный алгоритм).

Логика срабатывания: превышение эпидемического порога в совокупности с темпом прироста к прошлой неделе $> 20\%$.

Алгоритм МР 3.1.2.0303–22⁴ – Российская Федерация. Алгоритм разрабатывался в период пандемии новой коронавирусной инфекции для применения в надзоре за гриппом и ОРИ совместно Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора и ФБУН «Центральный НИИ эпидемиологии» Роспотребнадзора и прошел апробацию в 11 субъектах Российской Федерации. Алгоритм МР 3.1.2.0303–22 в целом основан на алгоритме СРВО версии С2 в связи с тем, что одними из ключевых требований к разрабатываемому алгоритму были простота и минимальная потребность в данных. В настоящее время продолжается изучение точности данного алгоритма. Порядок расчета следующий:

Базовый период: используются данные за 8 предшествующих недель, отделенных от текущей недели разрывом в 2 недели (всего 10 точек данных).

Порог: в качестве порогового значения используется верхняя граница двухстороннего 99 % доверительного интервала (доверительный коэффициент 2,54) среднего показателя заболеваемости за базовый период.

Логика срабатывания: наблюдаемое значение превышает пороговое. Дополнительно учитывается темп прироста более 20 %.

Обсуждение. Существующие сегодня в разных странах подходы, в том числе алгоритмические, к установлению эпидемических порогов для мониторинга инфекционных заболеваний в системах традиционного и синдромного эпидемиологического надзора опираются на разные статистические методы, отличаются по сложности и вовлеченности человека в работу алгоритма. Использование различных алгоритмов в разных странах на фоне существования крайне сложных для понимания и внедрения алгоритмов (эти алгоритмы не были затронуты в настоящем обзоре ввиду их исключительно научной сферы применения), в целом отражает отсутствие консенсуса по вопросам установления эпидемических порогов в научном эпидемиологическом сообществе и в среде практиков. Противоречия сводятся к удивительно точному тезису «мы должны сначала согласиться, что считать эпидемией (вспышкой)» [23].

Развитие отечественной системы эпидемиологического надзора, получившее мощный толчок во время пандемии новой коронавирусной инфекции, в соответствии с современными вызовами рано или поздно потребует более широкого внедрения алгоритмического подхода. Действующий сегодня Национальный стандарт ГОСТ Р 22.0.04-2020⁵ при оценке ситуации как эпидемии уже опирается на понятие «эпидемических порогов» – рассчитанных по отдельным нозологическим формам предельных уровней нормальной заболеваемости населения определенной территории, превышение которых свидетельствует об эпидемии. Развитие автоматизированных систем управления для сбора и анализа данных, в том числе в сфере эпидемиологического надзора, позволит не только аккумулировать необходимую информацию, но и автоматизировать процессы расчетов, не привлекая к этому процессу операторов. В то же время главной сложностью остается отсутствие утвержденного алгоритма для расчета эпидемических порогов, исключая только ОРИ и грипп. Следует отметить попытки отечественных ученых расширить сферу применения алгоритма МР 3.1.2.0118–17 на энтеровирусную (неполио) инфекцию [24] с использованием ежедневных данных и на инфекционный мононуклеоз [25] с использованием годовых данных и существен-

³ МР 3.1.2.0118–17 «Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28 сентября 2017 г.).

⁴ МР 3.1.2.0303–22 «Методика расчета эпидемических порогов по заболеваемости гриппом и острыми респираторными инфекциями для проведения оперативного анализа эпидемиологической ситуации в отдельных субъектах Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 25 ноября 2022 г.).

⁵ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.0.04-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 сентября 2020 г. № 643-ст).

ной модификацией алгоритма. С другой стороны, авторские коллективы предлагают собственные новые алгоритмы: так на основе среднего времени первого появления (алгоритм анализа времени до события по классификации Unkel et al.) предложена цифровая система, которая по утверждению авторов предназначена для определения момента времени с которого начинается новая волна эпидемии и предсказания дня и количества инфицированных, когда «вспышка эпидемии» (прим. – цитируется дословно!) начнет достигать своего максимума⁶, т. е. данный подход не является мониторинговым. Другой интересный алгоритм, ближе всего соответствующий группе алгоритмов статистического контроля качества по классификации Unkel et al., для расчета эпидемических порогов заболеваемости внебольничными пневмониями использует в качестве порогового значения величины третьего квартиля распределения уровней регистрации за соответствующую календарную неделю за 6 предшествующих лет [26]. В целом оба подхода опробованы в единственном регионе (Республике Марий Эл и Иркутской области соответственно) и на единственной нозологической форме (COVID-19 и внебольничные пневмонии), но в обоих случаях авторы полагают возможным использовать предложенные алгоритмы для иной патологии, а также в синдромном надзоре (только второй алгоритм), что является вполне допустимым предложением, коль скоро никаких эпидемиологических закономерностей ни один из алгоритмов не использует.

На пути к внедрению в практику эпидемиологического надзора новых или существующих алгоритмов отметим, однако, коллизию между Национальным стандартом ГОСТ Р 22.0.04–2020, устанавливающим единственный критерий эпидемии (превышение порогового уровня заболеваемости), Методическими рекомендациями МР 3.1.2.0118–17, использующими дополнительный критерий (темп прироста более 20 %), и эпидемиологической действительностью, в которой рост регистрации может быть обусловлен совершенствованием (расширением) диагностики. И вновь уместно повторить тезис «мы должны сначала согласиться, что считать эпидемией (вспышкой)» [23]. Выбор одного или нескольких способов (алгоритмов) установления эпидемических порогов для широкого круга инфекционных заболеваний зачастую и является таким соглашением. Именно такой подход не только соответствует общемировой практике, но и имплементирован в отечественные нормативно-правовые акты. Основное препятствие на этом пути состоит в том, что немногие авторы, проводившие сравнительный анализ различных алгоритмов, в том числе, описанных в настоящей работе, не приходят к единому мнению: одни утверждают преимущество конкретных алгоритмов (EARS или Farrington), другие делают заключение об отсутствии достаточно точного варианта [27–29]. Важно отметить, что сравнение алгоритмов друг с другом – тупиковый подход, поскольку отсутствует какой-либо внешний «золотой» стандарт,

на основании которого можно оценивать ситуацию. Так в упомянутых выше источниках [27–29] авторы использовали симулированные данные с заранее заложенными эпидемиями (вспышками), тогда как в случае применения реальных данных авторы воздерживаются от каких-либо суждений о точности алгоритмов, лишь приводя результаты расчетов [13]. По-видимому, каждый алгоритм имеет свои сильные и слабые стороны, отличаясь по требуемым данным и необходимым вычислительным мощностям (последнее особенно актуально с учетом размера нашей страны и большого количества административно-территориальных единиц). В то же время, автоматизированная система управления при современных вычислительных возможностях ЭВМ может включать множество алгоритмов для их сравнительной проверки.

Заключение. Таким образом, на сегодняшний день в профессиональном сообществе не достигнуто единого мнения о наиболее эффективных алгоритмах расчета эпидемических порогов, которые могут быть рекомендованы для универсального применения. Вместе с тем, в отечественной и зарубежной литературе складывается консенсус о применении метода движущихся эпидемий в области надзора за гриппом и ОРВИ.

При выборе алгоритма необходимо учитывать, что каждый из них имеет различную логику срабатывания, реагирует на разные характеристики проявлений эпидемиологического процесса, имеет значительно различающуюся сложность. Большинство применяемых за рубежом алгоритмов, в силу терминологических различий с действующими отечественными нормативными документами, не могут быть напрямую использованы для принятия управленческих решений об установлении факта эпидемии, поскольку не позволяют определять эпидемический порог в числовом значении или называют его иным образом (например, базовая линия в алгоритме МДЭ).

Совершенствование применяемых в эпидемиологическом надзоре в нашей стране алгоритмов установления эпидемических порогов возможно по трем направлениям: модификация уже принятых в отечественной практике алгоритмов, глубокая адаптация зарубежных алгоритмов, совершенствование нормативной базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Langmuir AD. The surveillance of communicable diseases of national importance. *N Engl J Med.* 1963;268:182–192. doi: 10.1056/NEJM196301242680405
2. Declich S, Carter AO. Public health surveillance: Historical origins, methods and evaluation. *Bull World Health Organ.* 1994;72(2):285–304.
3. Farrington CP, Andrews N, Beale AD, Catchpole MA. A statistical algorithm for the early detection of outbreaks of infectious disease. *J R Statist Soc A.* 1996;159(3):547–563. doi: 10.2307/2983331
4. Porta M, ed. *A Dictionary of Epidemiology*. 5th ed. New York, NY: Oxford University Press; 2008. doi: 10.1093/acref/9780195314496.001.0001

⁶ Шадрин Я.А., Мокшин А.В. Инновационный подход в управлении элементами здравоохранения при своевременном выявлении предэпидемической ситуации в регионе // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. №1. С. 261–268.

5. Martin PM, Martin-Granel E. 2,500-year evolution of the term epidemic. *Emerg Infect Dis.* 2006;12(6):976-980. doi: 10.3201/eid1206.051263
6. Shmueli G, Burkom H. Statistical challenges facing early outbreak detection in biosurveillance. *Technometrics.* 2010;52(1):39-51. doi: 10.1198/TECH.2010.06134
7. Green MS, Swartz T, Mayshar E, et al. When is an epidemic an epidemic? *Isr Med Assoc J.* 2002;4(1):3-6.
8. UN Refugee Agency. A UNHCR guide to agile, effective and community-based humanitarian emergency responses. Accessed September 20, 2023. <https://emergency.unhcr.org/>
9. Unkel S, Farrington CP, Garthwaite PH, Robertson C, Andrews N. Statistical methods for the prospective detection of infectious disease outbreaks: A review. *J R Statist Soc A.* 2012;175(1):49-82. doi: 10.1111/j.1467-985X.2011.00714.x
10. Noufaily A, Enki DG, Farrington P, Garthwaite P, Andrews N, Charlett A. An improved algorithm for outbreak detection in multiple surveillance systems. *Stat Med.* 2013;32(7):1206-1222. doi: 10.1002/sim.5595
11. Yoneoka D, Kawashima T, Makiyama K, Tanoue Y, Nomura S, Eguchi A. Geographically weighted generalized Farrington algorithm for rapid outbreak detection over short data accumulation periods. *Stat Med.* 2021;40(28):6277-6294. doi: 10.1002/sim.9182
12. Hutwagner L, Thompson W, Seeman GM, Treadwell T. The bioterrorism preparedness and response Early Aberration Reporting System (EARS). *J Urban Health.* 2003;80(2 Suppl 1):i89-96. doi: 10.1007/pl00022319
13. Salmon M, Schumacher D, Höhle M. Monitoring count time series in R: Aberration detection in public health surveillance. *J Stat Softw.* 2016;70(10):1-35. doi: 10.18637/jss.v070.i10
14. Morbey RA, Elliot AJ, Charlett A, Verlander NQ, Andrews N, Smith GE. The application of a novel 'rising activity, multi-level mixed effects, indicator emphasis' (RAMMIE) method for syndromic surveillance in England. *Bioinformatics.* 2015;31(22):3660-3665. doi: 10.1093/bioinformatics/btv418
15. Lake IR, Colón-González FJ, Barker GC, Morbey RA, Smith GE, Elliot AJ. Machine learning to refine decision making within a syndromic surveillance service. *BMC Public Health.* 2019;19(1):559. doi: 10.1186/s12889-019-6916-9
16. Yang W, Li Z, Lan Y, et al. A nationwide web-based automated system for outbreak early detection and rapid response in China. *Western Pac Surveill Response J.* 2011;2(1):10-15. doi: 10.5365/WPSAR.2010.1.1.009
17. Vega T, Lozano JE, Meerhoff T, et al. Influenza surveillance in Europe: Establishing epidemic thresholds by the moving epidemic method. *Influenza Other Respir Viruses.* 2013;7(4):546-558. doi: 10.1111/j.1750-2659.2012.00422.x
18. Biggerstaff M, Kniss K, Jernigan DB, et al. Systematic assessment of multiple routine and near real-time indicators to classify the severity of influenza seasons and pandemics in the United States, 2003-2004 through 2015-2016. *Am J Epidemiol.* 2018;187(5):1040-1050. doi: 10.1093/aje/kwx334
19. Kang M, Tan X, Ye M, Liao Y, Song T, Tang S. The moving epidemic method applied to influenza surveillance in Guangdong, China. *Int J Infect Dis.* 2021;104:594-600. doi: 10.1016/j.ijid.2021.01.058
20. Teeluck M, Samura A. Assessing the appropriateness of the Moving Epidemic Method and WHO Average Curve Method for the syndromic surveillance of acute respiratory infection in Mauritius. *PLoS ONE.* 2021;16(6):e0252703. doi: 10.1371/journal.pone.0252703
21. Global Epidemiological Surveillance Standards for Influenza. World Health Organization; 2013. Accessed September 20, 2023. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/311268/9789241506601-eng.pdf>
22. Карпова Л.С., Пелих М.Ю., Волик К.М., Поповцева Н.М., Столярова Т.П., Леонов Д.А. Оценка эффективности новых критериев раннего выявления старта и интенсивности эпидемий гриппа в Российской Федерации // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2023. Т. 22. № 6. С. 4-18. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2023-22-6-4-18>
Karpova LS, Pelikh MYu, Volik KM, Popovtseva NM, Stolyarova TP, Lioznov DA. Evaluating the effectiveness of new criteria for early detection of the start and intensity of influenza epidemics in Russian Federation. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika.* 2023;22(6):4-18 (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2023-22-6-4-18
23. Brookmeyer R, Stroup DF, eds. *Monitoring the Health of Populations: Statistical Principles and Methods for Public Health Surveillance.* New York: Oxford Academic; 2009. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195146493.001.0001
24. Фельдблюм И.В., Акимкин В.Г., Алимов А.В. и др. Новые подходы к оценке и прогнозу заболеваемости энтеровирусной (неполио) инфекцией в российской федерации с использованием математических моделей // Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 108-117. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.10
Feldblum IV, Akimkin VG, Alimov AV, et al. New approaches to assessing and forecasting morbidity with enterovirus (non-polio) infection in the Russian Federation using mathematical models. *Health Risk Analysis.* 2021;(3):107-115. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.10.eng
25. Михнева С.А., Мартынов Ю.В., Кухтевич Е.В., Гришина Ю.Ю. Инфекционный мононуклеоз: пространственно-временное проявление эпидемического процесса. Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 10 (307). С. 50-54. doi: 10.35627/2219-5238/2018-307-10-50-54
Mikhneva SA, Martinov YuV, Kukhtevich EV, Grishina YuYu. Infectious mononucleosis: A spatiotemporal manifestation of the epidemic process. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2018;(10(307)):50-54. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2018-307-10-50-54
26. Ботвинкин А.Д., Кравченко Н.А., Баянова Т.А., Хакимова М.И., Гаврилова Т.А., Лиханова Н.А. Опыт расчета эпидемических порогов заболеваемости внебольничной пневмонией // Фундаментальная и клиническая медицина. 2022. Т. 7. № 2. С. 45-55. doi: 10.23946/2500-0764-2022-7-2-45-55
Botvinkin AD, Kravchenko NA, Bayanova TA, Khakimova MI, Gavrilova TA, Likhonova NA. Calculation of epidemic thresholds for incidence of community-acquired pneumonia. *Fundamental'naya i Klinicheskaya Meditsina.* 2022;7(2):45-55. (In Russ.) doi: 10.23946/2500-0764-2022-7-2-45-55
27. Fricker RD Jr, Hegler BL, Dunfee DA. Comparing syndromic surveillance detection methods: EARS' versus a CUSUM-based methodology. *Stat Med.* 2008;27(17):3407-3429. doi: 10.1002/sim.3197
28. Bédubourg G, Le Strat Y. Evaluation and comparison of statistical methods for early temporal detection of outbreaks: A simulation-based study. *PLoS ONE.* 2017;12(7):e0181227. doi: 10.1371/journal.pone.0181227
29. Choi BY, Kim H, Go UY, Jeong JH, Lee JW. Comparison of various statistical methods for detecting disease outbreaks. *Comput Stat.* 2010;25(4):603-617. doi: 10.1007/s00180-010-0191-7

Сведения об авторах:

✉ **Блох** Алексей Игоревич – канд. мед. наук, руководитель Сибирского федерального окружного центра по профилактике и борьбе со СПИД, врач-эпидемиолог ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; e-mail: blokh_ai@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0756-2271>.

Летюшев Александр Николаевич – к.м.н., доцент кафедры организации санитарно-эпидемиологической службы ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; e-mail: kaf.orgses.rmapo@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4185-9829>.

Пеньевская Наталья Александровна – д-р мед. наук, доцент, заместитель директора по научной работе ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; e-mail: nap20052005@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7220-4366>.

Рудаков Николай Викторович – д-р мед. наук, профессор, директор ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; e-mail: mail@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9566-9214>.

Информация о вкладе авторов: концепция исследования: *Рудаков Н.В., Пеньевская Н.А.*; сбор данных: *Летюшев А.Н., Блох А.И.*; анализ и интерпретация результатов: *Рудаков Н.В.*; подготовка рукописи: *Блох А.И., Летюшев А.Н.*; переработки отдельных разделов: *Пеньевская Н.А., Рудаков Н.В.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: не применимо.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы статьи принимали участие в разработке алгоритма, утвержденного в МР 3.1.2.0303–22. Авторы декларируют отсутствие иных явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 16.10.23 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ Alexey I. **Blokh**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Siberian Federal District Center for AIDS Prevention and Control; epidemiologist, Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; e-mail: blokh_ai@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0756-2271>.

Aleksandr N. **Letushev**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Organization of the Sanitary and Epidemiological Service; Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; e-mail: kaf.orgses.rmapo@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4185-9829>.

Natalia A. **Penyevskaya**, Dr. Sci. (Med.), docent; Deputy Director for Research, Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; e-mail: mail@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7220-4366>.

Nikolay V. **Rudakov**, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Director, Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; e-mail: mail@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9566-9214>.

Author contributions: study conception and design: *Rudakov N.V., Penyevskaya N.A.*; data collection: *Letyushev A.N., Blokh A.I.*; analysis and interpretation of results: *Rudakov N.V.*; draft manuscript preparation: *Blokh A.I., Letyushev A.N.*; critical revision: *Penyevskaya N.A., Rudakov N.V.* 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 took part in the development of the algorithm adopted in Guidelines MR 3.1.2.0303–22. The authors have no other conflicts of interest to declare.

Received: October 16, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Геномный мониторинг вируса SARS-CoV-2, циркулировавшего на территории Кыргызской Республики в 2020–2021 гг.

А.Б. Джумаканова

*Департамент профилактики заболеваний и государственного санитарно-эпидемиологического надзора
Министерства здравоохранения Кыргызской Республики,
ул. Фрунзе, д. 535, г. Бишкек, 720033, Кыргызская Республика*

Резюме

Введение. РНК-содержащий вирус тяжелого острого респираторного заболевания SARS-CoV-2 быстро распространился по миру вследствие адаптации к хозяину путем генетической эволюции. Появление геновариантов с мутациями, повышающими контагиозность и трансмиссивность, могут негативно влиять на эффективность программ борьбы с заболеванием и снизить эффективность вакцинации.

Цель исследования: выявление доминирующих геновариантов вируса SARS-CoV-2, циркулирующих на территории Кыргызской Республики в 2020–2021 гг.

Материалы и методы. Геномный мониторинг был проведен на положительных мазках из носоглотки. Диагностику COVID-19 проводили методом ПЦР в реальном времени с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР) на различных коммерческих тест-системах.

Определение геновариантов ($n = 15$) проводилось методом высокопроизводительного секвенирования на приборе MiSeq по протоколу ARTIC v3. Изучение мутационной изменчивости вируса SARS-CoV-2 проводили посредством кластерного анализа аминокислотных замен в S-белке по методу Уорда. Нуклеотидные последовательности из Кыргызстана ($n = 15$), России ($n = 16$), Индии ($n = 2$) и Китая ($n = 2$) выравнивали с помощью MAFFT. Филогенетическое дерево было создано с помощью метода максимального правдоподобия (ML) в IQ-TREE v1.6.12 с использованием процессов Nextstrain. Корнем дерева считались образцы SARS-CoV-2 Wuhan/Hu-1/2019 и Wuhan/WH01/2019, загруженными из базы данных GenBank®.

Результаты. Филогенетический анализ полученных данных выявил, что доминирующим геновариантом VOC был B.1.1.7 (Alpha), на долю которого приходилось 36,4 % (12/33), также был выявлен B.1.351 (Beta) VOC, на долю которого приходилось 6,1 % (2/33). При исследовании образцов на наличие аминокислотных замен в S-белке обнаружено, что изоляты B.1.1.7 Alpha (Британский) кластеризуются на две отдельные ветви.

Заключение. Изучение частоты и влияния мутаций на патогенетические свойства вируса, а также анализ преобладающих геновариантов вируса позволяют своевременно принимать меры по противодействию распространению вируса SARS-CoV-2 в стране. В связи с этим необходим постоянный геномный мониторинг за циркулирующими геновариантами COVID-19.

Ключевые слова: SARS-CoV-2, COVID-19, ПЦР в реальном времени, новая коронавирусная инфекция.

Для цитирования: Джумаканова А.Б. Геномный мониторинг вируса SARS-CoV-2, циркулировавшего на территории Кыргызской Республики в 2020–2021 гг. // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 63–69. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-63-69

Genome Monitoring of SARS-CoV-2 Circulating in the Kyrgyz Republic in 2020–2021

Aigul B. Dzhumakanova

*Department of Disease Prevention and State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health
of the Kyrgyz Republic, 535 Frunze Street, Bishkek, 720033, Kyrgyz Republic*

Summary

Introduction: The RNA-containing severe acute respiratory syndrome virus SARS-CoV-2 has spread rapidly around the world by adaptation to the host through genetic evolution. The emergence of variants with genetic mutations that increase contagiousness and transmission may hamper the effectiveness of disease control programs and efficacy of vaccination.

Objective: To establish dominant SARS-CoV-2 variants circulating in the Kyrgyz Republic in 2020–2021.

Materials and methods: Genomic monitoring was carried out based on positive results of testing nasopharyngeal swabs. SARS-CoV-2 was detected by a real-time reverse transcription –polymerase chain reaction (RT-PCR) assay using registered commercial test kits. Genetic variants ($n = 15$) were determined by high-throughput sequencing on a MiSeq device (Illumina, USA) using the COVID-19 ARTIC v3 protocol. Mutational variability of SARS-CoV-2 was examined using a cluster analysis of amino acid substitutions in the S protein applying Ward's method. Nucleotide sequences from Kyrgyzstan ($n = 15$), Russia ($n = 16$), India ($n = 2$), and China ($n = 2$) were aligned using MAFFT. IQ-TREE v1.6.12 was used to infer the phylogenetic tree by maximum likelihood applying Nextstrain processes. Isolates Wuhan/Hu-1/2019 and Wuhan/WH01/2019 downloaded from the GenBank® database were considered to be the root of the tree (reference).

Results: Phylogenetic data analysis revealed that SARS-CoV-2 B.1.1.7 (Alpha) was the dominant VOC variant, the proportion of which was as high as 36.4 % (12/33); B.1.351 (Beta) was also found (6.1 % or 2/33). When samples were examined for amino acid substitutions in the S-protein, B.1.1.7 Alpha (British) isolates were found to cluster into two distinct branches.

Conclusion: The study of the frequency and influence of mutations on pathogenetic properties of the virus, as well as the analysis of the predominant variants of the virus will allow timely measures to be taken to counteract the spread of SARS-CoV-2 in the country. In this regard, continuous genome monitoring of circulating COVID-19 variants is necessary.

Keywords: SARS-CoV-2, COVID-19, real-time PCR, novel coronavirus disease.

Cite as: Dzhumakanova AB. Genome monitoring of SARS-CoV-2 circulating in the Kyrgyz Republic in 2020–2021. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):63–69. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-63-69

Введение. В марте 2020 года Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила COVID-19 глобальной пандемией. В декабре 2019 года в г. Ухани (провинция Хубэй, КНР) был зарегистрирован первый случай заражения вирусом острого респираторного синдрома коронавируса 2 (SARS-CoV-2, COVID-19) [1–5]. SARS-CoV-2 является оболочечным одноцепочечным РНК-вирусом, относящимся к семейству *Coronaviridae*, роду *Betacoronavirus* [2, 6]. 30 января 2020 года ВОЗ объявила SARS-CoV-2 вспышкой и чрезвычайной ситуацией в области общественного здравоохранения, имеющей международное значение, а 11 марта 2020 года COVID-19 был объявлен пандемией [6].

Предполагается, что SARS-CoV-2 имеет зоонозное происхождение, хотя точный зоонозный источник исходного вируса и точность его появления у людей остаются неизвестными [7, 8]. Известно, что SARS-CoV-2 примерно на 96 % гомологичен с сарбековирусом летучих мышей RaTG13, а специфические гены высококонсервативны у COVID-19 и других коронавирусов летучих мышей [3, 9, 10]. Филогенетический анализ показывает регулярность случаев рекомбинации между SARS-CoV и коронавирусами летучих мышей [10, 11]. Исходя из этих данных возможно предположить, что вирус SARS-CoV-2 произошел от коронавирусов летучих мышей.

Рекомбинация РНК COVID-19 происходит с высокой скоростью [10, 12–15] и играет важную роль в их эволюции. Известно, что коронавирусы имеют самые большие известные геномы среди РНК-вирусов, что обеспечивает вирусу дополнительную пластичность для мутаций и рекомбинаций по сравнению с вирусами, содержащими меньший геном [10, 14]. Варианты SARS-CoV-2 обычно характеризуются совокупностью специфических мутаций, которые могут повысить их трансмиссивность, контагиозность, иммунологический уклон и фенотипические характеристики [16, 17]. Эти свойства позволили COVID-19 быстро распространиться по всему миру с резким увеличением числа случаев [18, 19].

По мере того как SARS-CoV-2 распространялся, вирусный геном продолжал приобретать новые мутации, некоторые из которых получили широкое распространение. До конца 2020 года наиболее заметной была мутация S-белка D614G. Вариант G614 стал доминирующим к июню 2020 года [20, 21]. Такое быстрое распространение, по-видимому, произошло из-за повышенной контагиозности, стабильности и трансмиссивности по сравнению с уханьской формой D614, что является результатом перехода к открытой конфигурации тримера S-белка, который необходим для связывания с ангиотензинпревращающим ферментом 2 (ACE2) [20] и входа в клетку-хозяина [3, 10, 20, 22].

Повышенная контагиозность вызывает особую озабоченность, поскольку она может потребовать введения более строгих мер общественного здравоохранения. Вариант уклонения от нейтрализации

антител может снизить эффективность вакцин, что потребует разработки новых или модификации существующих вакцин. Данные факторы оказывают существенное влияние на борьбу с пандемией [10].

Цель исследования – выявление доминирующих геновариантов вируса SARS-CoV-2, циркулирующих в Кыргызской Республике в 2020–2021 гг.

Материалы и методы. Биологическим материалом для исследования являлись мазки из носоглотки, мокрота и аутопсийный материал в вирусологической транспортной среде от лиц с подозрением на COVID-19, контактные лица и от лиц, выезжающих за пределы республики и сдающих биоматериал с профилактической целью согласно рекомендациям ВОЗ. Всего за период 2020–2021 гг. методом ОТ-ПЦР было исследовано 2 361 654 образца биоматериала. Из них вирус SARS-CoV-2 выявили только в мазках из носоглотки – 109 874 (5,9 %).

Диагностику COVID-19 проводили методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР) на следующих зарегистрированных коммерческих тест-системах: ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией «Вектор-ПЦРv-2019-nCoV-RG» (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, Российская Федерация), ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией «Вектор-OneStepПЦР-CoV-RG» (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, Российская Федерация), «ОТ-ПЦР в режиме реального времени РеалБест РНК SARS-CoV-2» (АО «Вектор-Бест», Российская Федерация), «ОТ-ПЦР в режиме реального времени SARS-CoV-2/SARS-CoV» (ООО «ДНК-Технология-ТС», Российская Федерация), ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией «АмплиСенс® Cov-Bat-FL» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Российская Федерация), SunsureBiotech (Китайская Народная Республика, КНР), BioSpeedy (Турция), WHO (Германия), «Алсенс» (Республика Беларусь). Амплификацию и учет реакции проводили на приборах планшетного и роторного типа: RotorGene (Qiagen, Нидерланды), Biorad (Bio-Rad Laboratories, Соединенные Штаты Америки, США), DT-96 (ДНК-Технология, Российская Федерация) и GeneXpert (Cepheid GeneXpert, США) при экстренных ситуациях.

Определение геновариантов проводилось методом высокопроизводительного секвенирования на приборе MiSeq (Illumina, США) по протоколу ARTIC v3 с последующим биоинформационным анализом в соответствующих аккредитованных лабораториях ведущих референс лабораториях ВОЗ.

Для исследования были отобраны 33 образца, в том числе 10 образцов, имеющих пороговый цикл ct ниже 27, и 4 образца, имеющих цикл до 31. Нуклеотидные последовательности 33 образцов, выделенных на территории Кыргызской Республики, и 20 образцов из GISAID¹ выравнивали с помощью MAFFT². 19 образцов были удалены в силу низкого качества сиквенса. Кластерный анализ был проведен с применением восходящего агломеративного

¹ GISAID. 2024. Tracking of variants. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://gisaid.org/hcov19-variants/> (дата обращения 14 января 2024).

² MAFFT version 7. Multiple alignment program for amino acid or nucleotide sequences. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://mafft.cbrc.jp/alignment/server/index.html> (дата обращения: 14 января 2024 г.).

подхода по методу Уорда³, который предполагает объединение ближайших кластеров, расчет их суммы квадратов отклонений и объединение в кластеры объектов с наименьшим приращением величины суммы квадратов отклонений. Исходное предковое дерево было создано с помощью филогенетического анализа с использованием метода максимального правдоподобия (ML) в IQ-TREE v1.6.12 [23] по модели нуклеотидных замен GTR, которая была выбрана как наиболее подходящая в jModelTest 2.1.7 [24]. Для проверки геноварианта методом ML к выравненным последовательностям из Кыргызской Республики были добавлены эталонные последовательности геновариантов и их сублиний, которые были взяты из базы данных последовательностей SARS-CoV-2 GISAID. Изменения аминокислотных замен S-белков изолятов COVID-19, выделенных на территории Кыргызской Республики, позволил определить 2 клада образцов SARSCoV-2 с высокой статистической поддержкой (PP $\approx$ 1,0 во всех случаях). В результате субтипирования кыргызских образцов удалось выявить наиболее часто циркулирующие варианты VOC в Кыргызской Республике и в мире – Альфа (B.1.1.7) и Бета (B.1.351). При исследовании мутаций в структурных белках SARS-CoV-2 разных генетических вариантов зафиксировано наибольшее разнообразие замен в S-белке: D138H, A262T, N501Y, D614G и A892V, являющихся примерами общих мутаций между вариантами B.1.1.7 Alpha и B.1.351 Beta. Полученное филогенетическое дерево было подтверждено с использованием локального экземпляра рабочего процесса Nextstrain⁴, который

использует анализ ML, реализованный в Tree-Time [25]. Общий набор данных для анализа Nextstrain ML содержал 35 последовательностей SARS-CoV-2: 15 последовательностей S-белков вируса из Кыргызской Республики и 20 полных геномов глобальных последовательностей SARS-CoV-2 в качестве внешней группы, взятых в открытой базе данных. Визуализация дерева была проведена онлайн с помощью Auspice версии 2.24.0⁵. Корнем дерева считались образцы SARS-CoV-2 Wuhan/Hu-1/2019 и Wuhan/WH01/2019, загруженные из базы данных GenBank®. Репрезентативность отбора образцов для секвенирования была обеспечена согласно критериям, рекомендованным ВОЗ⁶.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием стандартных методов описательной статистики с помощью программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты. С целью определения геновариантов SARS-CoV-2, вызывающих озабоченность (variant of concern, VOC) и представляющих интерес (variants of interest, VOI), было исследовано 53 клинических образца с положительным результатом ПНК COVID-19. В результате проведения секвенирования было получено 33 нуклеотидные последовательности генома коронавируса SARS-CoV-2 с покрытием от 91 до 99 % bp.

Анализ данных проведенных исследований показал, что доминирующим являлся геновариант B.1.1.7 (Alpha) – 36,4 % (12/33), B.1.1.141 – 12,1 % (4/33), B.1.1.29, B.1.1.289 и B.1.1.294 – по 9,1 % (3/33), B.1.351 (Beta) и B.1.1.84 – по 6,1 % (2/33) (рис. 1).

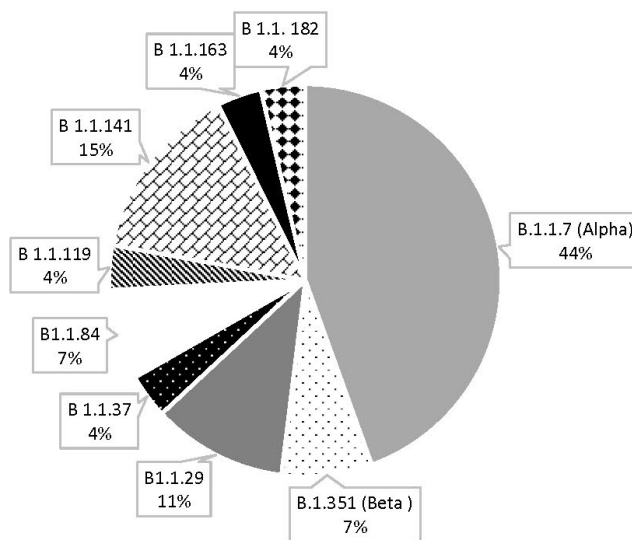


Рис. 1. Структура геновариантов вируса SARS-CoV-2, выделенных на территории Кыргызской Республики в 2020–2021 гг.

Fig. 1. SARS-CoV-2 variants isolated in the Kyrgyz Republic in 2020–2021

³ PennState Eberly College of Science. Applied Multivariate Statistical Analysis. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://online.stat.psu.edu/stat505/lesson/14/14.7> (дата обращения 29 февраля 2024 г.).

⁴ Genomic epidemiology of SARS-CoV-2 with subsampling focused globally. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://nextstrain.org/ncov/gisaid/global/6m> (дата обращения: 14 января 2024 г.).

⁵ Snyk Vulnerability Database [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://security.snyk.io/package/npm/auspice/2.24.0> (дата обращения: 14 января 2024 г.).

⁶ World Health Organization. Surface sampling of coronavirus disease (COVID-19): a practical “how to” protocol for health care and public health professionals. Epidemiological protocol. [Электронный ресурс.] Режим доступа: [https://www.who.int/publications/i/item/surface-sampling-of-coronavirus-disease-\(covid-19\)-a-practical-how-to-protocol-for-health-care-and-public-health-professionals](https://www.who.int/publications/i/item/surface-sampling-of-coronavirus-disease-(covid-19)-a-practical-how-to-protocol-for-health-care-and-public-health-professionals) (дата обращения: 14 января 2024 г.).

Согласно классификации Центра по контролю и профилактике заболеваний США⁷ (ВОЗ⁸) было обнаружено 14 изолятов VOC вариантов COVID-19. Данные изоляты относились к геновариантам Alpha (B.1.1.7) «Британский» и Beta (B.1.351) «ЮАР». Остальные геноварианты относились к вариантам VOI.

На рис. 2 представлено филогенетическое дерево, построенное на основе полногеномных нуклеотидных последовательностей SARS-CoV-2, циркулирующих на территории Кыргызской Республики.

Всего для построения филогенетического дерева геновариантов VOC было использовано 35 полногеномных последовательностей SARS-CoV-2, из которых 15 были последовательностями изолятов COVID-19, выделенных на территории Республики Кыргызстан в рамках данного исследования. Были добавлены нуклеотидные последовательности исследованных ранее изолятов COVID-19, выделенных на территории Российской Федерации – 16, на территории Индии – 2 и города Ухани (КНР) – 2.

Филогенетический анализ изученных геномов вируса SARS-CoV-2 показал, что 35 полных последовательностей генома сгруппированы в пять отдельных генетических кластеров – 20B, 20I/501Y, V1, 20A, 19A и 20A/N.194L.

С целью детального изучения эволюции, геномного разнообразия и динамики мутационной изменчивости вируса SARS-CoV-2, циркулирующего на территории Кыргызской Республики, нами был проведен кластерный анализ аминокислотных замен в S-белке. Результаты проведенного анализа представлены в табл. 1 и 2.

Основное число аминокислотных замен в S-белке обнаружено у изолятов, принадлежащих к Британскому варианту B. 1.1.7 Alpha. Обнаружено, что изоляты B.1.1.7 Alpha (Британский) кластеризуются на две отдельные ветви. У изолятов, принадлежащих к южно-африканскому варианту B.1.351 Beta, аминокислотных замен в S-белке не обнаружено.

Обсуждение. В данном исследовании описаны геноварианты коронавируса тяжелого острого респираторного синдрома 2 (SARS-CoV-2), циркулирующие на территории Кыргызской Республики в 2021 г. Положительные изоляты COVID-19 были получены от пациентов с симптомами коронавирусной инфекции.

Вирусам SARS-CoV-2 свойственны часто возникающие мутации, которые связаны с чрезвычайно высокой скоростью роста и являются механизмом адаптации к одной и той же клетке-хозяину [10, 26, 27]. Геновариант Alpha (B.1.1.7) отличается от последовательности SARS-CoV-2 исходного дикого штамма примерно на 30 мутаций и включает сотни тысяч доступных в настоящее время последовательностей [27, 28]. Вариант Alpha был впервые обнаружен в городе Кенте (Великобритания) в конце лета 2020 года, а к середине декабря 2020 года составил более трети инфицированного населения страны [27]. К 2021 г. штамм SARS-CoV-2 Alpha (B.1.1.7/GR/501Y.V1/20I) из Великобритании быстро распространился по континентальной Европе, США, Латинской Америке и Российской Федерации [16, 17, 27, 29–32]. Полученные в нашем исследовании данные согласуются с данными из источников литературы,

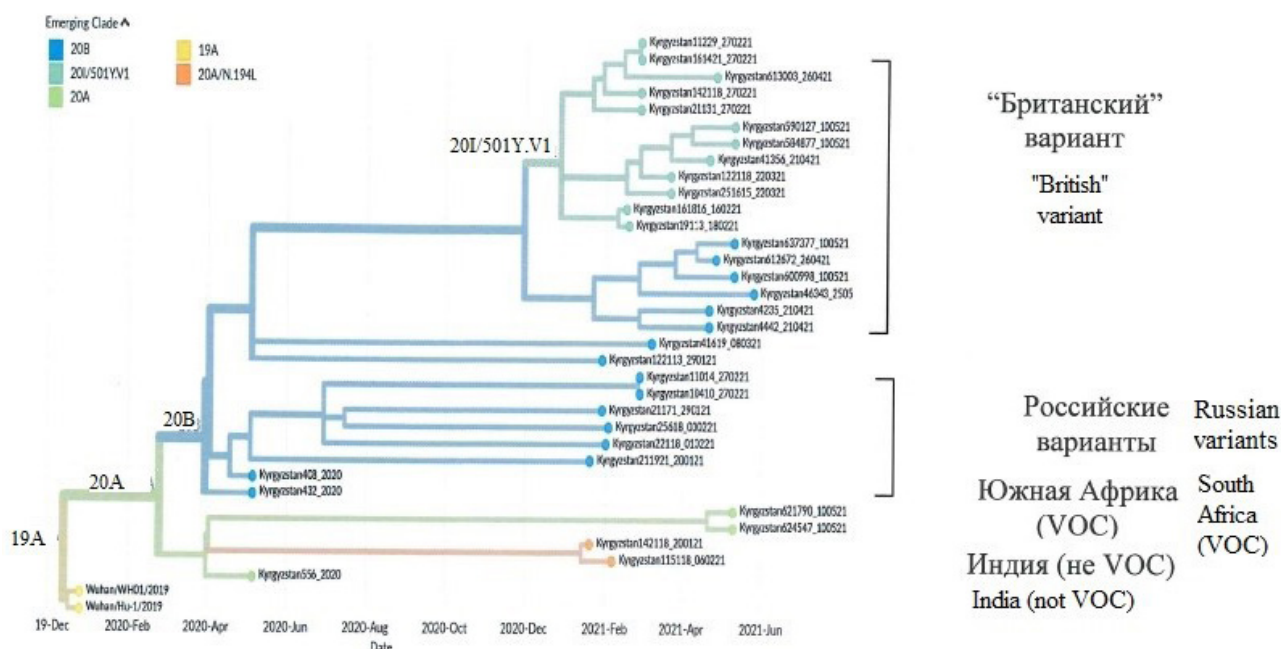


Рис. 2. Филогенетическое дерево геномов вируса SARS-CoV-2 VOC, циркулировавших на территории Кыргызской Республики в 2020–2021 гг. Добавлены нуклеотидные последовательности, исследованные ранее

Fig. 2. The phylogenetic tree of SARS-CoV-2 VOC genomes circulating in the Kyrgyz Republic in 2020–2021. Nucleotide sequences previously investigated have been added

⁷ Centers for Disease Control and Prevention. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.cdc.gov/>, (дата обращения 14 января 2024 г.).

⁸ World Health Organization. Tracking SARS-CoV-2 variants. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.who.int/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants/> (дата обращения: 14 января 2024 г.).

Таблица 1. Аминокислотные замены в S-белке изолятов SARS-CoV-2, принадлежащих к Британскому варианту B.1.1.7 Alpha**Table 1. Amino acid substitutions in the S protein of SARS-CoV-2 isolates belonging to the British B.1.1.7 Alpha variant**

Изолят / Isolate	69-70del	S98F	D138H	Y145del	A262T	D290D	N501Y	A570D	D614G	P681H	T716I	A892V	S982A	P1079S	D1118H
kyrgyzstan41356/210421	+	+	+	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan584877/100521	+	+	+	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan590127/100521	+	+	+	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan46343/250521	+	–	–	+	+	–	–	+	+	+	+	+	+	–	+
kyrgyzstan613003/260421	+	–	–	+	+	–	+	+	+	+	+	–	+	+	+
kyrgyzstan637377/100521	+	–	–	+	–	+	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan612672/260421	+	–	–	+	–	+	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan4235/210421	+	–	–	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan4442/210421	+	–	–	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan600998/100521	+	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+
kyrgyzstan630889/100521	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	+	–	+
kyrgyzstan624535/100521	+	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	+

Примечание: жирным шрифтом отмечены мутации, по которым определяется принадлежность к британскому варианту.

Notes: mutations, by which the belonging to the British variant is determined, are in bold.

Таблица 2. Мутации в S-гене для геномов, принадлежащих к южно-африканскому варианту B.1.351. Beta**Table 2. Mutations in the S gene for genomes belonging to the South African variant B.1.351. Beta**

Изолят / Isolate	*L18P	D80A	D138H	D215G	*242-244del	A262T	K417N	E484K	N501Y	D614G	A701V	A892V
kyrgyzstan624547 / 100521	+	+	+			+			+		+	+
kyrgyzstan62179 / 100521	+	+	+			+			+		+	+

Примечание: жирным шрифтом отмечены мутации, по которым определяется принадлежность к южно-африканскому варианту; (*) – мутация, встречающаяся не для всех южно-африканских вариантов.

Notes: mutations, by which the belonging to the South African variant is determined, are in bold; (*) – mutation not found for all South African variants.

согласно которым на территории Кыргызской Республики в начале 2021 г. также доминировал геновариант Alpha (B.1.1.7) «Британский». Широкое распространение геноварианта – результат повышенной на 90 % по сравнению с предшественниками трансмиссивности Alpha [17, 33]. Исследование, проведенное Вассалло и соавт. (2021), показало, что пациенты, инфицированные вариантом Alpha, имели в 3,8 раза более высокий риск смерти или перевода в отделение интенсивной терапии (ОИТ) по сравнению с теми, кто заразился исходным диким штаммом [6, 18].

Анализ аминокислотных замен в исследованных нами образцах выявил 9 мутаций – 69-70del, Y145del, N501Y, A570D, D614G, P681H, T716I, S982A, D1118H. Наши данные согласуются с данными источников литературы о том, что геноварианту Alpha свойственно большое количество мутаций (всего 27, исключая мутацию D614G), из которых 20 (17 аминокислотных замен и 3 делеции) являются изменяющимися аминокислотами. Восемь из этих мутаций находятся в гене S [10]. Делеция в положении 69/70 (69/70Δ) произошла в нескольких других линиях SARS-CoV-2 в связи с изменениями RBD и может быть связана с уклонением от иммунитета или с инфекционностью [10]. Мутация N501Y находится внутри RBD и влияет на аффинность связывания с рецептором ACE2 [10, 34]. Мутация P681H прилегает к участку расщепления

фурином на стыке доменов S1 и S2 белка-шипа, что улучшает трансмиссивность вируса и проникновение в клетки легких [10, 35, 36]. Недавние данные свидетельствуют о том, что частота мутаций в положении 681 растет экспоненциально во всем мире [10, 37]. Эти данные могут свидетельствовать о процессе эволюции данного геноварианта коронавируса в локальных популяциях на территории Кыргызской Республики.

Еще одним геновариантом вируса SARS-CoV-2, выявленным на территории Кыргызской Республики в нашем исследовании, был геновариант Beta (B.1.351). Первый случай геноварианта Beta-варианта был выявлен в заливе Нельсона Манделы (Южно-Африканская Республика, ЮАР) в октябре 2020 года. К концу ноября 2020 года эта линия преобладала в Восточно-Капской и Западно-Капской провинциях ЮАР. К январю 2021 года было известно о 415 случаях заражения этим вариантом, обнаруженных в 13 разных странах [27]. Анализ аминокислотных замен в исследованных нами образцах выявил 9 мутаций – L18P, D80A, D215G, 242-244del, K417N, E484K, N501Y, D614G, A701V. Согласно данным литературы этот геновариант имеет 19 мутаций (исключая D614G), включая 8 мутаций в области гена S, в дополнение к вариативным изменениям в положении L242 (делеция или другая несинонимичная замена) [27, 38]. Три из этих мутаций находятся в ключевых

сайтах RBD, связанных с уклонением от иммунного ответа: N501Y (общий с Alpha), E484K и K417N [10, 35]. Эти мутации могут привести к изменениям конформации, ставящие под угрозу эффективность вакцин [27, 39–41].

Выявленные на территории Кыргызской Республики геноварианты являются широко распространенными, которые стали доминирующими вариантами не только в тех географических регионах, где они были впервые идентифицированы. По состоянию на 14 января 2024 года⁹ геноварианты Alpha «Британский» и Beta «ЮАР» являются широко распространенными и были зарегистрированы в 190 странах и 131 стране соответственно. Быстрое распространение различных геновариантов SARS-CoV-2 убедительно свидетельствует о том, что эти варианты имеют преимущества в передаче перед предковыми вирусами [10].

Заключение. Эпидемические волны COVID-19 часто ассоциируются с появлением новых геновариантов вируса SARS-CoV-2. Появление геновариантов, несущих мутации, повышающих контагиозность и трансмиссивность, а также способствующих уклонению от антител, могут потенциально негативно влиять на эффективность программ борьбы с заболеванием, снизить эффективность вакцинации и привести к новым пандемиям. Проведение геномного мониторинга за циркулирующими на территории Кыргызской Республики геновариантами вируса SARS-CoV-2 может служить предиктором развития коронавирусной инфекции в стране, что и позволит своевременно принимать меры по противодействию распространению вируса SARS-CoV-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Li Q, Tang B, Bragazzi NL, Xiao Y, Wu J. Modeling the impact of mass influenza vaccination and public health interventions on COVID-19 epidemics with limited detection capability. *Math Biosci.* 2020;325:108378. doi: 10.1016/j.mbs.2020.108378
- Wu F, Zhao S, Yu B, et al. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature.* 2020;579(7798):265–269. doi: 10.1038/s41586-020-2008-3
- Zhou P, Yang XL, Wang XG, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature.* 2020;579(7798):270–273. doi: 10.1038/s41586-020-2012-7
- Wang C, Liu Z, Chen Z, et al. The establishment of reference sequence for SARS-CoV-2 and variation analysis. *J Med Virol.* 2020;92(6):667–674. doi: 10.1002/jmv.25762
- Kumar M, Taki K, Gahlot R, Sharma A, Dhangar K. A chronicle of SARS-CoV-2: Part-I – Epidemiology, diagnosis, prognosis, transmission and treatment. *Sci Total Environ.* 2020;734:139278. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139278
- Nasereddin A, Al-Jawabreh A, Dumaidi K, Al-Jawabreh A, Al-Jawabreh H, Erekat S. Tracking of SARS-CoV-2 Alpha variant (B.1.1.7) in Palestine. *Infect Genet Evol.* 2022;101:105279. doi: 10.1016/j.meegid.2022.105279
- Boni F, Lemey P, Jiang X, et al. Evolutionary origins of the SARS-CoV-2 sarbecovirus lineage responsible for the COVID-19 pandemic. *Nat Microbiol.* 2020;5(11):1408–1417. doi: 10.1038/s41564-020-0771-4
- MacLean OA, Lytras S, Weaver S, et al. Natural selection in the evolution of SARS-CoV-2 in bats created a generalist virus and highly capable human pathogen. *PLoS Biol.* 2021;19(3):e3001115. doi: 10.1371/journal.pbio.3001115
- Ellis P, Somogyvári F, Virok DP, Nosedá M, McLean GR. Decoding Covid-19 with the SARS-CoV-2 genome. *Curr Genet Med Rep.* 2021;9(1):1–12. doi: 10.1007/s40142-020-00197-5
- McLean G, Kamil J, Lee B, et al. The impact of evolving SARS-CoV-2 mutations and variants on COVID-19 vaccines. *mBio.* 2022;13(2):e0297921. doi: 10.1128/mbio.02979-21
- Li X, Giorgi EE, Marichannegowda MH, et al. Emergence of SARS-CoV-2 through recombination and strong purifying selection. *Sci Adv.* 2020;6(27):eabb9153. doi: 10.1126/sciadv.abb9153
- Bobay LM, O'Donnell AC, Ochman H. Recombination events are concentrated in the spike protein region of Betacoronaviruses. *PLoS Genet.* 2020;16(12):e1009272. doi: 10.1371/journal.pgen.1009272
- Lai MM, Cavanagh D. The molecular biology of coronaviruses. *Adv Virus Res.* 1997;48:1–100. doi: 10.1016/S0065-3527(08)60286-9
- Su S, Wong G, Shi W, et al. Epidemiology, genetic recombination, and pathogenesis of coronaviruses. *Trends Microbiol.* 2016;24(6):490–502. doi: 10.1016/j.tim.2016.03.003
- Lytras S, Hughes J, Martin D, et al. Exploring the natural origins of SARS-CoV-2 in the light of recombination. *Genome Biol Evol.* 2022;14(2):evac018. doi: 10.1093/gbe/evac018
- Volz E, Mishra S, Chand M, et al. Assessing transmissibility of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. *Nature.* 2021;593(7858):266–269. doi: 10.1038/s41586-021-03470-x
- Slavov SN, Bezerra RDS, Rodrigues ES, et al. Genomic monitoring of the SARS-CoV-2 B.1.1.7 (WHO VOC Alpha) in the Sao Paulo state, Brazil. *Virus Res.* 2022;308:198643. doi: 10.1016/j.virusres.2021.198643
- Vassallo M, Manni S, Klotz C, et al. Patients admitted for variant Alpha COVID-19 have poorer outcomes than those infected with the old strain. *J Clin Med.* 2021;10(16):3550. doi: 10.3390/jcm10163550
- Velavan TP, Meyer CG. The COVID-19 epidemic. *Trop Med Int Health.* 2020;25(3):278–280. doi: 10.1111/tmi.13383
- Yurkovetskiy L, Wang X, Pascal KE, et al. Structural and functional analysis of the D614G SARS-CoV-2 spike protein variant. *Cell.* 2020;183(3):739–751.e8. doi: 10.1016/j.cell.2020.09.032
- Korber B, Fischer WM, Gnanakaran S, et al.; Sheffield COVID-19 Genomics Group. Tracking changes in SARS-CoV-2 spike: Evidence that D614G increases infectivity of the COVID-19 virus. *Cell.* 2020;182(4):812–827.e19. doi: 10.1016/j.cell.2020.06.043
- Plante JA, Liu Y, Liu J, et al. Spike mutation D614G alters SARS-CoV-2 fitness. *Nature.* 2021;592(7852):116–121. doi: 10.1038/s41586-020-2895-3
- Nguyen LT, Schmidt HA, von Haeseler A, Minh BQ. IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Mol Biol Evol.* 2015;32(1):268–274. doi: 10.1093/molbev/msu300
- Darriba D, Taboada GL, Doallo R, Posada D. jModelTest 2: More models, new heuristics and parallel computing. *Nat Methods.* 2012;9(8):772. doi: 10.1038/nmeth.2109
- Sagulenko P, Puller V, Neher RA. TreeTime: Maximum-likelihood phylodynamic analysis. *Virus Evol.* 2018;4(1):vex042. doi: 10.1093/ve/vex042
- Tian X, Li C, Huang A, et al. Potent binding of 2019 novel coronavirus spike protein by a SARS coronavirus-specific human monoclonal antibody. *Emerg Microbes Infect.* 2020; 9(1):382–385. doi: 10.1080/22221751.2020.1729069
- Melnik A, Mohebbi F, Knyazev S, et al. From Alpha to Zeta: Identifying variants and subtypes of SARS-CoV-2 via clustering. *J Comput Biol.* 2021;28(11):1113–1129. doi: 10.1089/cmb.2021.0302
- Rambaut A, Holmes EC, O'Toole Á, et al. A dynamic nomenclature proposal for SARS-CoV-2 lineages to assist

⁹ GISAID. 2024. Tracking of variants. [URL: <https://gisaid.org/hcov19-variants/>] (дата обращения: 14 января 2024 г.).

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-3-63-69>
Original Research Article

- genomic epidemiology. *Nat Microbiol.* 2020;5(11):1403–1407. doi: 10.1038/s41564-020-0770-5
29. Washington NL, Gangavarapu K, Zeller M, *et al.* Emergence and rapid transmission of SARS-CoV-2 B.1.1.7 in the United States. *Cell.* 2021;184(10):2587–2594.e7. doi: 10.1016/j.cell.2021.03.052
 30. Gaymard A, Bosetti P, Feri A, *et al.* ANRS MIE AC43 COVID-19; French viro COVID group. Early assessment of diffusion and possible expansion of SARS-CoV-2 Lineage 20I/501Y.V1 (B.1.1.7, variant of concern 202012/01) in France, January to March 2021. *Euro Surveill.* 2021;26(9):2100133. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2021.26.9.2100133
 31. Loconsole D, Centrone F, Morcavallo C, *et al.* Rapid spread of the SARS-CoV-2 variant of concern 202012/01 in southern Italy (December 2020–March 2021). *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4766. doi: 10.3390/ijerph18094766
 32. Акимкин В.Г., Попова А.Ю., Хафизов К.Ф., и др. COVID-19: эволюция пандемии в России. Сообщение II: динамика циркуляции геновариантов вируса SARS-CoV-2. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2022;99(4):381–396. doi: 10.36233/0372-9311-295
 33. Akimkin VG, Popova AY, Khafizov KF, *et al.* COVID-19: Evolution of the pandemic in Russia. Report II: Dynamics of the circulation of SARS-CoV-2 genetic variants. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii.* 2022;99(4):381–396. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-295
 34. Davies NG, Abbott S, Barnard RC, *et al.* CMMID COVID-19 Working Group; COVID-19 Genomics UK (COG-UK) Consortium. Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. *Science.* 2021;372(6538):eabg3055. doi: 10.1126/science.abg3055
 35. Starr TN, Greaney AJ, Hilton SK, *et al.* Deep mutational scanning of SARS-CoV-2 receptor binding domain reveals constraints on folding and ACE2 binding. *Cell.* 2020;182(5):1295–1310.e20. doi: 10.1016/j.cell.2020.08.012
 36. Hoffmann M, Kleine-Weber H, Pöhlmann S. A multibasic cleavage site in the spike protein of SARS-CoV-2 is essential for infection of human lung cells. *Mol Cell.* 2020;78(4):779–784.e5. doi: 10.1016/j.molcel.2020.04.022
 37. Peacock TP, Goldhill DH, Zhou J, *et al.* The furin cleavage site in the SARS-CoV-2 spike protein is required for transmission in ferrets. *Nat Microbiol.* 2021;6(7):899–909. doi: 10.1038/s41564-021-00908-w
 38. Maison DP, Ching LL, Shikuma CM, Nerurkar VR. Genetic characteristics and phylogeny of 969-bp S gene sequence of SARS-CoV-2 from Hawai'i reveals the worldwide emerging P681H mutation. *Hawaii J Health Soc Welf.* 2021;80(3):52–61.
 39. Tegally H, Wilkinson E, Giovanetti M, *et al.* Detection of a SARS-CoV-2 variant of concern in South Africa. *Nature.* 2021;592(7854):438–443. doi: 10.1038/s41586-021-03402-9
 40. Galloway SE, Paul P, MacCannell DR, *et al.* Emergence of SARS-CoV-2 B.1.1.7 lineage – United States, December 29, 2020 – January 12, 2021. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2021;70(3):95–99. doi: 10.15585/mmwr.mm7003e2
 41. Tang JW, Toovey OTR, Harvey KN, Hui DDS. Introduction of the South African SARS-CoV-2 variant 501Y.V2 into the UK. *J Infect.* 2021;82(4):e8–e10. doi: 10.1016/j.jinf.2021.01.007
 42. Zucman N, Uhel F, Descamps D, Roux D, Ricard J-D. Severe reinfection with South African severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) variant 501Y.V2. *Clin Infect Dis.* 2021;73(10):1945–1946. doi: 10.1093/cid/ciab129

Сведения об авторе:

✉ Джумаканова Айгуль Бейшебаевна – начальник Центра лабораторных испытаний Департамента профилактики заболеваний и Госсанэпиднадзора МЗ КР; e-mail: aigul.dzumkanova.dgsn@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9065-6744>.

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: все пациенты подписали добровольное информированное согласие на проведение исследований и обработку полученных результатов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 23.01.24 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ Aigul B. Dzumkanova, Head of the Testing Laboratory Center, Department of Disease Prevention and State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic; e-mail: aigul.dzumkanova.dgsn@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9065-6744>.

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: All patients signed an informed consent to participate in the study.

Funding: This research received no external funding.

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

Received: January 31, 2024 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024



Основные проявления эпидемического процесса острых кишечных инфекций в Дальневосточном федеральном округе в 2022 году

О.Е. Троценко, Е.Ю. Сапега, Л.В. Бутакова, А.П. Бондаренко

ФБУН «Хабаровский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора, ул. Шевченко, д. 2, г. Хабаровск, 680610, Российская Федерация

Резюме

Введение. Диарейные заболевания устойчиво занимают одно из ведущих мест в структуре инфекционной патологии, особенно у детей возрастной группы до 5 лет. В последние годы наблюдается снижение заболеваемости бактериальными кишечными инфекциями и рост вирусных кишечных инфекций, при этом отмечается неравномерность территориального распределения регистрируемых случаев заболеваний.

Цель исследования: охарактеризовать основные проявления эпидемического процесса острых кишечных инфекций в Дальневосточном федеральном округе Российской Федерации в 2022 г.

Материалы и методы. На основе официальных данных статистической отчетности проведен эпидемиологический анализ заболеваемости острыми кишечными инфекциями с распределением по возрастным группам, нозологическим формам и административным территориям федерального округа, выполнен анализ групповой заболеваемости данными инфекциями, зарегистрированными в 2022 году.

Результаты. Эпидемический процесс острых кишечных инфекций в Дальневосточном федеральном округе характеризовался более высокими, чем в среднем по России, показателями заболеваемости практически всеми ведущими нозологическими формами, за исключением шигеллезов. Среди расшифрованных случаев диарей отмечено явное превышение уровня заболеваемости вирусными инфекциями над острыми кишечными инфекциями бактериальной этиологии. Наиболее поражаемым контингентом являются дети в возрасте до 6 лет при лидирующей позиции детей младшего возраста (1–2 года). Выявлены территориальные отличия с установлением наибольшего неблагополучия по заболеваемости в 4 из 11 субъектов федерального округа. Показана довольно большая вероятность реализации контактно-бытового и пищевого путей передачи возбудителей острых кишечных инфекций, особенно в организованных коллективах, приводящая к возникновению очагов групповой заболеваемости.

Заключение. В целом отмеченные в 2022 г. проявления эпидемического процесса острых кишечных инфекций свидетельствуют о сохранении в субъектах Дальнего Востока потенциальных эпидемиологических рисков возникновения как спорадических случаев заболеваний, так и очагов групповой заболеваемости.

Ключевые слова: Дальневосточный федеральный округ, острые кишечные инфекции, эпидемический процесс, возрастные группы, нозологические формы.

Для цитирования: Троценко О.Е., Сапега Е.Ю., Бутакова Л.В., Бондаренко А.П. Основные проявления эпидемического процесса острых кишечных инфекций в Дальневосточном федеральном округе в 2022 году // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 70–80. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-70-80

Main Manifestations of the Epidemic Process of Acute Intestinal Infections in the Far Eastern Federal District in 2022

Olga E. Trotsenko, Elena Yu. Sapega, Liudmila V. Butakova, Albina P. Bondarenko

Khabarovsk Research Institute of Epidemiology and Microbiology,
2 Shevchenko Street, Khabarovsk, 680610, Russian Federation

Summary

Background: Diarrheal diseases consistently occupy one of the leading positions in the structure of infections, especially in children under the age of 5 years. A decrease in the incidence of bacterial intestinal infections and an increase in viral ones have been observed recently with an uneven territorial distribution of registered cases.

Objective: To characterize the main manifestations of the epidemic process of acute intestinal infections in the Far Eastern Federal District of the Russian Federation in 2022.

Materials and methods: Based on official statistics, we analyzed the incidence of acute intestinal infections by age groups, types, and administrative territories of the federal district; we also examined the outbreaks of these infections registered in 2022.

Results: We established that the incidence rates of almost all leading acute intestinal infections (except for shigellosis) in the Far Eastern Federal District were higher than the Russian averages. Viral infections prevailed in the diarrhea cases with identified pathogens. Children under 6 years of age were found to be the most affected population while the highest incidence was observed in the age group of 1–2 years. We noted differences between the areas of the District and established higher disease rates in 4 of its 11 regions. Oral and direct contact routes of transmission generally prevailed, especially in collectives, leading to outbreaks.

Conclusion: In general, the manifestations of the epidemic process of acute intestinal infections noted in 2022 indicate the persistence of potential epidemiologic risks of both sporadic cases and outbreaks on the territories of the Far East.

Keywords: Far Eastern Federal District, acute intestinal infections, types, epidemic process, age groups.

Cite as: Trotsenko OE, Sapega EYu, Butakova LV, Bondarenko AP. Main manifestations of the epidemic process of acute intestinal infections in the Far Eastern Federal District in 2022. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):70–80. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-70-80

Введение. Несмотря на многолетний опыт изучения, острые кишечные инфекции (ОКИ) остаются предметом пристального внимания исследователей, поскольку диарейные заболевания устойчиво занимают одно из ведущих мест в структуре инфекционной патологии, особенно у детей в возрасте младше 5 лет [1–3]. По данным различных авторов, ежегодно в мире регистрируется от 1 до 2 млрд случаев инфекционной диареи, объединяющей до 40 заболеваний бактериальной, вирусной, протозойной или паразитарной этиологии. Все эти нозологические формы имеют единый, фекально-оральный, механизм передачи возбудителей и схожие симптомы поражения желудочно-кишечного тракта [3–6]. У детей в мире достаточно высока и смертность от инфекционной диареи, составляющая около 18 % всей детской смертности [2, 6]. Повсеместно распространенные ОКИ, вызываемые широким спектром патогенов, наносят значительный социально-экономический ущерб, в том числе и для системы здравоохранения [3, 7].

Существенный уровень заболеваемости ОКИ, наблюдаемый на протяжении многих лет в Российской Федерации (РФ), отражает мировые тенденции. По данным научной литературы, в РФ в последние годы наблюдается снижение заболеваемости бактериальными ОКИ и, напротив, рост заболеваемости ОКИ вирусной этиологии [7, 8]. Ведущая роль в этиологии ОКИ принадлежит вирусам (до 49–67 %), особенно ротавирусам и норовирусам. Среди ОКИ вирусной этиологии доминирует ротавирусная инфекция (РВИ), получившая глобальное распространение и ставшая серьезным экономическим бременем для нашей страны [3, 4, 7].

Рост заболеваемости вирусными диареями исследователи связывают не только с оптимизацией лабораторной диагностики, но и с повышением активности самого эпидемического процесса ОКИ вирусной этиологии [5, 7, 9]. Некоторые авторы связывают рост ОКИ вирусной этиологии с более активной обращаемостью родителей заболевших детей за медицинской помощью, а следовательно, с более полной регистрацией случаев этих заболеваний [9]. Показано, что в последние годы именно ротавирусы группы А стали основной причиной госпитализации детей с острым гастроэнтеритом в возрасте до 5 лет, и возросшее число госпитализаций с РВИ обусловлено сменой лидирующих генотипов возбудителя [10, 11].

Следующей по значимости в структуре ОКИ вирусной этиологии считается норовирусная инфекция (НВИ). В глобальном масштабе норовирусы являются причиной каждого пятого случая острого небактериального гастроэнтерита [12]. В развитых странах с НВИ связывают до 30 % всех эпидемий вирусных диарей. В большинстве случаев НВИ регистрируется преимущественно у детей более старшего возраста в отличие от РВИ. Случаи регистрации НВИ нередки среди пожилых лиц и взрослого населения с иммунодефицитами [13].

Бактериальные ОКИ вызываются условно-патогенными и патогенными бактериями [4]. Среди последних следует особо отметить ОКИ, вызванные

нетифоидными штаммами сальмонелл (*Salmonella enterica*), которые занимают одну из лидирующих позиций среди всех пищевых бактериальных патогенов человека [14–16]. В Российской Федерации на протяжении многолетнего мониторинга *Salmonella enteritidis* остается главным серотипом, вызывающим как групповую, так и спорадическую заболеваемость сальмонеллезами [17–18]. Наряду с этим отмечено значительное снижение удельного веса шигеллеза в структуре ОКИ [7, 9].

Несмотря на то что выраженный рост интенсивных показателей вирусных ОКИ несколько увеличил долю ОКИ с установленной этиологией, в РФ продолжает регистрироваться высокий уровень ОКИ с неустановленной этиологией (ОКИНЭ). Так, по данным В.И. Сергеевниной и соавт. (2020), за период с 2000 по 2018 г. доля ОКИНЭ в сумме ОКИ составляла 63,4–69,4 %, соответственно, этиологически расшифровывалось лишь 30,6–36,3 % ОКИ [5]. Ряд авторов утверждают, что одной из причин недостаточного уровня этиологической диагностики ОКИ является ее выборочный характер, позволяющий выявлять главным образом патогенных возбудителей. Данный факт может искажать истинную эпидемическую ситуацию как по отдельным нозологиям, так и по всей сумме ОКИ, особенно на фоне низких интенсивных показателей бактериальных ОКИ [5, 9]. Ключевое значение уровней заболеваемости ОКИНЭ в оценке качества диагностики и полноты регистрации острых диарейных заболеваний показано и в работе М.О. Антипова, А.Я. Миндлинной (2020) [8].

Отмечено также, что неравномерность территориального распределения регистрируемой заболеваемости ОКИ может быть связана с качеством этиологической расшифровки ОКИ в регионах [7]. Наряду с этим неодинаковое распределение уровней заболеваемости ОКИ по территориям может объясняться разными уровнями естественного иммунитета населения, состоянием системы здравоохранения, распространения программ вакцинации для вакциноуправляемых ОКИ, а также особенностями среды обитания населения, способными активизировать ведущие пути передачи возбудителей [7, 8].

Таким образом, постоянный мониторинг, комплексная и всесторонняя оценка заболеваемости ОКИ позволяют установить возможные причины неблагоприятного по данным инфекциям в определенной ситуации и в конкретном регионе, что является необходимым условием для разработки основных стратегических направлений профилактики острых кишечных инфекций.

Цель исследования – охарактеризовать основные проявления эпидемического процесса острых кишечных инфекций в Дальневосточном федеральном округе Российской Федерации в 2022 г.

Материалы и методы. Представлены результаты эпидемиологического мониторинга за ОКИ в субъектах Дальневосточного федерального округа (ДФО) за 2022 г. в сравнении со среднегодовыми уровнями, рассчитанными за период до начала пандемии новой коронавирусной инфекции (2010–2019 гг.). Выборка данных произведена из

отчетной формы № 2 Федерального статистического наблюдения «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях», Государственных докладов, содержащих сведения о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в субъектах ДФО РФ в 2022 г., а также из материалов, предоставленных Управлениями Роспотребнадзора по субъектам ДФО РФ по запросу Хабаровского НИИЭМ Роспотребнадзора.

Анализом охвачены интенсивные показатели (‰) общей заболеваемости ОКИ и заболеваемости отдельными нозологическими формами ОКИ, а также экстенсивные показатели, отражающие доленое участие отдельных нозологических форм в структуре ОКИ. Произведено распределение общей заболеваемости ОКИ по возрастным группам, административным территориям ДФО и отдельным нозологическим формам. При этом в отношении суммарной заболеваемости ОКИ сформированы шесть возрастных групп (0–1 год, 1–2 года, 3–6 лет, 7–14 лет, 15–17 лет и 18 лет и старше).

Вывод о статистически значимом различии интенсивных или экстенсивных показателей осуществлялся с помощью *t*-критерия при $p < 0,05$. Для ориентировочной оценки эпидемиологической значимости в заболеваемости ОКИ возрастных групп населения ДФО применен метод суммы рангов¹. Для выявления связи между уровнями общей заболеваемости ОКИ и показателями заболеваемости отдельными нозологическими формами ОКИ использован метод корреляционно-регрессионного анализа². С целью изучения вклада отдельных нозологических форм ОКИ в групповую заболеваемость рассчитывался индекс очаговости, т. е. среднее число заболевших в очаге.

Для статистической обработки полученных результатов применены пакеты прикладных программ Excel 2013 (Microsoft Office 2013).

Результаты. В настоящее время ДФО объединяет 11 субъектов РФ, отличающихся между собой климатогеографическими и социально-экономическими условиями, а также уровнями заболеваемости. Не исключены различия и в показателях заболеваемости населения ОКИ, актуальность которых среди населения страны до сих пор не снижается.

В целом по ДФО общая заболеваемость ОКИ составила в 2022 г. $666,0 \pm 0,003$ ‰, превысив уровень заболеваемости ОКИ в РФ ($403,38$ ‰) практически в 1,65 раза³. Статистически значимый ($p < 0,001$) более высокий среднемноголетний уровень (СМУ) заболеваемости ОКИ, превысивший значение в целом по ДФО, отмечен в 4 из 11 субъектов: в Сахалинской области, Приморском крае, Амурской области и Хабаровском крае – соответственно $1126,1 \pm 0,015$; $854,8 \pm 0,007$; $730,8 \pm 0,010$ и $712,1 \pm 0,007$ случаев на 100 тысяч населения (рисунок).

Если в целом по ДФО показатель заболеваемости ОКИ в 2022 г. оказался несколько ниже федерально-

окружного СМУ ($631,0 \pm 0,003$ и $666 \pm 0,003$ ‰), то в Хабаровском крае, Республике Бурятия и Камчатском крае он лишь незначительно (на 6,0–10,7 %) превзошел региональный СМУ, составив соответственно $756,5 \pm 0,008$; $559,4 \pm 0,008$ и $330,7 \pm 0,010$ случаев на 100 тысяч населения.

В 2022 г. статистически достоверное ($p < 0,001$) превышение среднего по ДФО уровня заболеваемости ОКИ отмечено в Сахалинской области, Приморском, Хабаровском краях и Амурской области, что отражено в табл. 1. В данной таблице представлена возрастная структура заболеваемости ОКИ, зарегистрированных в 2022 г.

В целом по ДФО в 2022 г. максимальные уровни заболеваемости ОКИ, статистически значимо ($p < 0,001$) и существенно (в 8,0–10,9 раза) превысившие среднее по федеральному округу значение для совокупного населения ($631,0 \pm 0,003$ ‰), зарегистрированы в двух возрастных группах: у детей в возрасте 1–2 года и среди младенцев до 1 года (соответственно $6872,7 \pm 0,060$ и $5057,6 \pm 0,076$ ‰). Следующими по рангу оказались дети дошкольного возраста 3–6 лет ($3115,8 \pm 0,027$ ‰), заболеваемость ОКИ которых в течение 2022 г. была в 4,9 раза выше среднего значения, рассчитанного для совокупного населения ДФО, но в 1,6–2,2 раза ниже, чем в первых двух перечисленных возрастных группах ($p < 0,001$). Далее по эпидемиологической значимости возрастных групп в заболеваемости ОКИ следовали дети 7–14 лет, показатель среди которых практически в 1,6 раза превысил таковой среди совокупного населения ДФО и составил $1017,1 \pm 0,011$ ‰, $p < 0,001$. При этом уровни заболеваемости ОКИ подростков 15–17 лет и взрослых в возрасте 18 лет и старше (соответственно $521,6 \pm 0,014$ и $168,7 \pm 0,002$ ‰) в течение 2022 г. были статистически значимо ниже ($p < 0,001$) показателя, установленного для совокупного населения ДФО.

Асинхронность возрастного распределения показателей заболеваемости ОКИ, выявленная для совокупного населения ДФО по признаку эпидемиологической важности разных возрастных групп, установлена в большинстве субъектов ДФО, за исключением Магаданской области и Чукотского автономного округа (ЧАО). В Магаданской области при лидерстве уровней заболеваемости ОКИ в группе детей 1–2 года ($7129,0 \pm 0,506$ ‰) на втором месте по эпидемиологической значимости оказались дети 3–6 лет ($3293,2 \pm 0,262$ ‰, $p < 0,001$), а уже на третьем месте – дети до 1 года ($2953,6 \pm 0,492$ ‰, $p < 0,001$). В ЧАО лидирующую позицию по уровням заболеваемости ОКИ одновременно заняли дети 1–2 года и 3–6 лет (соответственно $3846,2 \pm 0,539$ и $3811,8 \pm 0,355$ ‰), на второе место вышли младенцы в возрасте до 1 года ($2140,1 \pm 0,638$ ‰, $p < 0,001$).

При территориальном распределении показателей заболеваемости ОКИ в различных возрастных

¹ Общая эпидемиология с основами доказательной медицины. Руководство к практическим занятиям: учеб. пособие / Под ред. В.И. Покровского, Н.И. Брико. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010.

² Зайцев В.М., Лиляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Фолиант, 2006.

³ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023.

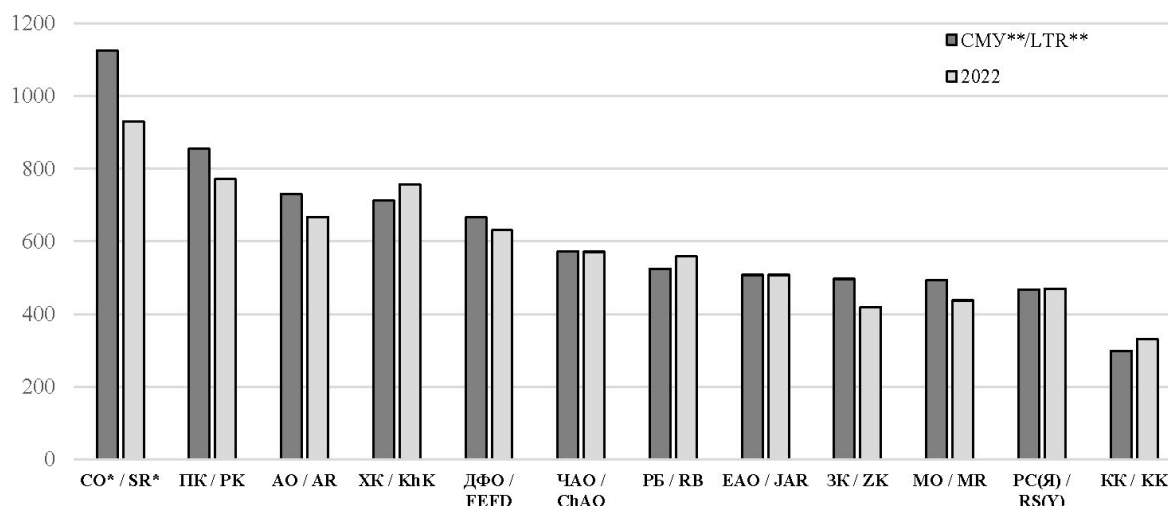


Рисунок. Заболеваемость (‰) острыми кишечными инфекциями в Дальневосточном федеральном округе в 2022 г. в сравнении со среднелетним уровнем (2010–2019 гг.)

Figure. Incidence (‰) of acute intestinal infections in the Far Eastern Federal District in 2022 compared to the long-term rate for 2010–2019

Сокращения: * – РС(Я) – Республика Саха (Якутия), ПК – Приморский край, ХК – Хабаровский край, АО – Амурская область, СО – Сахалинская область, ЕАО – Еврейская автономная область, МО – Магаданская область, КК – Камчатский край, ЗК – Забайкальский край, РБ – Республика Бурятия, ЧАО – Чукотский автономный округ, ДФО – Дальневосточный федеральный округ; ** – СМУ – среднелетний уровень.

Abbreviations: * SR, Sakhalin Region; PK, Primorsky Krai; AR, Amur Region; KhK, Khabarovsk Krai; FEFD, Far Eastern Federal District; ChAO, Chukotka Autonomous Okrug; RB, Republic of Buryatia; JAR, Jewish Autonomous Region; ZK, Zabaykalsky Krai; MR, Magadan Region; RS(Y), Republic of Sakha (Yakutia); KK, Kamchatka Krai;

** LTR, long-term rate.

группах оказалось, что наибольшее неблагополучие в 2022 г. наблюдалось среди детей в возрасте до 1 года в Сахалинской области, Приморском крае и Республике Бурятия; среди детей в возрасте 1–2 года – в Амурской области, Хабаровском крае, Сахалинской области, Приморском крае и Магаданской области; среди детей 3–6 лет – в Амурской области, Хабаровском крае, Сахалинской области, Приморском крае, Магаданской области и Чукотском автономном округе. Во всех перечисленных возрастных группах указанных выше субъектов отмечено превышение показателей заболеваемости ОКИ над средним по ДФО уровнем, рассчитанным для каждой возрастной группы наблюдения (табл. 1).

Аналогичное превышение выявлено и в других, менее значимых с эпидемиологической точки зрения, возрастных группах: среди детей 7–14 лет – в Амурской области, Хабаровском крае, Сахалинской области и Приморском крае; среди подростков 15–17 лет – в Амурской области, Сахалинской области, Приморском крае и Камчатском крае; среди взрослого населения – в Сахалинской области и Приморском крае (табл. 1).

В общей сложности из всех 11 субъектов ДФО наибольшее эпидемическое неблагополучие по ОКИ, определенное на основе статистически значимого превышения показателей заболеваемости во всех шести возрастных группах над средним по ДФО уровнем, отмечено в 2022 г. в Сахалинской области и Приморском крае. В меньшей степени неблагополучная эпидемическая ситуация по ОКИ наблюдалась в Амурской области и Хабаровском

крае (данное превышение зафиксировано соответственно в 4 и 3 из 6 возрастных групп соответственно). Нестабильность ситуации по ОКИ отмечена в 2022 г. в Магаданской области, Камчатском крае и ЧАО (превышение установлено в 1–2 возрастных группах из шести), а самая благополучная ситуация – в Республике Саха (Якутия), ЕАО и Забайкальском крае (табл. 1).

Анализ возрастной структуры 50 506 заболевших ОКИ, проведенный в целом по ДФО в 2022 г., показал несколько иную картину распределения эпидемиологической значимости групп наблюдения, чем при сопоставлении интенсивных показателей. Так, результаты сравнения экстенсивных показателей (в %) в шести возрастных группах показали наибольший вклад детей в возрасте 3–6 лет в заболеваемость ОКИ и наименьший – в возрасте 15–17 лет ($26,30 \pm 0,020$ и $2,93 \pm 0,08$ % соответственно, $p < 0,001$).

В итоге оценка структуры заболевших ОКИ, дающая более полное представление о вкладе каждой возрастной группы в заболеваемость, проведена по сумме ранговых значений риска заболеть (интенсивный показатель) и доли заболевших (экстенсивный показатель). При этом первый ранг присвоен наибольшему показателю, последний ранг – наименьшему показателю. В результате суммирования ранговых значений каждой анализируемой группы выявлено, что наибольшую эпидемиологическую значимость в риске заболеть ОКИ все же имеют дети в возрасте 1–2 года, а на втором месте располагаются дети в возрасте 3–6 лет. За ними следуют младенцы до 1 года, затем

Таблица 1. Возрастная структура заболеваемости (%₀₀₀₀) острыми кишечными инфекциями в субъектах Дальневосточного федерального округа в 2022 г.**Table 1. Age-specific incidence rates of acute intestinal infections (%₀₀₀₀) in the subjects of the Far Eastern Federal District in 2022**

Субъекты ДФО / Subjects of FEFD	Совокупное население / Total population	Заболеваемость (% ₀₀₀₀) острыми кишечными инфекциями / Incidence of acute intestinal infections (% ₀₀₀₀)					
		Возрастные группы, лет / Age groups, years					
		≥ 18	0–1	1–2	3–6	7–14	15–17
Амурская область / Amur Region	667,6 ± 0,009	164,9 ± 0,005	4445,3 ± 0,234	7222,3 ± 0,201	3643,3 ± 0,093	1128,5 ± 0,037	685,8 ± 0,049
Хабаровский край / Khabarovsk Krai	756,5 ± 0,008	165,2 ± 0,004	4798,7 ± 0,186	8784,1 ± 0,169	4637,5 ± 0,081	1401,2 ± 0,034	511,6 ± 0,036
Сахалинская область / Sakhalin Region	931,3 ± 0,014	245,3 ± 0,008	5126,5 ± 0,333	7542,7 ± 0,258	5019,6 ± 0,137	2150,5 ± 0,065	1213,0 ± 0,082
Республика Саха (Якутия) / Republic of Sakha (Yakutia)	470,3 ± 0,007	117,7 ± 0,004	5003,2 ± 0,194	5748,8 ± 0,144	1509,1 ± 0,050	501,9 ± 0,020	289,9 ± 0,027
Приморский край / Primorsky Krai	771,3 ± 0,006	232,2 ± 0,004	7254,8 ± 0,211	8840,5 ± 0,154	4084,5 ± 0,068	1500,4 ± 0,029	721,9 ± 0,035
Магаданская область / Magadan Region	437,7 ± 0,018	119,1 ± 0,010	2953,6 ± 0,492	7129,0 ± 0,506	3293,2 ± 0,262	566,6 ± 0,061	291,1 ± 0,078
Камчатский край / Kamchatka Krai	330,7 ± 0,010	105,5 ± 0,007	2336,9 ± 0,272	3487,0 ± 0,226	1440,9 ± 0,096	650,6 ± 0,046	535,7 ± 0,073
ЕАО / JAR	507,7 ± 0,018	120,8 ± 0,010	5046,5 ± 0,564	5140,9 ± 0,387	2528,2 ± 0,178	988,2 ± 0,075	495,2 ± 0,093
ЧАО / CAO	571,4 ± 0,034	165,1 ± 0,021	2140,1 ± 0,638	3846,2 ± 0,539	3811,8 ± 0,355	769,9 ± 0,114	294,3 ± 0,120
Забайкальский край / Zabaykalsky Krai	419,4 ± 0,006	119,5 ± 0,004	3569,3 ± 0,170	4809,4 ± 0,136	1865,9 ± 0,056	501,9 ± 0,020	265,8 ± 0,026
Республика Бурятия / Republic of Buryatia	559,4 ± 0,008	151,9 ± 0,005	5541,1 ± 0,262	5973,3 ± 0,151	2144,6 ± 0,060	645,0 ± 0,022	342,7 ± 0,030
ДФО / FEFD	631,0 ± 0,003	168,7 ± 0,002	5057,6 ± 0,076	6872,7 ± 0,060	3115,8 ± 0,027	1017,1 ± 0,011	521,6 ± 0,014

Примечание: выделенные цветом ячейки указывают на статистически значимое превышение показателей заболеваемости острыми кишечными инфекциями над средним по ДФО уровнем в каждой возрастной группе наблюдения; ДФО – Дальневосточный федеральный округ, ЕАО – Еврейская автономная область, ЧАО – Чукотский автономный округ.

Notes: highlighted cells show age-specific incidence rates of acute intestinal infections that are statistically higher than the appropriate averages for the Far Eastern Federal District; FEFD, Far Eastern Federal District; JAR, Jewish Autonomous Region; CAO, Chukotka Autonomous Okrug.

дети 7–14 лет. На предпоследнем месте оказалась возрастная группа 18 лет и старше, а на последнем – лица 15–17 лет (табл. 2).

При анализе заболеваемости ОКИ по отдельным нозологиям установлен высокий уровень заболеваемости этиологически нерасшифрованными диарейными формами, который составил в целом по ДФО в 2022 г. $431,5 \pm 0,002$ ‰. В РФ данный показатель заболеваемости ОКИНЭ оказался практически в 1,5 раза ниже и составил $277,98$ ‰³. Статистически значимо выше федерально-окружного уровня оказались показатели заболеваемости ОКИНЭ в трех субъектах ДФО: в Сахалинской области, Хабаровском и Приморском краях (табл. 3). По удельному весу ОКИНЭ в структуре общей заболеваемости ОКИ, помимо Хабаровского края и Сахалинской области, также лидировал Забайкальский край (соответственно $78,3 \pm 0,42$, $79,8 \pm 0,60$ и $83,4 \pm 0,56$ % при среднем для ДФО значении, равном $68,4 \pm 0,21$ %). Удельный вес ОКИНЭ в РФ практически не отличался от среднего значения по ДФО и составил $68,91$ %³.

Среди этиологически расшифрованных случаев ОКИ, зарегистрированных в ДФО в 2022 г., наиболее значимыми были ОКИ вирусной этиологии, уровень заболеваемости которыми в среднем по федеральному округу составил $155,6 \pm 0,001$ ‰. При этом в 6 из 11 субъектов ДФО отмечено статистически значимое ($p < 0,001$) превышение данного уровня

(табл. 3). В этиологической структуре вирусных ОКИ отмечено явное преобладание рота- и норовирусных инфекций ($99,0 \pm 0,09$ %). В целом по ДФО заболеваемость РВИ составила в 2022 г. $109,6 \pm 0,001$ ‰ и превысила общероссийский показатель ($61,7$ ‰) почти в 1,8 раза. Заболеваемость НВИ в ДФО была тоже выше, чем в РФ, – соответственно $44,4 \pm 0,001$ и $29,98$ ‰³. Наибольшее неблагополучие в ДФО по РВИ в 2022 г. наблюдалось в Амурской области, Приморском крае, Магаданской области и Еврейской автономной области, а по НВИ – также в Амурской и Еврейской автономной областях и дополнительно в Хабаровском крае, Республике Бурятия и Чукотском автономном округе (табл. 3). Третьей нозоформой вирусных ОКИ, достаточно редко регистрируемой в ДФО, оказалась астровирусная инфекция, показатель заболеваемости которой составил в среднем по федеральному округу всего $1,6$ ‰.

Для понимания сущности вклада отдельных нозологических форм ОКИ в общую заболеваемость ОКИ в территориях ДФО проведен корреляционно-регрессионный анализ, который выявил весьма высокую (по шкале Чеддока) прямую связь между уровнями общей заболеваемости ОКИ и показателями заболеваемости ОКИНЭ (коэффициент корреляции составил $0,936$, зависимость признаков статистически значима: $p = 0,000045$). В то же время зависимость общей заболеваемости ОКИ от показателей ОКИ вирусной этиологии оказалась

Таблица 2. Ориентировочная оценка эпидемиологической значимости возрастных групп населения Дальневосточного федерального округа в отношении риска заболевания острыми кишечными инфекциями
Table 2. Tentative assessment of the epidemiological significance of age groups of the population of the Far Eastern Federal District in terms of the risk of acute intestinal infections in 2022

Возрастные группы, лет / Age groups, years	Интенсивные показатели (% ⁰⁰⁰) заболеваемости ОКИ / Intensive indicators: incidence rates (% ⁰⁰⁰) of acute intestinal infections	Ранговые значения интенсивных показателей / Ranks of intensive indicators	Экстенсивные показатели – доля (%) заболевших ОКИ / Extensive indicators: proportion (%) of cases of acute intestinal infections	Ранговые значения экстенсивных показателей / Ranks of extensive indicators	Сумма рангов / Sum of ranks
0–1	5057,6 ± 0,076	2	8,26 ± 0,12	5	7
1–2	6872,7 ± 0,060	1	24,25 ± 0,19	2	3
3–6	3115,8 ± 0,027	3	26,30 ± 0,020	1	4
7–14	1017,1 ± 0,011	4	17,69 ± 0,17	4	8
15–17	521,6 ± 0,014	5	2,93 ± 0,08	6	11
≥ 18	168,7 ± 0,002	6	20,57 ± 0,18	3	9

Таблица 3. Показатели заболеваемости (%⁰⁰⁰) отдельными нозологическими формами острых кишечных инфекций в субъектах Дальневосточного федерального округа в 2022 г.

Table 3. Type-specific incidence rates of acute intestinal infections in the subjects of the Far Eastern Federal District in 2022

Субъекты ДФО / Subjects of the FEFD	Заболеваемость (% ⁰⁰⁰) отдельными нозологическими формами острых кишечных инфекций / Type-specific incidence (% ⁰⁰⁰) of acute intestinal infections				
	Неуст. этиологии / Unspecified	Вирусной этиологии / Viral infection	РВИ / Rotavirus infection	НВИ / Norovirus infection	Сальмонеллез / Salmonellosis
Амурская область / Amur Region	414,9 ± 0,007	204,9 ± 0,005	137,5 ± 0,004	66,9 ± 0,003	35,2 ± 0,002
Хабаровский край / Khabarovsk Krai	592,5 ± 0,007	147,6 ± 0,003	92,3 ± 0,003	51,5 ± 0,002	9,2 ± 0,001
Сахалинская область / Sakhalin Region	743,3 ± 0,012	92,1 ± 0,004	47,3 ± 0,003	36,8 ± 0,003	38,4 ± 0,003
Республика Саха (Якутия) / Republic of Sakha (Yakutia)	299,9 ± 0,006	108,2 ± 0,003	69,5 ± 0,003	38,1 ± 0,002	27,2 ± 0,002
Приморский край / Primorsky Krai	470,7 ± 0,005	231,0 ± 0,004	195,4 ± 0,003	34,9 ± 0,001	13,3 ± 0,001
Магаданская область / Magadan Region	219,9 ± 0,013	188,8 ± 0,012	145,2 ± 0,010	43,6 ± 0,006	13,1 ± 0,003
Камчатский край / Kamchatka Krai	221,0 ± 0,008	94,3 ± 0,005	77,1 ± 0,005	16,9 ± 0,002	6,1 ± 0,001
ЕАО / JAO	287,3 ± 0,014	170,3 ± 0,011	122,2 ± 0,009	48,1 ± 0,006	16,9 ± 0,003
ЧАО / CAO	351,3 ± 0,027	200,0 ± 0,020	66,7 ± 0,012	133,3 ± 0,016	0
Забайкальский край / Zabaykalsky Krai	349,8 ± 0,006	68,1 ± 0,003	39,5 ± 0,002	28,2 ± 0,002	12,0 ± 0,001
Республика Бурятия / Republic of Buryatia	346,2 ± 0,006	171,2 ± 0,004	103,6 ± 0,003	66,3 ± 0,003	31,5 ± 0,002
ДФО / FEFD	431,5 ± 0,002	155,6 ± 0,001	109,6 ± 0,001	44,4 ± 0,001	19,7 ± 0,000

Примечание: выделенные цветом ячейки указывают на статистически значимое превышение показателей заболеваемости отдельными нозологическими формами острых кишечных инфекций над средним по ДФО значением в каждой группе наблюдения; ДФО – Дальневосточный федеральный округ, ЕАО – Еврейская автономная область, ЧАО – Чукотский автономный округ.

Notes: highlighted cells show type-specific incidence rates of acute intestinal infections that are statistically higher than the appropriate averages for the Far Eastern Federal District; FEFD, Far Eastern Federal District; JAR, Jewish Autonomous Region; CAO, Chukotka Autonomous Okrug.

слабой (коэффициент корреляции равен 0,238), а связь признаков не была статистически значимой ($p = 0,483227$).

Среди этиологически расшифрованных случаев бактериальных ОКИ следует обратить внимание на заболеваемость сальмонеллезом, которая в 2022 г. составила в ДФО 19,7 ± 0,000 ‰ при среднероссийском показателе, равном 17,1 ‰³. Статистически значимое превышение среднего по федеральному округу показателя заболеваемости сальмонеллезом зафиксировано в 4 субъектах: в Амурской, Сахалинской областях, Республике Саха (Якутия) и Бурятия (табл. 3). Заболеваемость шигеллезами в целом по ДФО оказалась в 2022 г. небольшой – всего зарегистрировано 60 случаев, что составило 0,7 ‰ при среднероссийском показателе, равном 2,16 ‰³.

Изучение значимости групповой заболеваемости показало, что ее удельный вес в общей заболевае-

мости ОКИ в среднем по ДФО оказался в 2022 г. невелик и составил всего 1,39 ± 0,05 %. Данный показатель варьировал по административным территориям ДФО: от 0,87 ± 0,13 % в Амурской области до 2,42 ± 0,23 % в Забайкальском крае и до 3,08 ± 0,25 % в Республике Саха (Якутия). Причем только в Забайкальском крае и Республике Саха (Якутия) удельный вес групповой заболеваемости оказался статистически значимо выше среднего по ДФО значения ($p < 0,001$). В трех субъектах (Камчатской крае, ЕАО и ЧАО) групповой заболеваемости не отмечалось.

Всего в 2022 г. в ДФО было зарегистрировано 34 очага групповой заболеваемости ОКИ с 702 пострадавшими лицами. Индекс очаговости (ИО), или среднее число заболевших в одном очаге групповой заболеваемости ОКИ, составил в ДФО 20,7. Колебания ИО по административным территориям ДФО были следующими: 6,5 – в Магаданской

области, 12,0 – в Сахалинской области, 16,4 – в Хабаровском крае, 19,9 – в Приморском крае, 22,5 – в Амурской области, 26,5 – в Забайкальском крае, 30,5 – в Республике Бурятия и 35,8 – в Республике Саха (Якутия).

В целом по ДФО возбудителями групповой заболеваемости ОКИ наиболее часто были вирусы (27 очагов, 466 пострадавших, ИО = 17,3), в том числе норовирусы стали этиологической причиной в 14 очагах (311 пострадавших, ИО = 22,2), ротавирусы – в 7 очагах (61 пострадавший, ИО = 8,7), вирусные ассоциации (рота- и норовирусы) – в 6 очагах (94 пострадавших, ИО = 15,7). С меньшей частотой регистрировались очаги групповой заболеваемости ОКИ, вызванные *Salmonella enteritidis* (3 очага, 180 пострадавших, ИО = 60,0) и условно-патогенной микрофлорой (*S. aureus*, *Klebsiella spp.*, *Enterobacter aerogenes*, *Proteus mirabilis*) – 4 очага, 56 пострадавших, ИО = 14,0.

Фекально-оральный механизм передачи возбудителей реализовывался в очагах групповой заболеваемости ОКИ как пищевым (в 18 очагах с 472 пострадавшими, ИО = 26,2), так и контактно-бытовым путями распространения (в 16 очагах с 230 пострадавшими, ИО = 14,4). При этом в очагах групповой заболеваемости ОКИ, этиологически обусловленных условно-патогенной микрофлорой и сальмонеллами, был присущ только пищевой путь передачи, а в очагах, вызванных вирусами, – как пищевой (преимущественно для норовирусов), так и контактно-бытовой путь распространения инфекции.

Следует отметить, что большая часть (26 из 34) очагов групповой заболеваемости ОКИ, но с меньшим индексом очаговости (17,6) была сформирована в детских образовательных учреждениях (всего 458 заболевших). Напротив, меньшая часть (8 из 34) очагов вспышечной заболеваемости, но с большим ИО (30,5, общее число больных составило 244 человека) зарегистрирована в основном среди взрослых лиц на разных предприятиях (предприятиях нефтегазовой промышленности и использующих вахтовый метод работы, в учреждениях медицинского и социального назначения).

Обсуждение. Анализ проявлений эпидемического процесса ОКИ показал, что его интенсивность на разных территориях ДФО и в отдельных возрастных группах значительно различалась. Так, среди 11 субъектов Дальнего Востока России наиболее высокий среднемноголетний уровень заболеваемости ОКИ отмечен в 4 из них: в Сахалинской области, Приморском, Хабаровском краях и Амурской области. В 2022 г. показатель заболеваемости ОКИ во всех регионах ДФО оказался ниже или на уровне среднемноголетнего, но лидирующую позицию по уровню заболеваемости ОКИ заняла Сахалинская область (931,3 ± 0,014 ‰).

В целом по федеральному округу выделены три возрастные группы детей, которые в 2022 г. существенно отличались по интенсивности проявлений эпидемического процесса ОКИ. Две из них (1–2 года и дети до 1 года) характеризовались наиболее высокой заболеваемостью (6872,7 ± 0,060 и 5057,6 ± 0,076 ‰), третья (3–6 лет), наряду со

значительными показателями заболеваемости (3115,8 ± 0,027 ‰), выделялась частым формированием очагов групповой заболеваемости ОКИ в дошкольных образовательных учреждениях (26 из 34 зарегистрированных вспышечных очагов). Итоговая оценка возрастной структуры заболевших ОКИ, проведенная в целом для населения ДФО методом суммы ранговых значений экстенсивных и интенсивных показателей заболеваемости, выявила все же наибольшую значимость детей возрастной группы 1–2 года в риске заболеть данной инфекцией. Следует отметить, что несмотря на то, что различия показателей в сравниваемых группах были статистически достоверными, полученные нами результаты оценки по сумме ранговых значений должны считаться ориентировочными, так как анализ групповой структуры заболевших проведен только за 2022 г. Кроме этого, анализ возрастной структуры заболевших ОКИ по субъектам ДФО выявил в 2022 г. неблагополучие эпидемической ситуации во всех шести анализируемых возрастных группах только в двух регионах: в Сахалинской области и Приморском крае.

Как и в предыдущие годы, в 2022 г. для ДФО оказался свойственным весьма высокий показатель заболеваемости ОКИ неустановленной этиологии, составивший 431,5 ± 0,002 ‰. Среди субъектов ДФО по уровню этиологически нерасшифрованных случаев ОКИ лидировали Сахалинская область, Хабаровский и Приморский края, а также Забайкальский край. Вполне очевидно, что высокая доля острых кишечных инфекций неустановленной этиологии могла быть обусловлена все еще недостаточным уровнем специфической диагностики, проводимой в регионах ДФО, что, в свою очередь, создает трудности в изучении эпидемического процесса других нозологических форм ОКИ. Более того, при территориальном распределении инцидентных показателей в ДФО выявлена весьма сильная прямая корреляционная связь общей заболеваемости ОКИ именно с заболеваемостью ОКИ неустановленной этиологии. С другими регистрируемыми нозологическими формами ОКИ такой связи не найдено. Наличие факта высокого уровня заболеваемости ОКИНЭ в регионах может замаскировывать активность эпидемического процесса той или иной нозологической формы среди населения и должно особенно настораживать инфекционистов и эпидемиологов.

Среди ОКИ установленной этиологии максимальный удельный вес в ДФО пришелся на диарейные вирусные инфекции, заболеваемость которыми в 2022 г. составила в среднем по федеральному округу 155,6 ± 0,001 ‰ при явном преимуществе ротавирусной инфекции над норовирусной (109,6 ± 0,001 и 44,4 ± 0,001 ‰ соответственно). Доля ОКИ вирусной этиологии среди всех этиологически расшифрованных случаев в среднем по федеральному округу оказалась существенной – 78,0 ± 0,33 %, а в пяти субъектах была статистически значимо еще выше: 86,0 ± 1,87 % – в Камчатском крае, 86,7 ± 1,96 % – в Магаданской области, 90,0 ± 0,65 % – в Хабаровском крае, 90,8 ± 2,77 % –

в Чукотском автономном округе и $97,9\% \pm 0,53\%$ – в Забайкальском крае.

Следует отметить, что существенной заболеваемости ОКИ вирусной этиологии могут способствовать высокая контагиозность возбудителей, приводящая к большей вовлеченности в эпидемический процесс детей младшего возраста, не способных в достаточной мере соблюдать необходимые гигиенические навыки. Кроме того, на примере ротавирусной инфекции было показано, что у детей раннего возраста снижена функциональная активность иммунокомпетентных клеток, выполняющих защитную роль при инфицировании возбудителями ОКИ [19].

Высокий уровень регистрации вирусных ОКИ в ДФО среди всех кишечных инфекций с расшифрованными возбудителями отмечается на фоне высокой доли ОКИНЭ, что может косвенно свидетельствовать о предполагаемой этиологической гиподиагностике в этой группе диарей. Так, в настоящем наблюдении в общей структуре ОКИ выявлена мизерная роль астровирусной инфекции, заболеваемость которой составила в ДФО в 2022 г. всего $1,6\text{‰}$, что согласуется с данными отечественных авторов. В частности, по сведениям Детского научно-клинического центра инфекционных болезней ФМБА России, в 2017–2018 гг. частота выявления астровирусной инфекции у детей с ОКИ не превышала $1,36\%$ [20]. Напротив, в других странах, а именно в Азербайджане, частота выявления астровирусов была гораздо выше и достигала $20,0\%$ у детей 7–12-месячного возраста с ОКИ вирусной этиологии [21]. С учетом этой информации следует усилить поиски астровирусов в качестве вероятных возбудителей в группе ОКИНЭ.

После ротавирусной и норовирусной инфекции на третьем месте по значимости в заболеваемости ОКИ установленной этиологии в ДФО в 2022 г. оказалась сальмонеллезная инфекция, показатель заболеваемости которой составил $19,7 \pm 0,000\text{‰}$. Следует отметить, что для многолетней динамики характерна общая для РФ тенденция к снижению показателя заболеваемости сальмонеллезом. Однако в отечественной литературе имеются сведения о возрастающей роли детей в возрасте до 3 лет среди больных сальмонеллезом [22]. Более того, сальмонеллез продолжает сохранять свою актуальность при формировании вспышечной заболеваемости и занимает в России третье место в структуре очагов групповой заболеваемости с фекально-оральным механизмом передачи инфекции³. В ДФО в 2022 г. зафиксировано 3 очага групповой заболеваемости, вызванной *Salmonella enteritidis*, с наибольшим средним числом пострадавших в одном очаге (60 человек).

В этиологии острых кишечных инфекций не менее актуальна роль и других бактериальных возбудителей, тем более что в большинстве случаев бактериальные гастроэнтериты требуют госпитализации, так как сопровождаются выраженным воспалением и частым осложнением в виде геморрагических колитов [23]. Как показали исследования отечественных авторов, у детей грудного возраста

значимыми бактериальными возбудителями ОКИ остаются *S. aureus* [24, 25] и *Klebsiella pneumoniae* [26]. В ДФО в 2022 г. регистрация ОКИ, вызванных условно-патогенными возбудителями (*S. aureus*, *Klebsiella spp.*, *Enterobacter aerogenes*, *Proteus mirabilis*), была отмечена преимущественно в очагах групповой заболеваемости.

В последние годы возросла значимость сочетанных (вирусно-вирусных и вирусно-бактериальных) форм острых гастроэнтеритов, имеющих особенности клинического течения и подхода к терапии [27]. В настоящем исследовании вирусно-вирусные ассоциации (рота-норовирусные) регистрировались только среди больных в очагах групповой заболеваемости ОКИ (94 случая в 6 очагах).

Несмотря на минимальный ($1,39 \pm 0,05\%$) вклад вспышечной заболеваемости в общую заболеваемость ОКИ, в целом по ДФО в 2022 г. было зарегистрировано 34 очага групповой заболеваемости. При этом отмечены колебания среднего числа пострадавших в одном вспышечном очаге как по территориям, так и в зависимости от этиологического фактора, ведущего пути распространения возбудителя в очаге и места формирования очага. Наибольший ИО при ОКИ среди регионов ДФО отмечен в 2022 г. в республиках Бурятия и Якутия (свыше 30 случаев заболеваний в 1 очаге). Высоким оказался данный показатель (60 случаев в 1 очаге) в очагах, этиологическим фактором в которых был возбудитель сальмонеллеза. Также большее среднее число пострадавших отмечено в очагах с реализацией пищевого пути распространения возбудителей и в очагах групповой заболеваемости ОКИ, сформированных в учреждениях промышленного, медицинского и социального значения.

Закключение. Таким образом, в 2022 г. эпидемический процесс ОКИ в ДФО характеризовался превышением средних по РФ показателей заболеваемости практически всеми нозологическими формами, за исключением шигеллезов. Отмеченные в 2022 г. проявления эпидемического процесса ОКИ свидетельствуют о сохранении в субъектах ДФО потенциальных эпидемиологических рисков возникновения как спорадических случаев заболеваний, так и очагов групповой заболеваемости ОКИ. Высокая доля инфекций неустановленной этиологии указывает на недостаточность этиологической расшифровки ОКИ в ДФО, что препятствует изучению эпидемического процесса других нозологических форм ОКИ. В связи с этим в ДФО необходима оптимизация системы диагностики диарейных заболеваний, что в итоге позволит повысить эффективность лечебно-профилактических и противоэпидемических мероприятий, а также уменьшить нагрузку на здравоохранение.

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководителям управлений Роспотребнадзора по субъектам ДФО, оказавшим помощь в предоставлении данных по заболеваемости острыми кишечными инфекциями в ответ на запрос Хабаровского НИИ эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Fischer Walker CL, Aryee MJ, Boschi-Pinto C, Black RE. Estimating diarrhea mortality among young children in low and middle income countries. *PLoS One*. 2012;7(1):e29151. doi: 10.1371/journal.pone.0029151
- Lanata CF, Fischer-Walker CL, Olascoaga AC, Torres CX, Aryee MJ, Black RE; Child Health Epidemiology Reference Group of the World Health Organization and UNICEF. Global causes of diarrheal disease mortality in children < 5 years of age: A systematic review. *PLoS One*. 2013;8(9):e72788. doi: 10.1371/journal.pone.0072788
- Акимкин В.Г., Горелов А.В., Подколзин А.Т., Денисюк Н.Б. Эпидемиологический и молекулярно-генетический мониторинг ротавирусной инфекции в Оренбургском регионе в предвакцинальный период // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2019. №2. С. 30–36. doi: 10.36233/0372-9311-2019-2-30-36
- Ющук Н.Д., Кулагина М.Г., Шутко С.А., Митрикова Л.Ц. Острые диарейные инфекции: принципы рациональной терапии // Инфекционные болезни: новости, мнение, обучение. 2019. Т. 8. № 4. С. 103–108. doi: 10.24411/2305-3496-2019-14013
- Сергеев В.И. Современные тенденции в многолетней динамике заболеваемости острыми кишечными инфекциями бактериальной и вирусной этиологии // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2020. Т. 19. № 4. С. 14–19. doi: 10.31631/2073-3046-2020-19-4-14-19
- Макарова М.А. Современное представление о диареогенных *Escherichia coli* – возбудителя острых кишечных инфекций // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2023. Т. 100. № 4. С. 333–344. doi: 10.36233/0372-9311-410
- Черепанова Е.А., Симонова Е.Г., Раичич Р.Р., Ленок А.В., Филатов Н.Н. Оценка эпидемиологического риска в системе надзора за актуальными для Российской Федерации острыми кишечными инфекциями // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 3 (300). С. 23–28. doi: 10.35627/2219-5238/2018-300-3-23-28.
- Антипов М.О. Миндлина А.Я. Эпидемиологическая характеристика наиболее актуальных болезней органов пищеварения инфекционной природы в регионах России // Профилактическая медицина. 2020. Т. 23. № 3. С. 76–80. doi: 10.17116/profmed20202303176.
- Голиусов А.А., Ковалев В.А., Ленок А.В., Локтионова М.Н., Филатов Н.Н. Особенности эпидемического процесса острых кишечных инфекций на территории Москвы // Инфекционные болезни: новости, мнение, обучение. 2018. Т. 7. № 4. С. 39–43. doi: 10.24411/2305-3496-2018-14006
- Новикова Н.А., Сашина Т.А., Солнцев Л.А., Епифанова Н.В., Кашников А.Ю. и др. Проявления эпидемического процесса ротавирусной инфекции в Нижнем Новгороде в предвакцинальный период // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2017. № 5. С. 46–52. doi: 10.36233/0372-9311-2017-5-46-52
- Петруша О.А., Корчевая Е.Р., Минтаев Р.Р., Исаков И.Ю., Никонова А.А. и др. Молекулярно-генетические особенности ротавирусов группы А, выявленных в Москве в 2015–2020 гг. // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2022. Т. 99. № 1. С. 7–19. doi: 10.36233/0372-9311-208.
- Быков Р.О., Скрыбина С.В., Киячина А.С., Итани Т.М., Чалапа В.И. и др. Молекулярно-генетическая характеристика и филогенетический анализ возбудителей норовирусной инфекции человека отдельных муниципалитетов в Свердловской области за 2022 год // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2023. Т. 100. № 4. С. 306–313. doi: 10.36233/0372-9311-402.
- Ковалев В.А., Филатов Н.Н., Локтионова М.Н., Фроловская Т.Г., Ленок А.В. и др. Современные особенности норовирусной инфекции в городе Москва // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2017. № 6. С. 32–37. doi: 10.36233/0372-9311-2017-6-32-37.
- Majowicz SE, Musto J, Scallan E, et al.; International Collaboration on Enteric Disease ‘Burden of Illness’ Studies. The global burden of nontyphoidal *Salmonella gastroenteritis*. *Clin Infect Dis*. 2010;50(6):882–889. doi: 10.1086/650733
- Scallan E, Hoekstra RM, Angulo FJ, et al. Foodborne illness acquired in the United States – Major pathogens. *Emerg Infect Dis*. 2011;17(1):7–15. doi: 10.3201/eid1701.P11101
- Павлова А.С., Бочарова Ю.А., Кулешов К.В., Подколзин А.Т., Чеботарь И.В. Молекулярные детерминанты резистентности *Salmonella enterica* к антибиотикам // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2021. Т. 98. № 6. С. 721–730. doi: 10.36233/0372-9311-140.
- Кулешов К.В., Павлова А.С., Егорова А.Е., Гусева А.Н., Крутова Н.Е. и др. Филогеномный анализ изолятов *Salmonella enterica subsp. enterica* серовар *Enteritidis*, ассоциированных со спорадической и групповой заболеваемостью в России // Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. 2023. Т. 13. № 2. С. 76–82. doi: 10.18565/epidem.2023.13.2.76-82.
- Павлова А.С., Кулешов К.В., Крутова Н.Е., Гусева А.Н., Подколзин А.Т. Характеристика антибиотикорезистентности нетифоидных сальмонелл, циркулирующих на территории Российской Федерации в период с 2019 по 2022 год // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2023. Т. 100. № 5. С. 287–301. doi: 10.36233/0372-9311-451.
- Горбунов С.Г., Мазанкова Л.Н., Оськин А.Н. Роль TLR-3 в течении и исходах ротавирусной инфекции у детей раннего возраста // Детские инфекции. 2022. Т. 21. № 3. С. 5–9. doi: 10.22627/2072-8107-2022-21-3-5-9.
- Комарова А.М., Ермоленко К.Д., Бехтерева М.К. Астровирусные гастроэнтериты у детей // Детские инфекции. 2020. Т. 19. № 3. С. 39–43. doi: 10.22627/2072-8107-2020-19-3-39-43.
- Гылынджова Ф.В. Вирусные кишечные инфекции у детей раннего возраста в г. Баку // Детские инфекции. 2023. Т. 22. № 1. С. 41–44. doi: 10.22627/2072-8107-2023-22-1-41-44.
- Климовицкая Е.Г., Ешмолов С.Н., Ситников И.Г. Клинико-эпидемиологические и лабораторные особенности сальмонеллез у детей на современном этапе // Детские инфекции. 2019. Т. 18. № 4. С. 49–52. doi: 10.22627/2072-8107-2019-18-4-49-52.
- Молочкова О.В., Ковалев О.Б., Шамшева О.В., Соколова Н.В., Сахарова А.А. и др. Бактериальные диареи у госпитализированных детей // Детские инфекции. 2019. Т. 18. № 4. С. 12–18. doi: 10.22627/2072-8107-2019-18-4-12-18.
- Кимирилова О.Г., Харченко Г.А. Результаты лечения первичного стафилококкового энтероколита у детей грудного возраста с применением антибактериальных препаратов и их комбинации с бактериофагами: проспективное исследование // Детские инфекции. 2021. Т. 20. № 3. С. 33–38. doi: 10.22627/2072-8107-2021-20-3-33-38.
- Кимирилова О.Г., Харченко Г.А. Клинико-эпидемиологические особенности стафилококкового энтероколита у детей грудного возраста: ретроспективное исследование // Эпидемиология и инфекционные болезни.

- Актуальные вопросы. 2023. Т. 13. № 4. С. 78–83. doi: 10.18565/epidem.2023.13.4.78-83.
26. Гончар Н.В., Коперсак А.К., Скрипченко Н.В., Кветная А.С., Москалюк А.М. и др. Резистентность к антибактериальным препаратам и бактериофагам изолятов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных от детей разного возраста с кишечными инфекциями // Детские инфекции. 2023. Т. 22. № 1. С. 27–31. doi: 10.22627/2072-8107-2023-22-1-27-31.
27. Плоскирева А.А. Ротавирусная инфекция у детей и ее сочетанные формы // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2017. Т. 142. № 6. С. 26–30.

REFERENCES

- Fischer Walker CL, Aryee MJ, Boschi-Pinto C, Black RE. Estimating diarrhea mortality among young children in low and middle income countries. *PLoS One*. 2012;7(1):e29151. doi: 10.1371/journal.pone.0029151
- Lanata CF, Fischer-Walker CL, Olascoaga AC, Torres CX, Aryee MJ, Black RE; Child Health Epidemiology Reference Group of the World Health Organization and UNICEF. Global causes of diarrheal disease mortality in children < 5 years of age: A systematic review. *PLoS One*. 2013;8(9):e72788. doi: 10.1371/journal.pone.0072788
- Akimkin VG, Gorelov AV, Podkolzin AT, Denisuk NB. Epidemiological and molecular-genetic monitoring of rotavirus infection in the Orenburg region in the period predictively. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2019;(2):30–36. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-2019-2-30-36
- Yushchuk ND, Kulagina MG, Shutko SA, Mitrikova LTs. Acute diarrheal infections: Principles of rational therapy. *Infektsionnye Bolezni: Novosti, Mneniya, Obuchenie*. 2019;8(4):103–108. (In Russ.) doi: 10.24411/2305-3496-2019-14013
- Sergevni VI. Modern trends in long-term dynamics of the acute intestinal infections incidence of bacterial and viral etiology. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2020;19(4):14–19. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2020-19-4-14-19
- Makarova MA. A modern view of diarrheagenic *Escherichia coli* – A causative agent of acute intestinal infections. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2023;100(4):333–344. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-410
- Cherepanova EA, Simonova EG, Raichich RR, Linok AV, Filatov NN. Assessment of epidemiological risk in the system of surveillance for acute intestinal infections relevant to the Russian Federation. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2018;(3(300)):23–28. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2018-300-3-23-28
- Antipov MO, Mindlina AY. Epidemiological characteristics of most relevant digestive system diseases of infectious nature in the regions of Russia. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2020;23(3):76–80. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20202303176
- Goliusov AA, Kovalev VA, Linok AV, Loktionova MN, Filatov NN. Features of epidemic process of acute intestinal infections in the territory of Moscow. *Infektsionnye Bolezni: Novosti, Mneniya, Obuchenie*. 2018;7(4):39–43. (In Russ.) doi: 10.24411/2305-3496-2018-14006
- Novikova NA, Sashina TA, Solntsev LA, et al. Manifestations of epidemic process of rotavirus infection in Nizhny Novgorod in pre-vaccination period. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2017;(5):46–52. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-2017-5-46-52
- Petrusha OA, Korchevaya ER, Mintaev RR, et al. Molecular and genetic characteristics of group A rotaviruses detected in Moscow in 2015–2020. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2022;99(1):7–19. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-208
- Bykov RO, Scriabina SV, Kilyachina AS, et al. Genetic characterization and phylogenetic analysis of human norovirus infection in individual municipalities of the Sverdlovsk region in 2022. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2023;100(4):306–313. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-402
- Kovalev VA, Filatov NN, Loktionova MN, et al. Modern epidemiological characteristics of norovirus infection in Moscow. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2017;(6):32–37. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-2017-6-32-37
- Majowicz SE, Musto J, Scallan E, et al.; International Collaboration on Enteric Disease 'Burden of Illness' Studies. The global burden of nontyphoidal *Salmonella gastroenteritis*. *Clin Infect Dis*. 2010;50(6):882–889. doi: 10.1086/650733
- Scallan E, Hoekstra RM, Angulo FJ, et al. Foodborne illness acquired in the United States – Major pathogens. *Emerg Infect Dis*. 2011;17(1):7–15. doi: 10.3201/eid1701.P11101
- Pavlova AS, Bocharova YuA, Kuleshov KV, Podkolzin AT, Chebotar IV. Molecular determinants of antibiotic resistance in *Salmonella enterica* antibiotic resistance. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2021;98(6):721–730. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-140
- Kuleshov KV, Pavlova AS, Egorova AE, et al. The phylogenomic analysis of *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *Enteritidis* isolates associated with sporadic and group morbidity in Russia. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni. Aktual'nye Voprosy*. 2023;13(2):76–82. (In Russ.) doi: 10.18565/epidem.2023.13.2.76-82
- Pavlova AS, Kuleshov KV, Krutova NE, Guseva AN, Podkolzin AT. Characteristics of antibiotic resistance of non-typhoidal *Salmonella* circulating in the Russian Federation in the period from 2019 to 2022. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2023;100(5):287–301. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-451
- Gorbunov SG, Mazankova LN, Os'kin AN. The role of TLR-3 in the course and outcomes of rotavirus infection in infants. *Detskie Infektsii*. 2022;21(3):5–9. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2022-21-3-5-9
- Komarova AM, Ermolenko KD, Bekhtereva MK. Astrovirus gastroenteritis in children. *Detskie Infektsii*. 2020;19(3):39–43. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2020-19-3-39-43
- Qilindjova FV. Viral intestinal infections in young children in Baku. *Detskie Infektsii*. 2023;22(1):41–44. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2023-22-1-41-44
- Klimovitskaya EG, Eshmolov SN, Sitnikov IG. Clinical, epidemiological and laboratory features of Salmoneellosis in children at the present stage. *Detskie Infektsii*. 2019;18(4):49–52. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2019-18-4-49-52
- Molochkova OV, Kovalev OB, Shamsheva OV, et al. Bacterial diarrhea in hospitalized children. *Detskie Infektsii*. 2019;18(4):12–18. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2019-18-4-12-18
- Kimirilova OG, Kharchenko GA. Results of treatment of primary staphylococcal enterocolitis in infants with the use of antibacterial drugs and their combination with bacteriophages: A prospective study. *Detskie Infektsii*. 2021;20(3):33–38. (In Russ.) doi: 10.22627/2072-8107-2021-20-3-33-38
- Kimirilova OG, Kharchenko GA. Clinical and epidemiological features of staphylococcal enterocolitis in infants: A retrospective study. *Epidemiologiya i Infektsionnye*

Bolezni. Aktual'nye Voprosy. 2023;13(4):78-83. (In Russ.)

doi: 10.18565/epidem.2023.13.4.78-83

26. Gonchar NV, Kopersak AK, Skripchenko NV, et al. Resistance to antibacterial drugs and bacteriophages of *Klebsiella pneumoniae* isolates isolated from children of different ages with intestinal infections.

Detskie Infektsii. 2023;22(1):27-31. (In Russ.) doi:

10.22627/2072-8107-2023-22-1-27-31

27. Ploskireva AA. Rotavirus infection in children and its combined forms. *Ekspierimental'naya i Klinicheskaya Gastroenterologiya.* 2017;(6(142)):26-30. (In Russ.)

Сведения об авторах:

✉ **Троценко** Ольга Евгеньевна – д.м.н., директор, e-mail: trorsenko_oe@hniiem.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3050-4472>.

Сапега Елена Юрьевна, к.м.н., руководитель Дальневосточного регионального научно-методического центра по изучению энтеровирусных инфекций, e-mail: evi.khv@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4438-6913>.

Бутакова Людмила Васильевна, научный сотрудник Дальневосточного регионального научно-методического центра по изучению энтеровирусных инфекций, e-mail: evi.khv@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7238-3691>.

Бондаренко Альбина Павловна, к.м.н., заведующая лабораторией бактериологии, e-mail: baclab_hniiem@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9197-8519>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Троценко О.Е., Сапега Е.Ю., Бутакова Л.В.; анализ и интерпретация результатов: Троценко О.Е., Сапега Е.Ю., Бутакова Л.В.; обзор литературы: Троценко О.Е., Бондаренко А.П.; подготовка рукописи: Троценко О.Е., Сапега Е.Ю., Бутакова Л.В., Бондаренко А.П. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 26.01.23 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ **Olga E. Trotsenko**, Dr. Sci. (Med.); Director; e-mail: trorsenko_oe@hniiem.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3050-4472>.

Elena Yu. **Sapega**, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Head of the Far Eastern Regional Scientific and Methodological Center for the Study of Enterovirus Infections; e-mail: evi.khv@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4438-6913>.

Liudmila V. **Butakova**, Researcher, Far Eastern Regional Scientific and Methodological Center for the Study of Enterovirus Infections; e-mail: evi.khv@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7238-3691>.

Albina P. **Bondarenko**, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Head of the Bacteriology Laboratory; e-mail: baclab_hniiem@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9197-8519>.

Author contribution: study conception and design: Trotsenko O.E., Sapega E.Yu., Butakova L.V.; analysis and interpretation of results: Trotsenko O.E., Sapega E.Yu., Butakova L.V.; bibliography compilation and referencing: Trotsenko O.E., Bondarenko A.P.; draft manuscript preparation: Trotsenko O.E., Sapega E.Yu., Butakova L.V., Bondarenko A.P. 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 26, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024