



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

№10

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 № 10 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
ПН № 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.fcgi.ru/>

© ФБУЗ ЦЦГиЗ 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 ЦЦГиЗ 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 ЦЦГиЗ 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 ЦЦГиЗ 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 ФГАУ 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 ФГАУ 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 эволюции 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 ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), эксперт ВОЗ по безопасности пищи (г. Москва, Российская Федерация)
Л.А. Хляп	к.б.н.; старший научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» РАН (ИПЭЭ РАН) (г. Москва, Российская Федерация)
В.П. 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 ФГАУ 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 ФГАУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»; заведующий лабораторией вирусологии ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН (г. Владивосток, Российская Федерация)
В.О. Щепин	д.м.н., проф., членкор РАН, Заслуженный деятель науки Российской Федерации; главный научный сотрудник, руководитель научного направления ФГБНУ «Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко» (г. Москва, Российская Федерация)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

К. Баждарич	доктор психологии; старший научный сотрудник кафедры медицинской информатики медицинского факультета Университета Риеки (г. Риека, Хорватия)
А.Т. Досмухаметов	к.м.н., руководитель Управления международного сотрудничества, менеджмента образовательных и научных программ Филиала «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологического экспертизы и мониторинга» (НПЦ СЭЭИМ) 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 сотрудник лаборатории арктического биомониторинга САФУ (г. Архангельск, Российская Федерация)
Ю.О. Удланд	доктор философии (мед.), профессор глобального здравоохранения, Норвежский университет естественных и технических наук (г. Тронхейм, Норвегия); ведущий научный сотрудник института экологии НИУ ВШЭ (г. Москва, Российская Федерация)
Г. Ханн	доктор философии (мед.), профессор; председатель общественной организации «Форум имени Р. Коха и И.И. Мечникова», почетный профессор медицинского университета Шарите (г. Берлин, Германия)
А.М. Цацакис	доктор философии (органическая химия), доктор наук (биофармакология), профессор, иностранный член Российской академии наук, полноправный член Всемирной академии наук, почетный член Федерации европейских токсикологов и европейских обществ токсикологии (Eurotox); заведующий кафедрой токсикологии и судебно-медицинской экспертизы Школы медицины Университета Крита и Университетской клиники Ираклиона (г. Ираклион, Греция)
Ф.-М. Чжан	д.м.н., заведующий кафедрой микробиологии, директор Китайско-российского института инфекции и иммунологии при Харбинском медицинском университете; вице-президент Хэйлунцзянской академии медицинских наук (г. Харбин, Китай)

Здоровье населения и среда обитания – ЗНЦО

Рецензируемый
научно-практический журнал
Том 32 № 10 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 ЦЦГиЗ 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 31.10.2024
Формат издания 60x84/8
Печ. л. 10,0
Тираж 1000 экз.
Цена свободная

Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 7–80

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

© ФБУЗ ЦЦГиЗ 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 10, 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. Friedman, Deputy Editor-in-Chief Cand. Sci. (Med.); Head Doctor of the Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation	
Galina M. Trukhina, Deputy Editor-in-Chief (Scientific Editor) Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Head of the Department of Microbiological Methods of Environmental Research, Institute of Complex Problems of Hygiene, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russian Federation	
Nataliya A. Gorbacheva, Executive Secretary Cand. Sci. (Med.); Deputy Head of the Department for Educational and Editorial Activities, Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation	
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	Dr. Sci. (Med.), Professor, Moscow, Russian Federation
Nina V. Zaitseva	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. Burakovsky Institute of Cardiac Surgery, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russian Federation
Sergey A. Sudyin	Dr. Sci. (Sociol.); Head of the Department of General Sociology and Social Work, Faculty of Social Sciences, National Research Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Alexey V. Surov	Dr. Sci. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Deputy Director for Science, Chief Researcher, Head of the Laboratory for Comparative Ethology of Biocommunication, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russian Federation
Victor A. Tutelyan	Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director of the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation
Liudmila A. Khlyap	Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Institute of Ecology and Evolution named after A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Valery P. Chashchin	Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russian Federation
Alexey B. Shevelev	Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Biotechnology and Genomic Editing Group, N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Moscow, Russian Federation
Dmitry A. Shpilev	Dr. Sci. (Sociol.), Assoc. Prof.; Professor of the Department of General Sociology and Social Work, Faculty of Social Sciences, N.I. Lobachevsky National Research State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Mikhail Yu. Shchelkanov	Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.; Director of G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Head of the Basic Department of Epidemiology, Microbiology and Parasitology with the International Research and Educational Center for Biological Safety, School of Life Sciences and Biomedicine, Far Eastern Federal University; Head of the Virology Laboratory, Federal Research Center for East Asia Terrestrial Biota Biodiversity, Vladivostok, Russian Federation
Vladimir O. Shchepin	Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation; Chief Researcher, Head of Research Direction, N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russian Federation

FOREIGN EDITORIAL COUNCIL

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

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitalaniya – ZNiSO

Public Health and Life Environment – *PH&LE*

Russian monthly peer-reviewed
scientific and practical journal

Volume 32, Issue 10, 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: October 31, 2024
Publication format: 60x84/8
Printed sheets: 10,0
Circulation: 1,000 copies
Free price

Zdorov'e Naseleniya i Sreda
Obitalaniya. 2024;32(10):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

- Рослая Н.А., Гекман Е.В. Современные тенденции показателей смертности населения трудоспособного возраста в Уральском федеральном округе и Свердловской области 7

СОЦИОЛОГИЯ МЕДИЦИНЫ

- Темаев Т.В., Суркова И.Ю., Трубецков А.Д., Богомолова Т.А. Субъективная оценка социально-гигиенических факторов профессионального долголетия механизаторов сельского хозяйства 15

ГИГИЕНА ТРУДА

- Новикова Т.А., Безрукова Г.А., Кочетова Н.А., Макаревская Д.М. Профессиональный риск развития производственно обусловленной патологии у работников современного производства нефтепродуктов 26
- Носов А.Е., Байдина А.С., Зорина А.С., Сухих Е.А., Крылов А.А., Чигвинцев В.М. Состояние артерий у работников предприятий по производству минеральных удобрений при воздействии твердых частиц мелкодисперсных фракций пыли 36
- Минигалиева И.А., Никогосян К.М., Сутункова М.П., Батенёва В.А., Дубровин Д.А. Механизмы репротоксического действия свинца (обзор литературы) 45
- Евтерева А.А., Василькевич В.М., Сычик С.И., Рябцева С.Н. Анализ специфической респираторной токсичности фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорид при хронической ингаляционной экспозиции 52
- Егорова А.М. Совершенствование методов оценки экспозиции глубокоподземных физических факторов (обзор литературы) 61

КОММУНАЛЬНАЯ ГИГИЕНА

- Хлыстов И.А., Харьковская П.К., Минигалиева И.А., Бугаева А.В. Изучение влияния кипячения питьевой воды на состав органических веществ 66

ГИГИЕНА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

- Мажаева Т.В., Гурвич В.Б., Сутункова М.П., Чернова Ю.С., Ярушин С.В., Чеботарькова С.А., Минигалиева И.А., Бушуева Т.В., Штин Т.Н. Подходы к идентификации маркеров воздействия окружающей среды и питания на организм дошкольников 73

CONTENTS

ISSUES OF MANAGEMENT AND PUBLIC HEALTH

- Roslava N.A., Gekman E.V. Current trends in mortality rates of the working age population in the Ural Federal District and the Sverdlovsk Region 7

MEDICAL SOCIOLOGY

- Temaev T.V., Surkova I.Yu., Trubetskov A.D., Bogomolova T.A. Self-assessed social and health determinants of working life expectancy in agricultural mechanics 15

OCCUPATIONAL HEALTH

- Novikova T.A., Bezrukova G.A., Kochetova N.A., Makarevskaya D.M. Risk of occupational diseases in workers of contemporary petroleum refining 26
- Nosov A.E., Baidina A.S., Zorina A.S., Sukhikh E.A., Krylov A.A., Chigvintsev V.M. Artery status in mineral fertilizer industry workers occupationally exposed to particulate matter 36
- Minigalieva I.A., Nikogosyan K.M., Sutunkova M.P., Bateneva V.A., Dubrovin D.A. Mechanisms of the reprotoxic effect of lead: A literature review 45
- Evttereva A.A., Vasilkevich V.M., Sychik S.I., Ryabtseva S.N. Specific respiratory toxicity of the pharmaceutical substance articaïne hydrochloride following chronic inhalation exposure 52
- Egorova A.M. Improvement of methods for assessing the exposure to deep underground physical factors: A literature review 61

COMMUNAL HYGIENE

- Khlystov I.A., Kharkova P.K., Minigalieva I.A., Bugaeva A.V. Effect of boiling on the composition of organic substances in tap water 66

PEDIATRIC HYGIENE

- Mazhaeva T.V., Gurvich V.B., Sutunkova M.P., Chernova J.S., Yarushin S.V., Chebotarkova S.A., Minigalieva I.A., Bushueva T.V., Shtin T.N. Approaches to identifying markers of effect of environment and nutrition in preschoolers 73

95 лет на страже профессионального долголетия

**ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора,
г. Екатеринбург**



История Екатеринбургского медицинского научного центра началась в 1989 г. после объединения двух институтов – Свердловского НИИ гигиены труда и профзаболеваний и Свердловского НИИ курортологии и физиотерапии, которые были созданы в 1929 году с целью решения задач здравоохранения в годы первых пятилеток, – в связи с необходимостью организации и развития медицинской службы, специализированной по гигиене труда, профессиональной патологии, а также различным видам физиотерапии, включая использование в целях лечения, профилактики и медицинской реабилитации богатейших местных природных ресурсов – минеральных вод, грязей и климата.

С первых лет своего существования Центр занял в этой области одну из лидирующих позиций в стране и сохраняет ее по настоящее время, решая задачи обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей, экологической безопасности, сохранения здоровья и трудовой активности работающих Российской Федерации.

Формирование и развитие основных научных исследований коллектива Центра было направлено на изучение условий труда на предприятиях металлургической и горнодобывающей промышленности, машиностроения, производства строительных материалов всего Советского Союза, на разработку современных методов оценки состояния окружающей и производственной среды, методов диагностики, лечения и реабилитации работающих и населения в целом, изучение профессиональной заболеваемости.

Благодаря завершённому в 2018 году техническому перевооружению Центра внедряются современные технологии фундаментальных и прикладных исследований, разрабатываются методы предиктивной медицины на молекулярно-генетическом уровне с использованием «омик»-технологий, новые способы оценки экспозиции физических и химических факторов среды обитания и изучаются их комбинированное и сочетанное влияние на организм, активно развивается нанотоксикология, разрабатываются современные подходы к организации питания различных групп населения, что способствует повышению научного авторитета и перспектив Российской Федерации на мировом уровне.

В формирование и развитие основных направлений исследований, научно-методической и материальной базы Центра большой вклад внесли ученые, отдавшие десятки лет своей жизни делу развития профилактической и восстановительной медицины: М.С. Садилова, Ф.М. Коган, А.Г. Гольдельман, Д.М. Зислин, Е.Я. Гирская, А.Л. Юделес, С.В. Миллер, В.В. Розенблат, С.В. Щербаков, С.И. Серов, К.В. Хилевский, С.С. Магазанник, Р.В. Овечкин, И.А. Балабанова, Б.Т. Величковский, С.Г. Домнин, Б.А. Кацнельсон, Т.Д. Дегтярева, Л.И. Привалова, Л.Я. Тартаковская, Э.Г. Плотко, К.П. Селянкина, Е.А. Борзунова, О.Ф. Рослый, Е.И. Лихачева, Л.Н. Будкар, Р.Г. Образцова, И.Е. Оранский, В.Б. Гурвич, С.В. Кузьмин, В.Ю. Курочкин, В.А. Широков и многие другие.

В настоящее время сформировалось поколение высококвалифицированных кадров, изучающих и разрешающих насущные проблемы гигиены, медицины труда, экологической эпидемиологии, профпатологии, физиотерапии и курортологии (М.П. Сутункова, А.А. Федорук, Т.В. Мажаева, В.Г. Газимова, Т.В. Бушуева, Е.В. Бахтерева, А.В. Потатурко, И.А. Минигалиева, Т.Ю. Обухова, Е.Л. Лейдерман и др.).

За годы существования институтов и Центра разработаны и вошли в санитарное законодательство более 50 санитарных правил и 140 гигиенических нормативов (ПДК и ОБУВ) содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе и воде водоемов, более 500 методических рекомендаций и пособий для врачей, издано более 90 монографий и руководств, 190 тематических сборников, получено около 260 патентов на изобретения и промышленные образцы, разработаны бальнеологические заключения по применению минеральных вод и лечебных грязей на 700 объектах Уральского региона.

Екатеринбургский медицинский-научный центр осуществляет научно-исследовательские работы совместно с Управлением Роспотребнадзора по Свердловской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области», некоторыми промышленными предприятиями как Уральского федерального округа, так и других субъектов Российской Федерации.

Сегодня в структуре Екатеринбургского медицинского-научного центра 7 научных и 4 научно-производственных отдела, в состав которых входит 18 лабораторий и отделений.

Сотрудниками Екатеринбургского медицинского научного центра проводятся комплексные санитарно-гигиенические обследования, исследования и испытания по изучению условий труда и функционального состояния организма непосредственно на рабочих местах. Определяются коллективные и персональные экспозиции факторов трудового процесса, уровни риска для здоровья и разрабатываются адресные целевые профилактические мероприятия.

ЕМНЦ более 30 лет сотрудничает с ведущими горно-металлургическими предприятиями, решая задачи сохранения здоровья работающих во вредных условиях труда, а также населения, проживающего в условиях негативного воздействия факторов окружающей среды, в зонах влияния промышленных предприятий. Соглашения о совместной деятельности по управлению риском для здоровья населения и работающих в связи с хозяйственной деятельностью промышленных предприятий металлургической отрасли являются примером практической реализации, эффективности и результативности устанавливаемых партнерских отношений.

Центр проводит большую работу по подготовке высококвалифицированных научных и врачебных кадров (ординатура, аспирантура, соискательство). Начиная с 1933 года выполнено и защищено 80 докторских и 356 кандидатских диссертаций, подготовлено более 120 ординаторов. В 1998 году Центр получил лицензию на право ведения образовательной деятельности в сфере дополнительного профессионального образования, за это время на курсах повышения квалификации обучено более 12 тысяч человек. Центр является учебной базой трех кафедр Уральского государственного медицинского университета.

ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора сегодня – это одно из крупнейших и уникальных многопрофильных учреждений профилактической и восстановительной медицины в стране, сохранившее и развивающее лучшие традиции уральской школы гигиенистов, токсикологов, профпатологов, физиологов, курортологов и физиотерапевтов.

Все достижения и перемены, происходящие в Центре, способствуют реализации приоритетных направлений по охране здоровья населения Урала, ориентированы на сохранение демографического потенциала, обеспечивающего необходимые темпы развития экономики и безопасность государства.

Сердечно поздравляем коллектив ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора со знаменательным юбилеем. От всей души желаем инновационного подхода в решении научных задач, новых побед и открытий, успехов во всех сферах деятельности, крепкого здоровья и долголетия!

*С уважением,
руководство ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП
Роспотребнадзора*



Современные тенденции показателей смертности населения трудоспособного возраста в Уральском федеральном округе и Свердловской области

Н.А. Рослая^{1,2}, Е.В. Гекман¹

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава Российской Федерации, ул. Репина, д. 3, г. Екатеринбург, 620028, Российская Федерация

² ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, 620014, Российская Федерация

Резюме

Введение. Вопросы охраны и укрепления здоровья работающего населения являются важнейшей проблемой современной медицины труда и здравоохранения. Смертность работников приводит к большим экономическим потерям для общества.

Цель исследования: провести сравнительный анализ состояния и динамики смертности населения трудоспособного возраста в субъектах Уральского федерального округа за период 2018–2022 гг.

Материалы и методы. В работе использованы данные официальной статистической отчетности. Рассчитаны возрастная структура населения, среднемноголетние уровни, стандартизированные коэффициенты смертности на 100 тыс. трудоспособного населения по основным причинам смерти, темпы и тренд их прироста. Структура смертности населения анализировалась в соответствии с кодами МКБ X пересмотра.

Результаты. Анализ динамики смертности населения в трудоспособном возрасте в УрФО за 2018–2022 гг. свидетельствует о негативной динамике в большинстве его субъектов. Удельный вес умерших в трудоспособном возрасте составил 24,9 %, среди них мужчин в 3,5 раза больше, чем женщин. В структуре причин смерти в трудоспособном возрасте в целом и среди мужчин лидируют болезни системы кровообращения (29,0 %), внешние причины (23,1 %) и новообразования (13,7 %). У женщин первые три ранговых места занимают новообразования (21,7 %), болезни системы кровообращения (21,2 %), инфекционные заболевания (14,4%). Особенности регионов, определяющие их социально-экономическое развитие, оказывают влияние на возрастную-половую состав и уровни смертности трудоспособного населения.

Заключение. Снижение показателей смертности в трудоспособном возрасте потребует как увеличения государственных вложений, так и развития корпоративной медицины, объединения усилий работодателей, работников и органов власти по улучшению здоровья и благополучия населения трудоспособного возраста.

Ключевые слова: смертность, население трудоспособного возраста, Уральский федеральный округ, Свердловская область.

Для цитирования: Рослая Н.А., Гекман Е.В. Современные тенденции показателей смертности населения трудоспособного возраста в Уральском федеральном округе и Свердловской области // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 7–14. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-7-14

Current Trends in Mortality Rates of the Working Age Population in the Ural Federal District and the Sverdlovsk Region

Natalia A. Roslaya,^{1,2} Elena V. Gekman¹

¹ Ural State Medical University, 3 Repin Street, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation

² Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, 30 Popov Street, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

Summary

Introduction: Issues of protecting and promoting health of the working population are the most important problem of modern occupational medicine and healthcare. The mortality of workers leads to large economic losses for the society.

Objective: To conduct a comparative analysis of mortality structure and patterns in the working-age population of the Ural Federal District in 2018–2022.

Materials and methods: Based on official statistics, we established the age structure of the population, long-term rates, standardized mortality rates per 100,000 working-age population for the main causes of death, increase rates and trends of their growth. The structure of population mortality was analyzed in accordance with ICD-10 codes.

Results: The analysis of mortality among the population of working age in the Ural Federal District for 2018–2022 revealed negative dynamics in most of its constituents. The proportion of deaths in working age was 24.9 %, with the working-age death rate in men being 3.5 times higher than that in women. In the structure of causes of death of the working-age population, including males, diseases of the circulatory system (29.0 %), external causes (23.1 %), and neoplasms (13.7 %) ranked highest while neoplasms (21.7 %), diseases of the circulatory system (21.2 %), and infectious diseases (14.4 %) prevailed in women. Characteristics of the regions that determine their socio-economic development influence the age and sex composition and mortality rates in the working-age population.

Conclusion: Reducing mortality rates in working age will require both increased government investments and the development of corporate medicine, combining efforts of employers, employees and authorities to improve health and well-being of the working-age population.

Keywords: mortality, working age population, Ural Federal District, Sverdlovsk Region.

Cite as: Roslaya NA, Gekman EV. Current trends in mortality rates of the working age population in the Ural Federal District and the Sverdlovsk Region. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):7–14. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-7-14

Введение. Одно из важнейших направлений развития здравоохранения в РФ – совершенствование подходов к сохранению здоровья работников¹. Вопросы охраны и укрепления здоровья работающего населения в соответствии с Указом Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»² являются важнейшей проблемой современной медицины труда и здравоохранения. Основной проблемой трудовых ресурсов России, обозначившейся еще в кризисные 1990-е годы, являются изменения в возрастной пирамиде страны, приводящие к старению ее населения, и как следствие, к сокращению наличных трудовых ресурсов [1, 2]. Прогнозы отечественных и зарубежных экспертов свидетельствуют о снижении в ближайшие 15–20 лет населения трудоспособного возраста и его доли в общей численности населения страны, что будет сопровождаться старением трудовых ресурсов [3, 4].

Предотвращение смертности работников является актуальной социально-экономической задачей [5–7]. Несмотря на расширенные программы государственного стимулирования, в России резко обострились демографические и социальные проблемы. За последние 3 года естественная убыль населения России составила более 2 миллионов (–2 319 990) человек. В условиях инновационного развития экономики страны остро стоят вопросы наличия квалифицированных кадров, способных к обучению новым компьютерным технологиям, сохранения качества трудовых ресурсов для развития производства, выпуска продукции, соответствующей мировым стандартам³.

В реализуемом Национальном проекте «Здравоохранение»⁴ одной из ключевых поставлена задача снижения уровня смертности населения трудоспособного возраста к 2024 г. почти на 28 % (от 484,5 до 350,0 ‰).

Цель исследования – провести сравнительный анализ состояния и динамики смертности населения трудоспособного возраста в субъектах Уральского федерального округа за период 2018–2022 гг.

Материалы и методы. Проведен сравнительный анализ динамики уровней смертности в трудоспособном возрасте в субъектах, входящих в состав Уральского федерального округа (УрФО) за 2018–2022 гг. Использованы данные официальной статистической отчетности Росстата⁵, Свердловскстата⁶ и бюллетени Медицинского информационно-аналитического центра Минздрава Свердловской области за 2018–2022 гг. Взяты показатели смертности мужского и женского населения возрастной

группы: до 1 января 2020 г. – мужчины 16–59 лет, женщины 16–54 лет, на 1 января 2020–2021 гг. – мужчины 16–60 лет, женщины 16–55 лет, на 1 января 2022 г. – мужчины 16–61 года, женщины 16–56 лет. Рассчитаны: возрастная структура населения УрФО, среднемноголетние уровни (СМУ) и стандартная ошибка среднего смертности, стандартизированные коэффициенты смертности (КСК) на 100 тыс. трудоспособного населения по основным причинам смерти, темпы и тренд их прироста. Структура смертности населения анализировалась в соответствии с кодами Международной статистической классификацией болезней и проблем, связанных со здоровьем X пересмотра. Проверка нормальности распределения проведена с использованием критерия Шапиро – Уилка. Для оценки различий показателей по субъектам УрФО относительно общероссийских показателей использовали *t*-критерий Стьюдента, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета программ Microsoft Office 2013.

Результаты. Возрастная структура населения УрФО относится к регрессивному типу, то есть характеризуется сравнительно большой долей населения в возрасте старше 60 лет (более 12 %) и естественной убылью населения.

За 5 лет численность жителей округа уменьшилась на 0,8 % (97,1 тыс. чел.), что несколько ниже среднероссийской тенденции за этот период (–1,0 %). Убыль населения зарегистрирована в четырех регионах УрФО (Курганской, Свердловской, Челябинской областях и Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО)). В Свердловской области число граждан в анализируемый период снизилось на 1,8 % (76,6 тыс. чел). Рост численности населения зарегистрирован в Тюменской области (без автономных округов) и Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО): 5,9 и 4,0 % соответственно к уровню 2018 г. Средний возраст населения только в Курганской области достоверно превышал среднее значение по России (42,2 против 40,7 лет, $p = 0,04$), в остальных регионах УрФО отличий не выявлено (39,5 и 40,7 лет, соответственно, $p = 0,5$).

На фоне снижения общей численности населения в УрФО выросло число граждан трудоспособного возраста: на 0,8 % (57,4 тыс. чел.). Доля лиц трудоспособного возраста в возрастной структуре населения регионов округа составила в среднем по УрФО – 57,1 % (от 52,0 % в Курганской области до 64,4 % в ЯНАО).

¹ Профессиональная патология: национальное руководство/ под ред. И.В. Бухтиярова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2024. 904 с. (Серия Национальные руководства). doi: 10/33029/9704-8177-6-PP2-204-1-904

² О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 Текст: электронный. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/ (дата обращения: 06.04.2024).

³ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 340 с.

⁴ Паспорт национального проекта «Здравоохранение» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16) Текст: электронный. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/72185920>

⁵ Росстат. Федеральная служба государственной статистики. Демография. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 06.12.2023).

⁶ Управление Федеральной службы государственной статистики (Свердловскстат).

Среднемноголетний уровень смертности населения трудоспособного возраста УрФО за анализируемый период выше российского показателя на 8,8 % ($568,0 \pm 14,9$ против $522,4 \pm 23,8$ ‰), достоверное превышение регистрировалось в Курганской ($658,4 \pm 19,3$ ‰, $p = 0,003$) и Свердловской ($610,6 \pm 24,1$ ‰, $p = 0,01$) областях. Только в Тюменской области с входящими в ее состав автономными округами СМУ значимо ниже, чем по РФ и УрФО ($441,1 \pm 13,3$ ‰, $p = 0,001$).

Динамика смертности совпадала с общероссийской тенденцией за весь анализируемый период. Изменение уровней показателя шло неравномерно: в 2019 году на всех территориях наблюдалось его снижение, сменившееся в период пандемии новой коронавирусной инфекции 2020–2021 гг. резким ростом смертности во всех субъектах.

Ситуация изменилась в 2022 г.: показатель в целом по округу снизился в среднем на 10,6 % (от 622,9 до 556,1 ‰), более быстрыми темпами последствия пандемии преодолевались в Тюменской (–12,4 %) и Челябинской областях (–11,8 %). В отличие от других субъектов УрФО, в Курганской области рост показателя продолжился (+3,0 % к уровню 2021 г.) (табл. 1).

В структуре причин смерти трудоспособного населения УрФО и субъектов, входящих в его состав, лидируют болезни системы кровообращения (БСК), совпадая со структурой общей смертности, но доля смерти в этом классе ниже (28,1 и 42,6 % соответственно). Исключением явилась Курганская область, где на ведущее место вышли внешние причины смертности, отодвинув БСК на второе место (табл. 2).

Таблица 1. Темпы прироста показателей смертности населения в трудоспособном возрасте в регионах Уральского федерального округа (%)

Table 1. Mortality growth rates in the working-age population in the regions of the Ural Federal District (%)

	Темп прироста 2019 г. к 2018 г. / Growth rate in 2019 vs 2018	Темп прироста 2020 г. к 2019 г. / Growth rate in 2020 vs 2019	Темп прироста 2021 г. к 2020 г. / Growth rate in 2021 vs 2020	Темп прироста 2022 г. к 2021 г. / Growth rate in 2022 vs 2021
Российская Федерация / Russian Federation	–2,5	+10,9	+15,9	–11,3
Уральский федеральный округ / Ural Federal District	–0,2	+7,8	+7,0	–10,6
Свердловская область / Sverdlovsk Region	–4,0	+10,5	+13,6	–10,8
Курганская область / Kurgan Region	–0,5	+4,4	+7,4	+3,0
Челябинская область / Chelyabinsk Region	–0,6	+7,8	+12,5	–11,8
Тюменская область с автономными округами / Tyumen Region with autonomous okrugs	–5,7	+13,6	+10,6	–12,4

Таблица 2. Структура смертности населения в трудоспособном возрасте по основным классам причин смерти по субъектам (%)

Table 2. Cause-specific mortality by the regions of the Ural Federal District (per 100,000 working-age population)

	Класс I (Коды A00–B99) / Chapter I (code range: A00–B99)	Класс II (Коды C00–D48) / Chapter II (code range: C00–D48)	Класс IX (Коды I00–I99) / Chapter IX (code range: I00–I99)	Класс X (Коды J00–J99) / Chapter X (code range: J00–J99)	Класс XX (Коды V01–Y98) / Chapter XX (code range: V01–Y98)
Российская Федерация / Russian Federation	4,8	14,3	29,8	4,2	23,4
Уральский федеральный округ / Ural Federal District	8,3	13,9	28,1	2,9	25,5
Свердловская область / Sverdlovsk Region	9,2	13,4	28,4	2,8	25,2
Курганская область / Kurgan Region	9,0	15,3	22,7	2,7	29,5
Челябинская область / Chelyabinsk Region	7,9	13,2	25,6	2,3	27,0
Тюменская область с автономными округами / Tyumen Region with autonomous okrugs	7,3	15,0	32,4	3,7	23,1

Второе место занимали внешние причины (несчастные случаи, отравления и травмы). Данный класс причин смерти более выражен в группе трудоспособного населения по сравнению с общей смертностью, в структуре которой данный класс занимает третье место (25,5 против 9,4 % в УрФО и 23,4 против 7,3 % в РФ).

На третьей позиции во всех регионах находились новообразования, совпадая со структурой бщей смертности (табл. 2).

При анализе уровней смертности выявлены достоверные гендерные различия. Смертность мужчин трудоспособного возраста в среднем по округу превышала смертность женщин в 3,5 раза (850 сл. на 100 тыс. мужчин и 240 сл. на 100 тыс. женщин соответствующего возраста, $p = 0,0009$). Максимальный разрыв показателей (4,1 раза) наблюдается в Курганской области, в которой уровень смертности мужского населения выше на 41,2 % в среднем по УрФО (рис. 1).

В Свердловской области (СО) доля граждан трудоспособного возраста увеличилась с 54,2 до 55,9 %. Смертность населения трудоспособного возраста в период 2018–2022 гг. возросла на 7,5 %. Удельный вес умерших в трудоспособном возрасте среди всех возрастных категорий в 2022 году составил 24,9 %, среди них мужчин было в 3,5 раза больше, чем женщин (900,0 и 270,8 ‰ соответственно).

Ведущей причиной смертности в трудоспособном возрасте в СО являются болезни системы кровообращения (28,4 %). Мужское население в этом классе составило 84 %. За анализируемый период стандартизованный уровень смертности от БСК в СО возрос на 11,3 % (172,6 против 155,3 ‰), тогда как в РФ прирост составил 9,3 % (160,0 против 146,4 ‰).

Рост показателей зарегистрирован практически по всем основным нозологическим формам БСК: от ишемической болезни сердца – на 2,8 %, от cerebrovascular diseases – на 13,3 %, от инфаркта

миокарда – на 9,3 %, острых нарушений мозгового кровообращения на 9,3 %).

Второе место в структуре смертности трудоспособного населения занимают внешние причины – 25,2 %. СКС в этом классе составили в 2022 г. в СО 137,8; в РФ – 123,5 ‰. В динамике в СО наблюдается незначительное снижение уровня от 2018 г. (1,5 %). В этом классе лидируют повреждения с неопределенными намерениями, составляя в СО 68,0 % и сопровождаясь ростом на 16,8 % к уровню 2018 г. За анализируемый период в СО отмечено достоверное снижение смертности от самоубийств от 12,8 до 6,9 ‰, убийств от 9,7 до 5,7 ‰ ($p \leq 0,05$), тенденция к снижению гибели в дорожно-транспортных происшествиях от 12,8 до 15,3 ‰, число смертельных случаев от отравления алкоголем выросло на 3 %, в основном за счет женского населения (5,8 против 4,7 ‰). В среднем по России СКС возрос на 5,9 % от 116,0 до 123,5 ‰ за счет повреждений с неопределенными намерениями, по всем другим внешним причинам в РФ наблюдается достоверное снижение смертности.

На третьей позиции находятся новообразования (13,4 %). Уровни показателей в СО выше среднероссийских и имеют тенденцию к росту на 8,1 % (от 75,7 до 81,9 ‰). В среднем по России уровень смертности в этом классе вырос лишь на 3,4 % (от 74,0 до 76,5 ‰).

Необходимо отметить, что в 2018 г. третье место в структуре смертности трудоспособного населения СО занимали инфекционные и паразитарные заболевания (17,0 %), с уровнем показателя 96,0 на 100 тыс. трудоспособного населения, которые в РФ стояли лишь на 5-м месте (7,1 %). К 2022 г. уровень в данном классе болезней в СО достоверно сократился более чем на треть (37,5 %) до уровня 59,7 ‰ и занял четвертое место в структуре смертности трудоспособного населения. Положительная тенденция в данном классе обусловлена прежде всего

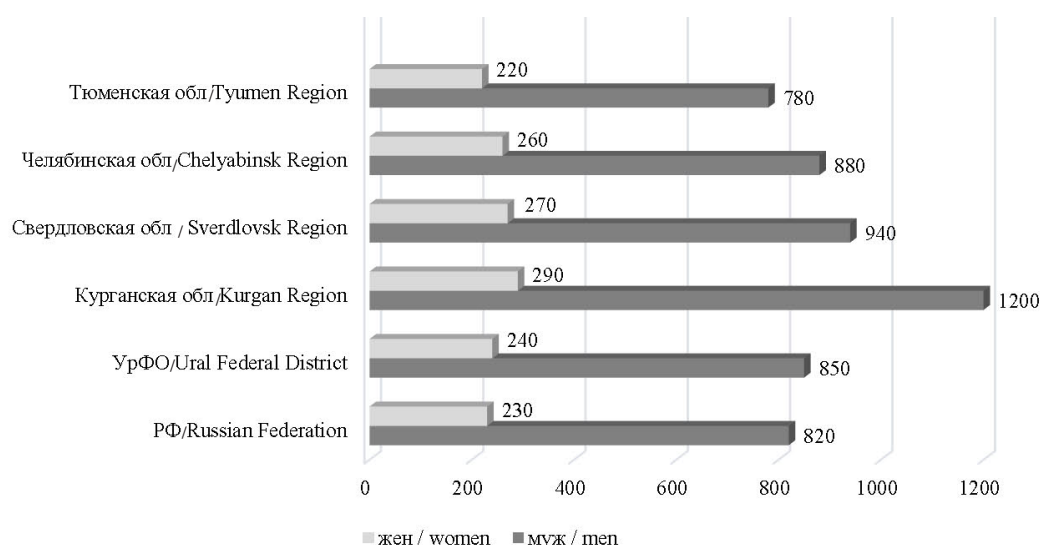


Рис. 1. Уровень смертности в трудоспособном возрасте в зависимости от пола в субъектах Уральского федерального округа в 2022 г. (на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста)

Fig. 1. Working-age death rates by sex in the constituents of the Ural Federal District in 2022 (per 100,000 population of the corresponding sex and age)

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-7-14>
Original Research Article

снижением смертности от туберкулеза на 41,0 % (до 5,6 против 9,5 ‰ в 2018 г.).

Положительным моментом также является снижение смертности по причине ВИЧ-инфекции, с 2019 г. снижение составило 21,7 %. Продолжилось снижение показателя летальности от ВИЧ-инфекции до 1,3 % в 2022 г. против 2,1 % в 2018 г.

Темпы прироста смертности в 2022 г. к 2018 году среди трудоспособного мужского населения составили 5,7 %, а среди женского населения – 5,9 %. Максимальной прирост уровней показателя за анализируемый период зафиксирован у мужчин в классе БСК (11,9 %) от 250,6 до 280,4 ‰, а среди женщин – по причине заболеваний органов пищеварения на 24,4 % (от 29,1 до 36,2 ‰). Настораживает появление тенденции к росту смертности женщин от злокачественных новообразований (ЗНО) на 12,4 % на фоне снижения в СО общей смертности в этом классе причин (8,6 %).

При сравнении структуры причин смертности мужского и женского населения трудоспособного возраста в СО за 2022 год выявлены существенные различия: так у мужчин ведущие 3-го ранга занимают: болезни системы кровообращения (31,2 %), внешние причины (25,6 %) и новообразования (11,4 %) (рис. 2).

Среди женщин лидируют новообразования (21,7 %), на втором месте – болезни системы кровообращения (21,2 %), третье место занимают некоторые инфекционные и паразитарные заболевания (14,4 %).

Обсуждение. Уральский федеральный округ играет существенную роль в социально-экономическом развитии страны, на его долю приходится 8,4 % населения страны⁷ [8]. В Челябинской области и СО расположено большое количество предприятий горнодобывающей промышленности, обрабатывающих производств, черной и цветной металлургии. На территории ХМАО и ЯНАО осваиваются крупнейшие нефтяные и газовые месторождения.

Курганская область отличается преобладанием сельскохозяйственной деятельности и большей долей сельского населения.

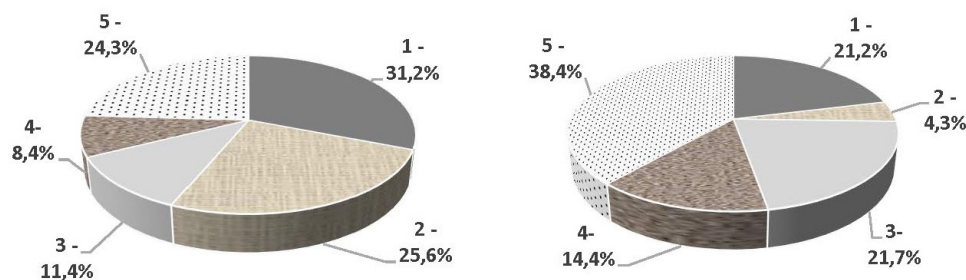
Особенности регионов, определяющие их социально-экономическое развитие, оказывают влияние на возрастную-половую состав и уровни смертности населения [9–11].

Увеличение доли граждан трудоспособного возраста: в УрФО можно объяснить повышением пенсионного возраста в результате пенсионной реформы, а также ростом трудовой миграции в субъекты УрФО на предприятия обрабатывающей, перерабатывающей промышленности и топливно-энергетического комплекса [12].

Высокий уровень заработной платы на предприятиях нефтегазового комплекса Тюменской области с ХМАО и ЯНАО влечет за собой миграционный приток молодого населения, что приводит к снижению уровней смертности в этих регионах. В Курганской области, напротив увеличивается миграционного отток молодых граждан в Свердловскую, Тюменскую области из-за наличия престижных рабочих мест и высоких зарплат, приводя к снижению качества жизни и более высоким уровням смертности оставшегося населения.

Анализ динамики смертности населения в трудоспособном возрасте в УрФО за 2018–2022 гг. свидетельствует о негативной динамике в большинстве его субъектов. На протяжении всего анализируемого периода уровни смертности населения трудоспособного возраста округа достоверно превышали среднероссийские показатели.

Рекордное сокращение количества умерших с 1988 года в истории России в 2019 г.⁸, сменилось резким ростом смертности в 2020–2021 гг., обусловленным пандемией новой коронавирусной инфекции (НКВИ), а также связанной с ней остановкой плановых профилактических и лечебных мероприятий (диспансеризации и диспансерного наблюдения) [13–15]. Несомненно, на рост смертности



Примечание: 1 – болезни системы кровообращения; 2 – внешние причины; 3 – новообразования; 4 – инфекционные и паразитарные заболевания

Notes: 1 - diseases of the circulatory system; 2 - external causes; 3 - neoplasms; 4 - infectious and parasitic diseases

Рис. 2. Структура смертности в трудоспособном возрасте в Свердловской области по полу и основным классам причин смерти в 2022 г. (% от общего числа умерших соответствующего пола и возраста)

Fig. 2. Structure of mortality of the working-age population of the Sverdlovsk Region by sex and the main causes of death in 2022 (% of the total number of the deceased of the corresponding sex and age)

⁷ Уральский федеральный округ: 2022 год – год преодоления вызовов / Под редакцией Ю.Г. Лавриковой, А.Ю. Усковой // Российская академия наук. Уральское отделение. Институт экономики. Екатеринбург, 2023. 119 с.

⁸ После распада СССР демографические потери России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/politics/articles/2021/12/26/902685-demograficheskie-poteri-rossii> (дата обращения: 18.11.2023).

оказали влияние и возросший уровень безработицы и низкая оплата труда в вынужденный период простоя предприятий во время карантина [16–18]. В 2022 году на фоне прекращения эпидемического распространения НКВИ и возврата к проведению профилактических мероприятий показатели как общей смертности, так и населения в трудоспособном возрасте снизились, но так и не достигли доковидного периода.

В УрФО и СО остро стоит проблема «сверхсмертности» мужчин, превышающая смертность женщин в 3,5 раза. Это явление характерно для России в целом и связано с комплексом факторов, в том числе с более длительным трудовым периодом, большей занятостью мужчин на работах в контакте с вредными производственными факторами [19]. Несомненно, оказывает влияние и меньшая приверженность мужчин здоровому образу жизни. Они чаще и больше курят, употребляют алкоголь в 3 раза больше женщин, и как раз эти причины приводят к ранней смертности, преимущественно от сердечно-сосудистых заболеваний [20]. Вместе с тем наметилась тенденция к опережению темпа роста смертности женщин трудоспособного возраста (5,9 против 5,7 % среди мужчин), что требует проведения дальнейших исследований.

В структуре причин смерти населения трудоспособного возраста, в т. ч. мужского, лидируют болезни системы кровообращения, внешние причины и новообразования. Ведущими причинами смерти женщин являются новообразования, болезни системы кровообращения и некоторые инфекционные и паразитарные заболевания. По данным ВОЗ, в глобальных масштабах на девушек подросткового возраста и молодых женщин приходится два из каждых трех новых случаев ВИЧ-инфекции, таким образом, для женщин трудоспособного возраста серьезными угрозами для жизни и здоровья остаются ВИЧ и туберкулез [21, 22].

Сохраняющаяся проблема сверхсмертности в трудоспособном возрасте, особенно среди мужского населения, требует разработки дополнительных мер по сохранению и укреплению здоровья работников. Одной из активных мер, доказавших свою эффективность, является внедрение на предприятиях корпоративных программ по улучшению здоровья своих работников. Улучшение условий труда, внедрение новых технологий, медицинская помощь, организованная по цеховому принципу, сопровождается достоверным снижением смертности, уменьшением разрыва между смертностью мужчин и женщин, а также числа смертей в молодом возрасте [23].

Только государственных мер для решения проблемы снижения смертности населения трудоспособного возраста явно недостаточно. Требуется более широкое проведение предприятиями корпоративных программ для сохранения жизни и здоровья

Заключение. Смертность населения в трудоспособном возрасте в УрФО и Свердловской области превышает средний уровень по Российской Федерации и имеет тенденцию к росту. Сохраняющаяся в УрФО и СО проблема сверхсмертности населения трудоспособного возраста требует разработки мер

по сохранению и укреплению здоровья населения. Снижение показателей смертности в трудоспособном возрасте потребует, как увеличения государственных вложений, так и развития корпоративной медицины, объединения усилий работодателей, работников и органов власти по улучшению здоровья и благополучия трудоспособного населения в процессе труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухтияров И.В. Современное состояние и основные направления сохранения и укрепления здоровья работающего населения России // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 9. С. 527–532.
2. Щур А.Е., Соколова В.В., Тимонин С.А. Смертность трудоспособного населения России в начале XXI века: есть ли повод для оптимизма? Демографическое обозрение / Demographic Review 2023. Т. 10. № 4. С. 4–51. doi: 10.17323/demreview.v10i4.18807
3. Guillemot JR, Zhang X, Warner ME. Population aging and decline will happen sooner than we think. *Soc Sci.* 2024;13(4):190. doi: 10.3390/socsci13040190
4. Тихонова Г.И., Горчакова Т.Ю. Проблемы здоровья населения трудоспособного возраста и его информационного обеспечения // Вестник Южно-Российского государственного технического университета. Серия: Социально-экономические науки. 2022. Т. 15. № 4. С. 228–245. doi: 10.17213/2075-2067-2022-4-228-245. EDN BMOXOC.
5. Lewer D, Jayatunga W, Aldridge RW, et al. Premature mortality attributable to socioeconomic inequality in England between 2003 and 2018: An observational study. *Lancet Public Health.* 2020;5(1):e33–e41. doi: 10.1016/S2468-2667(19)30219-1
6. Schaap R, Schaafsma FG, Bosma AR, Huysmans MA, Boot CRL, Anema JR. Improving the health of workers with a low socioeconomic position: Intervention Mapping as a useful method for adaptation of the Participatory Approach. *BMC Public Health.* 2020;20(1):961. doi: 10.1186/s12889-020-09028-2
7. Бухтияров И.В., Тихонова Г.И., Бетц К.В., Брылёва М.С., Горчакова Т.Ю., Чуранова А.Н. Заболеваемость, инвалидность и смертность населения трудоспособного возраста в России // Медицина труда и промышленная экология. 2022. Т. 62. № 12. С. 791–796. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796/
8. Фешина М.Н. Характеристика социально-экономического развития Уральского федерального округа // Актуальные вопросы современной экономики. 2021. № 2. С. 231–237. doi: 10.34755/IROK.2021.62.98.030
9. Лакман И.А., Аскарлов Р.А., Тимирьянова В.М., Аскарлова З.Ф. Пространственное моделирование смертности трудоспособного населения Республики Башкортостан // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 12. С. 7–16. doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-12-7-16
10. Берендеева А.Б., Сизова О.В. Анализ факторов смертности населения в трудоспособном возрасте в регионах Российской Федерации методом моделирования // Теоретическая экономика. 2020. Т. 4. № 64. С. 11–24.
11. Miladinov G. The mechanism between mortality, population growth and ageing of the population in the European lower and upper middle income countries. *PLoS One.* 2021;16(10):e0259169. doi: 10.1371/journal.pone.0259169
12. Grebeniyk A, Aleshkovski I, Maksimova A. The impact of labor migration on human capital development.

- Migraciones Internacionales*. 2021;12:13. doi: 10.33679/rmi.v1i1.2190
13. Горошко Н.В., Пацала С.В., Емельянова Е.К. Смертность трудоспособного населения России в условиях пандемии COVID-19. Социальные аспекты здоровья населения [сетевое издание] 2022. Т. 68. № 5. С. 1. doi: 10.21045/2071-5021-2022-68-5-1
 14. COVID-19 Excess Mortality Collaborators. Estimating excess mortality due to the COVID-19 pandemic: A systematic analysis of COVID-19-related mortality, 2020–21. *Lancet*. 2022;399(10334):1513–1536. doi: 10.1016/S0140-6736(21)02796-3
 15. Timonin S, Klimkin I, Shkolnikov VM, Andreev E, McKee M, Leon DA. Excess mortality in Russia and its regions compared to high income countries: An analysis of monthly series of 2020. *SSM Popul Health*. 2021;17:101006. doi: 10.1016/j.ssmph.2021.101006
 16. Yoshioka E, Hanley SJB, Sato Y, Saijo Y. Impact of the COVID-19 pandemic on suicide rates in Japan through December 2021: An interrupted time series analysis. *Lancet Reg Health West Pac*. 2022;24:100480. doi: 10.1016/j.lanwpc.2022.100480
 17. Matsumoto R, Motomura E, Okada M. Impacts of complete unemployment rates disaggregated by reason and duration on suicide mortality from 2009–2022 in Japan. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(20):2806. doi: 10.3390/healthcare11202806
 18. Penninx B, Benros ME, Klein RS, Vinkers CH. How COVID-19 shaped mental health: From infection to pandemic effects. *Nat Med*. 2022;28(10):2027–2037. doi: 10.1038/s41591-022-02028-2
 19. Baker P, Shand T. Men's health: Time for a new approach to policy and practice? *J Glob Health*. 2017;7(1):010306. doi: 10.7189/jogh.07.010306
 20. Усачева Е.В., Нелидова А.В., Куликова О.М., Флянку И.П. Смертность трудоспособного населения России от сердечно-сосудистых заболеваний // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 2. С. 159–165. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-159-165
 21. Черняев И.А., Цветков А.И., Чугаев Ю.П., Чернавин П.Ф. Анализ динамики значений основных эпидемиологических показателей по туберкулезу в Свердловской области в 2010–2021 гг. // Медицинская наука и образование Урала. 2024. Т. 25. № 1(117). С. 97–103. doi: 10.36361/18148999_2024_25_1_97. EDN YYQHKF
 22. Murewanhema G, Musuka G, Moyo P, Moyo E, Dzimarira T. HIV and adolescent girls and young women in sub-Saharan Africa: A call for expedited action to reduce new infections. *IJID Reg*. 2022;5:30–32. doi: 10.1016/j.ijregi.2022.08.009
 23. Концевая А.В., Анциферова А.А., Иванова Е.С., Драпкина О.М. Разработка пакета инструментов планирования и внедрения корпоративных программ укрепления здоровья в организационных коллективах // Экология человека. 2021. № 7. С. 58–64. doi: 10.33396/1728-0869-2021-7-58-64
 24. Guillemot JR, Zhang X, Warner ME. Population aging and decline will happen sooner than we think. *Soc Sci*. 2024;13(4):190. doi: 10.3390/socsci13040190
 25. Tikhonova GI, Gorchakova TYu. Problems of the health status of the working-age population and its information support. *Vestnik Yuzhno-Rossiyskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Sotsial'no-Ekonomicheskie Nauki*. 2022;15(4):228–245. (In Russ.) doi: 10.17213/2075-2067-2022-4-228-245
 26. Lewer D, Jayatunga W, Aldridge RW, et al. Premature mortality attributable to socioeconomic inequality in England between 2003 and 2018: An observational study. *Lancet Public Health*. 2020;5(1):e33–e41. doi: 10.1016/S2468-2667(19)30219-1
 27. Schaap R, Schaafsma FG, Bosma AR, Huysmans MA, Boot CRL, Anema JR. Improving the health of workers with a low socioeconomic position: Intervention Mapping as a useful method for adaptation of the Participatory Approach. *BMC Public Health*. 2020;20(1):961. doi: 10.1186/s12889-020-09028-2
 28. Bukhtiyarov IV, Tikhonova GI, Betts KV, Bryleva MS, Gorchakova TYu, Churanova AN. Morbidity, disability and mortality of the working-age population in Russia. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2022;62(12):791–796. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796
 29. Feshina MN. Characteristics of the socio-economic development of the Ural Federal District. *Aktual'nye Voprosy Sovremennoy Ekonomiki*. 2021;(2):231–237. (In Russ.) doi: 10.34755/IROK.2021.62.98.030
 30. Lakman IA, Askarov RA, Timiryanova VM, Askarova ZF. Spatial modeling of mortality of the working-age population in the Republic of Bashkortostan. *Zdorov'ye Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(12):7–16. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-12-7-16
 31. Berendeeva AB, Sizova OV. Analysis of factors of mortality of population in the labor age in the regions of the Russian Federation by the model of modeling. *Teoreticheskaya Ekonomika*. 2020;(4(64)):11–24. (In Russ.)
 32. Miladinov G. The mechanism between mortality, population growth and ageing of the population in the European lower and upper middle income countries. *PLoS One*. 2021;16(10):e0259169. doi: 10.1371/journal.pone.0259169
 33. Grebeniyk A, Aleshkovski I, Maksimova A. The impact of labor migration on human capital development. *Migraciones Internacionales*. 2021;12:13. doi: 10.33679/rmi.v1i1.2190
 34. Goroshko NV, Patsala SV, Emelyanova EK. Mortality among working-age population in Russia under conditions of the COVID-19 pandemic. *Sotsial'nye Aspekty Zdorov'ya Naseleniya*. 2022;68(5):1. (In Russ.) doi: 10.21045/2071-5021-2022-68-5-1
 35. COVID-19 Excess Mortality Collaborators. Estimating excess mortality due to the COVID-19 pandemic: A systematic analysis of COVID-19-related mortality, 2020–21. *Lancet*. 2022;399(10334):1513–1536. doi: 10.1016/S0140-6736(21)02796-3
 36. Timonin S, Klimkin I, Shkolnikov VM, Andreev E, McKee M, Leon DA. Excess mortality in Russia and its regions compared to high income countries: An analysis of monthly series of 2020. *SSM Popul Health*. 2021;17:101006. doi: 10.1016/j.ssmph.2021.101006
 37. Yoshioka E, Hanley SJB, Sato Y, Saijo Y. Impact of the COVID-19 pandemic on suicide rates in Japan through December 2021: An interrupted time series analysis. *Lancet Reg Health West Pac*. 2022;24:100480. doi: 10.1016/j.lanwpc.2022.100480

REFERENCES

1. Bukhtiyarov IV. Current state and main directions of preservation and strengthening of health of the working population of Russia. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(9):527–532. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-527-532
2. Shchur AE, Sokolova VV, Timonin SA. Midlife mortality in Russia at the beginning of the 21st century: Is there any reason for optimism? *Demograficheskoe Obozrenie*. 2023;10(4):4–51. (In Russ.) doi: 10.17323/demreview.v10i4.18807

17. Matsumoto R, Motomura E, Okada M. Impacts of complete unemployment rates disaggregated by reason and duration on suicide mortality from 2009–2022 in Japan. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(20):2806. doi: 10.3390/healthcare11202806
18. Penninx B, Benros ME, Klein RS, Vinkers CH. How COVID-19 shaped mental health: From infection to pandemic effects. *Nat Med*. 2022;28(10):2027–2037. doi: 10.1038/s41591-022-02028-2
19. Baker P, Shand T. Men's health: Time for a new approach to policy and practice? *J Glob Health*. 2017;7(1):010306. doi: 10.7189/jogh.07.010306
20. Usacheva EV, Nelidova AV, Kulikova OM, Flyanku IP. Mortality of Russian able-bodied population from cardiovascular diseases. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(2):159–165. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-159-165
21. Cherniaev IA, Tsvetkov AI, Chugaev YuP, Chernavin PF. Analysis of the dynamics of the values of the main epidemiological indicators of tuberculosis in the Sverdlovsk region in 2010–2021. *Meditinskaya Nauka i Obrazovanie Urala*. 2024;25(1(117)):97–103. (In Russ.) doi: 10.36361/18148999_2024_25_1_97
22. Murewanhema G, Musuka G, Moyo P, Moyo E, Dzina-marira T. HIV and adolescent girls and young women in sub-Saharan Africa: A call for expedited action to reduce new infections. *IJID Reg*. 2022;5:30–32. doi: 10.1016/j.ijregi.2022.08.009
23. Kontsevaya AV, Antsiferova AA, Ivanova ES, Drapkina OM. Development of the set of tools and implementation of workplace well-being programs. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2021;7(7):58–64. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2021-7-58-64

Сведения об авторах:

✉ **Рослая** Наталья Алексеевна – д-р мед. наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; ведущий научный сотрудник НПО Лабораторно-диагностических технологий ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: naroslaya@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9076-9742>.

Гекман Елена Владимировна – студентка 5-го курса лечебно-профилактического факультета ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: e_gekman@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9578-7357>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Рослая Н.А.*; сбор и анализ данных: *Гекман Е.В.*; интерпретация результатов: *Рослая Н.А.*; подготовка рукописи: *Рослая Н.А., Гекман Е.В.* Оба автора рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 20.08.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

✉ **Natalia A. Roslaya**, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Public Health and Healthcare, Ural State Medical University; Leading Researcher Department "Laboratory and Diagnostic Technologies", Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: naroslaya@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9076-9742>.

Elena V. Gekman, fifth-year student, Faculty of Preventive Medicine, Ural State Medical University; e-mail: e_gekman@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9578-7357>.

Author contributions: study conception and design: *Roslava N.A.*; data collection and analysis: *Gekman E.V.*; interpretation of results: *Roslava N.A.*; draft manuscript preparation: *Roslava N.A., Gekman E.V.* Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

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

Received: August 20, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Субъективная оценка социально-гигиенических факторов профессионального долголетия механизаторов сельского хозяйства

Т.В. Темаев^{1,2}, И.Ю. Суркова^{1,3}, А.Д. Трубецков¹, Т.А. Богомолова¹

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

² ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», ул. Астраханская, д. 83, г. Саратов, 410012, Российская Федерация

³ Поволжский институт управления имени П.А. Столыпина – филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», ул. Московская, д. 164, г. Саратов, 410012, Российская Федерация

Резюме

Введение. Общемировая тенденция старения населения и трансформация профессиональных маршрутов молодежи в агропромышленном комплексе актуализируют исследование влияния социально-гигиенических факторов на профессиональное долголетие механизаторов сельского хозяйства.

Цель исследования: определить субъективные социально-гигиенические факторы, влияющие на принятие решения о продолжении профессиональной трудовой деятельности механизаторов сельского хозяйства, в том числе и в третьем возрасте.

Материалы и методы. В 2023–2024 гг. оценен индекс трудоспособности ($n = 121$), проведено эмпирическое социологическое количественное исследование ($n = 102$). Также проведено качественное социологическое исследование (глубинное интервью) с механизаторами сельского хозяйства ($N = 28$).

Результаты. Сконструированы три оценочных блока, определяющие профессиональное долголетие:

1. Социально-экономический (семейное положение, доход, жилищно-бытовые условия). Количественные данные свидетельствуют о семейности (75 %) респондентов, проживающих с детьми или внуками (59 %), имеющими частный дом (45 %) с личным подсобным хозяйством или квартиру (45 %). Доход 50 % респондентов составляет от 20 до 35 тыс. рублей на человека, 32 % – от 36 до 50 тыс. рублей.

2. Психолого-физиологический (степень профессионального выгорания, здоровье). Средний стаж опрошенных составил 31,2 года, у большинства (65 %) опрошенных трудовая деятельность по выбранной профессии началась с 18–20 лет. У 32% опрошенных трудовая деятельность началась до 18 лет.

3. Мотивационный. Основными причинами активной трудовой жизни в пенсионный период является, во-первых, улучшение материального положения – 28,9 % и ожидаемый небольшой размер пенсии – 24,7 %. Во-вторых, в сельском хозяйстве фиксируется отсутствие дискриминационных практик на рабочих местах, связанных с возрастом.

Выводы. Для механизаторов предпенсионного возраста определяющим фактором, влияющим на профессиональное долголетие, является гигиенический (состояние здоровья и условия труда). Мотивирующие факторы (возможности карьерного роста, профессиональное развитие, размер заработной платы) предпочтительны для представителей среднего возраста, количество которых невелико.

Ключевые слова: механизаторы сельского хозяйства, трудовое долголетие, условия труда, занятость, пожилой возраст.

Для цитирования: Темаев Т.В., Суркова И.Ю., Трубецков А.Д., Богомолова Т.А. Субъективная оценка социально-гигиенических факторов профессионального долголетия механизаторов сельского хозяйства // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 15–25. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-15-25

Self-Assessed Social and Health Determinants of Working Life Expectancy in Agricultural Mechanics

Timur V. Temaev,^{1,2} Irina Yu. Surkova,^{1,3} Alexey D. Trubetskov,¹ Tatiana A. Bogomolova¹

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

² Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky, 83 Astrakhanskaya Street, Saratov, 410012, Russian Federation

³ Volga Region Institute of Management named after P.A. Stolypin – branch of the Russian Academy of National Economy and Public Administration, 164 Moskovskaya Street, Saratov, 410012, Russian Federation

Summary

Introduction: The global trend of population ageing and transformation of professional routes of young people in the agro-industrial complex make the study of effects of social and health factors on working life expectancy of agricultural equipment operators especially relevant.

Objective: To establish subjective social and health-related factors influencing the decision to continue working as agricultural mechanics by age groups.

Materials and methods: In 2023–2024, we established the work ability index ($n = 121$), conducted an empirical sociological quantitative study ($n = 102$) and a qualitative sociological study (in-depth interview, $n = 28$) of agricultural mechanics.

Results: Three blocks of determinants of working life expectancy have been established as follows:

1. Socioeconomic, including marital status, income, housing and living conditions. Quantitative data indicate that 75 % of the respondents have families, 59 % live with children or grandchildren, 45 % own a private house with a personal subsidiary farm, and 45 % live in an apartment. Per capita income of 50 % of the respondents varies from 20 to 35 thousand rubles and of 32 % – from 36 to 50 thousand rubles.

2. Psychological and physiological, including job burnout and health. The mean duration of current employment of the respondents equals 31.2 years. The majority (65 %) started working between the ages of 18 to 20, while 32 % of the respondents began working before they turned 18.

3. Motivational. The main reasons to continue working after retirement are extra money (28.9 %) and financial necessity (24.7 %) due to the expected small pension, as well as the opportunity to work owing to the absence of age-related discriminatory practices in agriculture.

Conclusions: Health status and working conditions are the determinants of working life expectancy of mechanists of pre-retirement age while motivational factors, such as career growth opportunities, professional development, and salary are of greater value for middle-aged agricultural equipment operators, the number of whom is small.

Keywords: agricultural mechanics, working life expectancy, working conditions, employment, old age.

Cite as: Temaev TV, Surkova IYu, Trubetskov AD, Bogomolova TA. Self-assessed social and health determinants of working life expectancy in agricultural mechanics. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):15–25. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-15-25

Введение. Развитие сельских территорий в нашей стране всегда было приоритетной задачей государства, которая остается актуальной и сегодня, демонстрируя современную специфику. Справедливо подчеркивают исследователи, что в сельской местности наблюдается деформация возрастной структуры населения, смещение в сторону лиц третьего возраста [1], что обусловлено не только характерными признаками старения населения, такими как снижение рождаемости и ростом средней продолжительности жизни, но продолжающейся миграцией экономически активной части населения. В связи с этим остро встает вопрос кадрового дефицита, особенно в современных международных общественно-политических и экономических реалиях. И, конечно, актуализируется направление государственной социальной политики в сфере воспроизводства трудовых ресурсов за счет привлечения в данную сферу молодежи и сохранения трудового потенциала стажеров работников.

В научном дискурсе проблема трудовых ресурсов и профессионального долголетия в сельском хозяйстве освещена достаточно подробно. Исследователями подчеркивается зарождение в сельских регионах предпосылок формирования эйджинговой модели экономики, так как каждый пятый сельский житель продолжает трудовую деятельность в пенсионный период [1]. Актуализируется необходимость воссоздания экономически активной части сельского населения, то есть работающего населения в трудоспособном возрасте [2]. Подчеркивается, что обеспечение производственного процесса оптимальным по количеству и качеству кадровым составом конкретных профессиональных групп является залогом успешного функционирования всей сферы [3].

Также, обращение к научной литературе позволяет определить круг проблемных зон, напрямую связанных с удержанием и/или привлечением молодежи в сельское хозяйство. Демографический ракурс изучаемой проблемы свидетельствует о том, что причиной сокращения трудовых ресурсов является прогрессирующая естественная убыль сельского населения ($R^2 = 0,905$), а также сохраняющийся волнообразный миграционный отток ($R^2 = 0,268$) экономически активного, то есть молодого, населения в федеральные, областные

и крупные районные центры [4]. По данным Росстата за 2023 год, сельское население составляет всего 25 % от общей численности, отток сельского населения составил 1 101 986 человек, при этом большая часть миграционных потоков зафиксирована в пределах Российской Федерации, практически половина из которых – 663 396 человек переселились в пределах своего региона – в административные центры¹. SWOT-анализ, проведенный С.А. Тимошенко, показывает, что слабыми сторонами воспроизводства трудовых ресурсов для сельского хозяйства в настоящее время являются демографический кризис, разрушительные структурные изменения отрасли, непривлекательность аграрной сферы для молодежи, устаревшая материально-техническая база для обучения в профильных вузах, низкая заработная плата, отсутствие социальной инфраструктуры на селе [2]. Все это подталкивает сельских жителей к поиску более комфортных условий жизнедеятельности, при этом если представители старшего поколения еще ориентированы на функционирование в рамках сельской местности, то своих детей и внуков они направляют на учебу в город с последующим закреплением в городском социальном пространстве.

Одной из ведущих профессиональных групп в агропромышленном комплексе (АПК) являются трактористы-машинисты (далее механизаторы сельского хозяйства). Сегодня большинство из них – представители предпенсионной или третьевозрастной групп населения, которые большую часть жизни прожили в деревне и свою профессиональную траекторию выстраивали в параметрах сельскохозяйственной деятельности [2]. Особое внимание исследователи уделяют контекстуальным деталям осуществления профессиональной деятельности механизаторов, где условия труда и факторы вредности, отличаясь друг от друга, характеризуются яркой выраженностью. Так, исследуя данную профессиональную группу, коллектив авторов подчеркивает, что их труд, с учетом комплексного воздействия факторов рабочей среды и трудового процесса, относится к 3.2–3.4 классам [5]. Их трудовая деятельность характеризуется напряженностью функций внимания, зрительного и слухового анализатора, связанных с необходимостью точного вождения агрегата (особенно при посеве и уборке зерновых) и восприятии дифференцированных сигналов на фоне выраженных

¹ Численность и миграция населения Российской Федерации в 2023 году // Сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Bul_migr_2023.xlsx (дата обращения: 07.09.2024).

шумовых помех, а также нервно-эмоциональным напряжением, связанным с профессиональными и экологическими факторами [6]. В связи с этим большую актуальность приобретает вопрос об исследовании качества жизни данной профессиональной группы на селе и факторах влияния на повышение трудового долголетия, в том числе и на пенсионный период. К тому же изучение социальных, экономических, профессиональных и личностных причин продолжения работы в третьем возрасте приобретает особую актуальность и значимость в условиях очередного кризиса АПК [7, 8]. А складывающаяся, с февраля 2022 года, международная политическая и социально-экономическая обстановка, характеризующаяся повышенной потребностью в кадрах во многих отраслях народного хозяйства, актуализирует такие направления исследования, как привлечение и удержание молодежи в современном АПК, обеспечение трудового долголетия, а также влияние на это мотивационных факторов, в том числе здоровьесберегающих условий труда.

Целью данной статьи является определение субъективных социально-гигиенических факторов, влияющих на принятие решения о продолжении профессиональной деятельности механизаторов сельского хозяйства, в том числе и в третьем возрасте.

Теоретическая база

Для анализа факторов, влияющих на стабильность в профессиональной сфере работников сельского хозяйства, мы обратились к двухфакторной теории Ф. Герцберга, в которой основной упор делается на том, что неудовлетворенность работой не тоже самое, что удовлетворенность работой только со знаком минус. Факторы, попадающие в эти две категории, могут не пересекаться [9]. Все факторы, оказывающие влияние на работу сотрудника, подразделяются, по мнению Ф. Герцберга, на гигиенические (справедливое распределение заработной платы, технические аспекты руководства, условия работы, ее надежность, стабильность, общий административный стиль управления) и мотивирующие (потребности работника в самореализации на рабочем месте, профессионального роста, достижения, продвижении по службе, признания и ответственности). То есть, с одной стороны, мотиваторы связаны с избеганием неприятностей, а с другой – с целедостижительностью. Основное значение двухфакторной теории заключается в том, что гигиенические факторы являются, безусловно, важными, но для привлечения и удержания работников важны и мотиваторы, но только в том случае, когда основные потребности уже удовлетворены.

Исходя из этой модели, в первую очередь мы проанализировали социально-экономические и бытовые/жилищные условия механизаторов, а также показатели их самочувствия и самооценку здоровья, а уже во вторую, их психологическое состояние и факторы на него влияющие.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели в 2023–2024 году на базе Саратовского медицинского научного центра гигиены ФБУН

«Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в рамках углубленного медицинского осмотра были проведены следующие исследования.

1. Оценка индекса трудоспособности (WAI) [10] посредством анкетирования ($n = 121$, выборка – сплошная). Респондентами выступили представители сельских профессий (механизаторы) г. Саратова и области (мужчины составили 100 %). Основными разделами анкеты, на которые опирались авторы статьи, были оценка собственной трудоспособности и продолжительность планируемой трудовой активности.

2. Количественное социологическое исследование «Идентификация профессиональных и медико-социальных факторов и субъективной оценки их влияния на профессиональное трудовое долголетие механизаторов сельского хозяйства» (анкетный опрос, $n = 102$, выборка – сплошная). Респондентами выступили представители сельских профессий (механизаторы) г. Саратова и области (мужчины составили 100 %). Смещение выборки обосновано тем, что механизаторы сельского хозяйства представлены в основном мужчинами. Полученные количественные данные обработаны с применением статистического пакета программ SPSS 23. Номинальные данные описывались с указанием процентных долей, границ 95%-го доверительного интервала (95 % ДИ), рассчитанного с помощью онлайн-калькулятора по методу Wilson².

3. Качественное социологическое исследование (глубинное интервью). В качестве респондентов выступили механизаторы сельского хозяйства мужского пола, работающие на агропромышленном предприятии в г. Саратов и Саратовской области, в возрасте 37–62 лет ($n = 28$), со стажем работы от 13 до 40 лет. В качестве эксперта в исследовании выступил ведущий научный сотрудник лаборатории анализа медико-социальных проблем, отдела медицины труда данного учреждения, со стажем работы более 20 лет. Транскрибированные полученные данные изучались с использованием традиционного интерпретативного метода анализа документов.

Все исследования имеют профессиональные (механизаторы сельского хозяйства) ограничения.

Результаты. Данные качественных исследований сразу обозначили тенденцию старения кадров в сельском хозяйстве. Данная проблема конструируется с двух сторон, опосредованных основными акторами, влияющими на принятие решения молодыми людьми о возможности работы в сельском хозяйстве (в данном случае механизаторами): референтная группа сверстников, а также близкое окружение родителей и родственников. В первом случае речь идет о стереотипах, имеющих отношение к престижности профессии, выборе «удачной» или «одобряемой» профессиональной траектории, которые культивируются в молодежной группе. Деформация траекторий традиционной занятости, в сторону интеллектуальной занятости, гибкости графиков и удаленного труда меняют об-

² Веб-сайт с объяснениями и демонстрациями распространенных статистических явлений. Он также содержит калькуляторы для расчета различных статистических величин. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.compadre.org/portal/items/detail.cfm?ID=237> (дата обращения: 25.06.2024).

лик предпочитаемого места работы, молодежь все чаще выбирает профессию по принципу комфортности, возможности самореализации и интереса. Сельскохозяйственные профессии с точки зрения опрошенных нами механизаторов не входят в перечень престижных профессий для современных молодых людей, несмотря на высокую востребованность.

Р. (респондент): Среди молодежи почти никто эту профессию для себя не рассматривает. Им бы блогерами быть, интернет с утра до ночи смотреть, а здесь работать надо – не модно сейчас это слово, не престижно... (Механизатор, 37 лет, стаж работы 15 лет, 2023).

После окончания школы часть сельских молодых людей продолжают обучение в вузах или сузах города, а другая часть трудоустраивается в сферу сельского хозяйства. По результатам нашего исследования, надолго они там не задерживаются.

Р.: Молодежь долго не держится. Тяжело, да, тяжело.

И. (интервьюер): То есть даже если это деревенские ребята, и все равно не желают работать, да?

Р.: Все стараются уехать в город (Механизатор, 40 лет, стаж работы 20 лет, 2023).

Действительно, агропромышленный комплекс сегодня продолжает терять молодые кадры, во многих населенных пунктах молодежи не остается вовсе, сельское хозяйство держится только на старших возрастных группах.

И.: А молодежь идет в вашу профессию?

Р.: Да у нас нет молодежи, в селе нет молодежи, там нет никого. Вот мы еще доработаем, и, наверное, некому больше работать (Механизатор, 54 год, стаж работы 30 лет, 2023).

Во втором случае большое влияние на профессиональный выбор детей оказывают родители и близкие родственники, работающие в сельском хозяйстве всю свою жизнь. Они изначально пытаются создать все условия для того, чтобы дать ребенку больше возможностей для профессиональной самореализации, чем у них, расчистить любыми способами дорогу в город, чтобы их потенциал реализовывался в сферах, не связанных с агропромышленным комплексом. Это объясняется прежде всего низким качеством жизни во многих сельских поселениях, отсутствием доступа к социальным и культурным социальным институтам, плохой дорожной инфраструктурой, минимальными возможностями получения медицинской помощи, в части деревень до сих пор нет центральной водоснабжения, проблемы с подачей газа, элементарные удобства до сих пор находятся во дворе не только в частном секторе, но и, например, в библиотеках, клубах. Действует принцип: я хочу, чтобы мой ребенок жил лучше, чем я.

И.: Не хотели, чтобы он (сын) тоже стал механизатором?

Р.: Не хотел бы, чтобы он в деревне жил. Сейчас в деревне делать нечего, что он будет в деревне делать? Работы нет, все развалилось. Коллективы дружные были раньше, не то что сейчас, коллективы... сброд один, пьют (Механизатор, 58 лет, стаж работы 40 лет, 2023).

Р.: В принципе, в деревне больше нечего делать, нет там села уже, полдеревни нет уже, клуба нет, детсада нету, школы нету (Механизатор, 58 лет, стаж работы 30 лет, 2023).

Результаты исследования показывают, что в сельской местности по-прежнему отсутствует альтернатива профессиональных маршрутов для механизаторов, как молодых (при минимальных возможностях профессионального и личностного развития), так и работников предпенсионного и пенсионного возрастов, желающих продолжить трудовую деятельность (отсутствие мест работы с менее напряженными условиями труда).

И.: А у вас еще работа где-то есть в поселке?

Р.: Нет (Механизатор, 62 года, стаж работы 13 лет, 2023).

Р.: Выхода нет – работать нужно, в город я не могу, я деревенский парень, я в нем жить не смогу, выбора нет (Механизатор, 40 лет, стаж работы 20 лет, 2023).

Р.: У нас земля своя, вот в чем дело-то. Фермерское хозяйство, куда я от него (Механизатор, 55 лет, стаж работы 29 лет, 2023).

Несмотря на однозначные ответы, констатирующие личное нежелание трудиться в сельском хозяйстве стажеров работников и выталкивание ими собственных детей из этой сферы, для целей нашего исследования было важно определить факторы, влияющие не только на выбор профессии механизаторов, но и на профессиональное долголетие. В данном случае были использованы результаты количественных исследований, которые позволили синтезировать три оценочных блока в соответствии с двухфакторной моделью Ф. Герцберга.

1. Социально-экономический (семейное положение, доход, жилищно-бытовые условия). На выбор места работы и профессиональное долголетие во многом влияют такие факторы, как семейное положение, финансовая стабильность, условия жизни на селе. По результатам нашего исследования большинством респондентов оказались семейными – 75 % (95 % ДИ: 64,2–81,1), и только 25 % (95 % ДИ: 17,1–33,6) одиночками (3,3 % (95 % ДИ: 1–8) – холостых, 5,8 % (95 % ДИ: 2,4–12,2) – вдовцов, 15,7 % (95 % ДИ: 9,1–22,8) – разведенных). 59 % (95 % ДИ: 48,1–66,9) опрошенных женатых механизаторов проживают с детьми или внуками. С одной стороны, жизнь в расширенной семье является «подушкой безопасности», благодаря которой можно позволить себе уйти на пенсию и использовать семейные ресурсы для воспроизводства благополучной жизнедеятельности, отвечающей основным потребностям респондентов. Об этом свидетельствуют результаты качественных исследований.

Р.: Я просто дорабатываю до пенсии, смысла оставаться на работе не вижу. У меня большая семья, буду заниматься внуками и домашним хозяйством, от меня там больше пользы будет (Механизатор, 58 лет, стаж работы 34 года, 2023).

С другой стороны, совместное проживание выступает свидетельством экономической созависимости и выполняет роль дополнительной мотивации продолжения профессиональной деятельности в пенсионный период.

Р.: Я кормилец в семье, куда мне уходить, на что мы жить будем. Внуков нужно поднимать, у дочки с деньгами туго, мы с женой помогаем чем можем, а как механизатор я за сезон хорошо зарабатываю (Механизатор, 44 года, стаж работы 22 года, 2023).

Активность в профессиональной сфере сельского хозяйства во многом связана с жилищно-бытовыми условиями, поскольку респонденты проживают в разных жилых помещениях, с различным уровнем и качеством коммунальных услуг, удаленностью от административных центров с развитой инфраструктурой. Так, 45 % (95 % ДИ: 34,8–53,8) опрошенных механизаторов имеют собственный частный дом со всеми удобствами; 9 % (95 % ДИ: 4,7–15,9) – без удобств; 45 % (95 % ДИ: 34,8–53,8) – имеют свою квартиру. Все респонденты, проживающие в частном секторе, имеют личное подсобное хозяйство (ЛПХ), для большей части жителей многоквартирных домов открыта возможность для возделывания приусадебных участков или наделов в дачных товариществах – 67 % (95 % ДИ: 56,0–74,1) респондентов. Из них 34 % (95 % ДИ: 24,9–42,9) трудятся на огороде, держат птицу и скот, у 6 % (95 % ДИ: 2,7–12,2) опрошенных имеется только огород и птица, 11 % (95 % ДИ: 6,1–18,2) разводят только птицу, 20 % (95 % ДИ: 13,0–25,3) имеют только огород. Однако, несмотря на наличие у значительной части респондентов подсобных хозяйств, для подавляющего большинства опрошенных (95,8 % (95 % ДИ: 86,5–96,6)) это не является основным источником дохода. Практически все респонденты считают продукцию со своих участков хорошим подспорьем для семейного бюджета, но основным источником дохода считают заработную плату.

Интерес для нас представляет соотношение уровня доходности респондентов на каждого члена семьи с реальными потребностями. Оказалось, что доход 50 % (95 % ДИ: 39,5–58,5) респондентов составляет от 20 до 35 тыс. рублей на человека, 32 % (95 % ДИ: 23,1–40,9) – от 36 до 50 тыс. руб. и только 9 % (95 % ДИ: 0,4–15,9) указали, что ежемесячный доход выше 50 тыс. рублей. При этом, 43 % (95 % ДИ: 33,0–51,8) опрошенных отметили, что заработанных материальных средств им хватает только на еду и одежду, 29 % (95 % ДИ: 20,5–37,8) респондентов определили, что могут тратить деньги на вещи длительного пользования, 6,6 % (95 % ДИ: 3,3–13,4) подчеркнули, что им хватает только на еду и лишь у 3,3 % нет материальных трудностей. Данные оценки свидетельствуют о том, что в целом доход механизаторов является средним по региону. При этом анализ потребительского поведения механизаторов в рамках качественного исследования свидетельствует о наличии у них дополнительных расходов, так как значительная часть заработной платы тратится на обеспечение условий жизни в частном доме, особенно при отсутствии коммунальных удобств (отопление, водоснабжение/водоотведение, газификация), а также содержание ЛПХ и получение услуг в административных центрах, удаленных от их места жительства.

2. Психолого-физиологический (степень профессионального выгорания, здоровье). Длительность

работы по одной специальности/сфере деятельности/организации во многом опосредована объективными факторами, связанными с наличием заболеваний, в том числе профессиональных, а также социально-психологическим самочувствием, возможным эмоциональным выгоранием на работе. Существует прямая зависимость между условиями труда, стажем работы, самочувствием, самооценкой и состоянием здоровья. Так, средний стаж опрошенных составил 31,2 года, где минимальное значение оказалось – 6 лет, а максимальное – 54 года. У большинства (65 % (95 % ДИ: 54,0–72,4) опрошенных трудовая деятельность по выбранной профессии началась с 18–20 лет. У 32 % (95 % ДИ: 23,1–40,9) опрошенных трудовая деятельность началась до 18 лет. Соответственно все респонденты начали трудовую деятельность механизаторов достаточно рано и остались на длительный срок в сельском хозяйстве.

Подчеркнем, что в начале трудовой деятельности выбора профессионального маршрута не наблюдалось, о чем свидетельствуют и результаты качественных исследований. Девочки в основном шли работать на фермы доярками, а мальчики осваивали профессии трактористов, комбайнеров, водителей, поскольку основные градообразующие предприятия – это с советского времени колхозы, совхозы, а сейчас – сельскохозяйственные производственные кооперативы или фермерские крестьянские хозяйства, для которых механизаторы являются представителями основного производственного персонала.

И.: Сразу по окончании школы вы получали аттестат и права, и обучение сразу там же было, на механизатора?

Р.: Да, у нас все в селе было. Куда еще идти-то, если я в город не собирался уезжать (Механизатор, 62 года, стаж работы 13 лет, 2023).

Более того, на селе в сезон всегда активно использовался детский труд, часто без нормативного закрепления обязанностей, подростки подрабатывали на уборке урожая. Там и начинали осваивать сельскохозяйственные профессии.

И.: Сразу после школы пошли работать?

Р.: Да, ну вот сразу, я говорю, механизатором, там, получается, без трудовой работала в 90-е годы <...> ну, как бы не было вариантов. И еще, когда в школе учился, на уборочной работал (Механизатор, 45 лет, стаж работы 15 лет, 2023).

Эта ситуация вынужденного выбора во многом определяла профессиональную траекторию механизаторов до самой пенсии. А вот уже показателем перспективы продления трудовой деятельности на пенсионный период является самооценка собственного здоровья человеком. Так, большинство наших респондентов подчеркнули, что не ощущают изношенности организма, однако высказывают предположение, что возраст может повлиять на продолжение их деятельности. 45 % (95 % ДИ: 34,85–53,8) ощущают себя на свой возраст, 18 % (95 % ДИ: 11,4–26,1) – чувствуют себя моложе своего паспортного возраста, 27 % (95 % ДИ: 18,8–35,7) – утверждают, что чувствуют себя на 18 лет, 9 % (95 % ДИ: 4,7–15,9) – старше своего возраста, 5 % – (95 %

ДИ: 0,2–10,9) совсем старыми. Большинство опрошенных механизаторов – 41 % (95 % ДИ: 31,2–49,9) – предполагают, что возраст может быть, а может и не быть препятствием для работы на пенсии, тогда как 37 % (95 % ДИ: 27,6–45,9) считают, что возраст может стать препятствием, только 14 % (95 % ДИ: 8,3–21,7) предполагают, что возраст не повлияет на возможность работать на пенсии, 9 % сомневаются, что мешает.

Анализ по индексу трудоспособности (WAI) показал, что самооценка здоровья механизаторов сельского хозяйства в сфере умственных и физических требований демонстрирует высокий показатель. Так, 11,5 % (95 % ДИ: 5,1–15,5) представителей среднего возрастной группы умеренно оценили свои показатели, хорошо – 37,1 % (95 % ДИ: 23,0–39,2) и очень хорошо – 47,9 % (95 % ДИ: 31,4–48,5) соответственно. Во второй группе (предпенсионной) оценку умеренно отметили 26,4 % (95 % ДИ: 15,1–29,6) опрошенных, хорошо – 38 % (95 % ДИ: 23,8–40,1) и очень хорошо – 30,5 % (95 % ДИ: 17,9–33,1) соответственно. Несмотря на положительные показатели самочувствия и самооценки собственного здоровья, значительная часть опрошенных – 68 % (95 % ДИ: 57,0–75,0) – утверждают, что работа ухудшает их здоровье, и только 5 % (95 % ДИ: 0,2–10,9) не отметили влияния работы на здоровье. Кроме того, 81 % (95 % ДИ: 70,5–86,1) опрошенных подчеркнули вредность своей профессиональной деятельности и лишь 7,4 % (95 % ДИ: 3,3–13,4) отметили ее отсутствие.

Р.: На здоровье сильно влияет, да, там же пыль и грязь, мазут и работа с утра до ночи (Механизатор, 58 лет, стаж работы 30 лет, 2023).

Негативно оценивая уровень своего здоровья, респонденты не уходят на более легкую работу, что, с одной стороны, связано с хорошими заработками механизаторов в сезон и возможностью восстановиться в зимний период, а с другой – с дефицитом рабочих мест, что при высокой лояльности к организации, заставляет их выкладываться на работе в полях.

Р.: Ну, по состоянию здоровья, конечно, ушел бы где полегче. Если скажут: «Увольняйся», но куда я пойду, пытаюсь дождаться конца сезона. Я с неделю-две отрабатываю – мне плохо, болит, подлечусь, опять в поля. Я даже не могу полный месяц отрабатывать. У меня две грыжи, вокруг таза все сковало, левая нога – защемленный нерв. В конце октября поднял тяжелое, и еще правую ногу как защемило, и все. Даже дня не отработал, не мог больше работать, не стал ходить. А потом отлежусь и опять... (Механизатор, 62 года, стаж работы 13 лет, 2023).

Отмеченная жертвенность часто негативно сказывается на качестве жизни респондентов, в силу обстоятельств такие люди продолжают работать, но эффективность их трудовой деятельности крайне мала. Кроме того, условия труда в горячий период крайне сложные, в первую очередь из-за графика, в котором ежедневно фиксируются переработки.

Р.: График работы – это да, очень зависит от этого здоровье. Разница очень большая, когда ты

работаешь по 8 часов, а когда по 16 – очень ощутимо (Механизатор, 40 лет, стаж работы 20 лет, 2023).

Понимая сложность поиска сотрудников на должности механизаторов и учитывая важность миссии, которая возложена на сельское хозяйство, нередко респонденты даже при ухудшении самочувствия остаются на рабочем месте и не берут больничный.

Р.: Бывает, плохо становится, но кто убирать-то будет, если я больничный возьму. У нас и так все по 16 часов работают. Урожай-то убрать нужно. Ремонтники тоже сутками с работы не вылезают. Кто, если не мы. Сейчас уйдем – вообще некому работать будет (Механизатор, 53 года, стаж работы 33 года, 2023).

Как результат – высокие показатели заболеваемости, выявляющиеся в процессе ежегодного медицинского осмотра. В 2024 году он выявил следующую распространенность проблем со здоровьем механизаторов сельского хозяйства: заболевания опорно-двигательного аппарата – 71,9 % (95 % ДИ: 60–77,6), зрения и слуха – 50,4 % (95 % ДИ: 39,5–58,5), сердечно-сосудистой системы – 27,2 % (95 % ДИ: 18,8–35,7), пищеварительного тракта – 23,1 % (95 % ДИ: 15,5–31,5), органов дыхания – 14,8 % (95 % ДИ: 8,3–21,7), заболевания эндокринной системы – 14,8 % (95 % ДИ: 8,3–21,7), опухолевые заболевания – 12,4 % (95 % ДИ: 6,8–19,4), крови – 4,1 % (95 % ДИ: 1,5–9,6), расстройства психики – 9 % (95 % ДИ: 4,7–15,9), травмы в результате несчастного случая – 9,9 % (95 % ДИ: 5,1–16,2). Собственно, эти данные подтверждают сложность и напряженность работы с техникой в сельском хозяйстве, актуализируют проблему здоровьесбережения в профессиональной деятельности механизаторов, маркируют проблемы распределения нагрузки работников, графика работы и условий труда.

Помимо влияния профессиональной деятельности на здоровье, опрошенные выделили и другие факторы, оказывающие воздействие на их самочувствие. Так, все респонденты (100 % (95 % ДИ: 93,1–99,4)) обратили внимание, что на селе огромная проблема с доступностью медицинской помощи. Для 82 % (95 % ДИ: 71,6–86,9) опрошенных на самочувствие влияет активность и здоровый образ жизни. По 73 % (95 % ДИ: 62,1–79,4) респондентов обратили внимание на условия труда, экологию и сложности управления стрессом. И если с экологией на селе ситуация оптимистичная, то условия труда по-прежнему остаются тяжелыми.

По результатам наших исследований были выявлены субъективные средние показатели мер по сохранению здоровья: регулярные медосмотры (68,2 % (95 % ДИ: 57–75)), спорт и физическая активность (22,7 % (95 % ДИ: 14,7–30,5)), баланс работы с личной жизнью (31,8 % (95 % ДИ: 22,3–39,8)), здоровое питание (13,6 % (95 % ДИ: 7,6–20,6)), сон и отдых (18,2 % (95 % ДИ: 11,4–26,1)), эргономика рабочего места (4,5 % (95 % ДИ: 1,5–9,6)). Ответы респондентов маркируют потенциальные направления повышения эффективности работы руководства с работниками сельскохозяйственных организаций, ведь гигиенические факторы мотивации, о которых

говорил Ф. Герцберг, в данном случае являются базовыми для учета в стратегическом планировании профессионального долголетия механизаторов.

3. Мотивационный. Мотив продолжения работы, в том числе и в пенсионный период, у механизаторов определяется в основном экономическими факторами. Результаты исследования свидетельствуют о том, что желают продолжить работу на пенсии 35,5 % (95 % ДИ: 25,8–43,9) респондентов. Основными причинами активной трудовой пенсионной жизни являются в первую очередь улучшение материального положения – 28,9 % (95 % ДИ: 21,4–38,8) и ожидаемый небольшой размер пенсии – 24,7 % (95 % ДИ: 17,1–33,6). Во-вторых, в сельском хозяйстве фиксируется отсутствие дискриминационных практик на рабочих местах, связанных с возрастом. По мнению респондентов, руководство с большой охотой продлевает контракт с сотрудниками, вышедшими на пенсию, оказывает поддержку и тем, кто находится в предпенсионном возрасте. Эти целевые группы, к сожалению, в настоящее время являются основными субъектами профессиональной ниши механизаторов. Для 16,4 % (95 % ДИ: 10,6–25) респондентов работники предпенсионного возраста являются более продуктивными и ценными кадрами по сравнению с молодежью; 59,5 % (95 % ДИ: 49,1–67,8) не видят разницы в отношении руководства к сотрудникам разных возрастных групп, и только 6,6 % (95 % ДИ: 3,3–13,4) респондентов полагают, что пожилые работники менее эффективны.

Несмотря на такой позитивный тренд в оценках работы пенсионеров, 53,7 % респондентов не планируют продолжать работу на пенсии. В качестве объяснительных моделей используется следующая аргументация, опосредованная влиянием социально-гигиенических факторов. Так, значительная часть респондентов (42,1 % (95 % ДИ: 32,1–50,8) основной причиной отказа от работы в пенсионный период указывают тяжелые условия труда, для 39,6 % (95 % ДИ: 30,3–48,9) – это проблемы со здоровьем, для 14 % (95 % ДИ: 8,3–21,7) – желание проводить время с семьей, и только 10,7 % (95 % ДИ: 5,4–17,1) выделяют экономическую причину своего отказа от работы – низкую зарплату. В исследовании многие респонденты говорили о том, что не желают продолжать трудовую деятельность, поскольку устали работать, а на пенсии есть желание отдохнуть; пенсия предназначена для того, чтобы заняться своими делами; на работе достигли чего хотели, а теперь пора наслаждаться заслуженным отдыхом. Механизаторы, которые желают закончить свою трудовую карьеру с выходом на пенсию, имеют семью, детей, а зачастую и внуков, то есть ту самую надежную опору, которая позволит создать благополучие и комфорт в жизни.

Таким образом, несмотря на отсутствие дискриминации, большинством механизаторов продолжение профессиональной деятельности в пенсионный период рассматривается как нежелательная перспектива вследствие тяжелых условий труда и имеющихся проблем со здоровьем. Респонденты утверждают,

что после выхода на пенсию для них самым важным станет спокойный, размеренный образ жизни и более тесное внутрисемейное общение.

Обсуждение. Статистические данные свидетельствуют о том, что большая часть молодежи стремится к более привлекательным профессиям, имеющим связь с IT, медицинской сферой и силовыми структурами³. Отмеченная тенденция по оттоку человеческих ресурсов из сельской местности в города наблюдается во многих странах мира. Она связана с глубокими структурными изменениями, опосредованными либерализацией аграрной политики, а также техническим прогрессом [11]. Данные трансформации позволяют сохранить здоровье работников и продлить их трудовое долголетие, в том числе и на пенсионный период. Зарубежные исследования пропагандируют широкое внедрение корпоративных антиэйджинговых программ [12] во всех сферах профессионально-трудовых отношений, способствующие улучшению состояния здоровья работников, снижению рисков здоровья, ведению здорового образа жизни и повышению их индивидуальной эффективности на работе [13]. В рамках сельской занятости в российских реалиях данной активности практически не наблюдается. Во-первых, со стороны работодателя отмеченные программы должны иметь коммерческий эффект [14, 15], а в адрес работников предпенсионного и третьего возрастов такие мероприятия выглядят бесперспективно. Во-вторых, на положительное решение о продлении трудового долголетия, помимо хорошего физического и психического здоровья, влияет доступность медицинской помощи, которая, по данным исследователей, характеризуется неудовлетворительной работой «...первичного звена МО сельского здравоохранения наряду с дефицитом врачей-специалистов» [1], что также свидетельствует о необходимости поиска новых траекторий преодоления дефицита кадров.

Анализ перспектив использования трудовых ресурсов в сельском хозяйстве, в том числе среди механизаторов, обращает нас к проблеме оптимизации мотивационных рычагов воздействия на сотрудников. В данном контексте мы согласны с узбекскими коллегами, которые доказали, что в сельском хозяйстве важно сочетать интересы экономического стимулирования деятельности в рыночных условиях с интересами субъектов сельскохозяйственного производства для повышения эффективности производства, что возможно через улучшение жизни трудовых ресурсов, создание дополнительных рабочих мест, внедрение агротехнологических новаций [16]. Результаты наших исследований свидетельствуют о схожести нынешних и прошлых условий трудовой деятельности. При выполнении трудовых функций на механизаторов по-прежнему воздействует целый спектр вредных факторов, таких как вибрации транспортных средств и перевозимых грузов, повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны, различные температурные режимы и показатели влажности

³ Профессии в России: престиж, доходность, востребованность. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskiy-obzor/professii-v-rossii-prestizh-dokhodnost-vostrebovanost> (дата обращения: 7.09.2024).

воздуха в рабочей зоне, повышенные уровни шума, сильная или недостаточная освещенность. Об этом свидетельствуют результаты исследований других авторов в прошлый и современный периоды [1, 17].

Привлекательность же профессиональной деятельности в аграрном секторе измеряется воздействием на человека двух групп факторов, которые были выявлены в исследовании вьетнамского сельского хозяйства [18]. Среди них равнозначное положение занимают внешние факторы (рынок труда, механизация ферм, сезонность сельскохозяйственного производства и трудовая миграция) и внутренние, к которым относятся структура семьи, образование, гендерная принадлежность, возраст, стаж работы. Схожие данные представлены и в сельском хозяйстве Китая, где соотношение факторов микро- и макроуровней также представлены, но акцент в большей степени реализуется на межпоколенном взаимодействии внутри семейной организации [19]. Результаты наших исследований вполне согласуются с данной практикой – члены семьи обладают ресурсами влияния на трудовую траекторию своих младших членов, направляя их в город.

Для удержания молодых кадров среди механизаторов важно оценивать не только факторы мотивации, но и факторы, влияющие на удовлетворенность работой в сельском хозяйстве. Анализ научных публикаций показал, что в классических теориях ряд исследователей раскрывает отдельные факторы, определяющие удовлетворенность работой в сельском хозяйстве, например влияние разработки схем стимулирования, тогда как в другие оценивают факторы другого уровня удовлетворенность жизнью и здоровьем [20, 21]. В обыденном представлении, да и в научном дискурсе нередко озвучивается стандартный, из года в год повторяемый тезис относительно непопулярности работы на селе. Так, З.Ю. Переселкова отмечает, что для молодежи сельский труд является непривлекательным вследствие тяжелых физических усилий, непрестижности, низкой оплаты труда, отсутствия социальных гарантий, по ее мнению, работники сельского хозяйства до сих пор остаются одними из самых низкооплачиваемых категорий [6]. Однако если обратиться к статистическим данным, то наглядно прослеживается динамика повышения уровня заработной платы работником сельскохозяйственной отрасли. Так, квалифицированные работники сельского и лесного хозяйства, рыбоводства и рыболовства (для примера был взят возрастной диапазон опытных сотрудников, мужчин от 55 до 59 лет) в 2015 году в среднем получали 17 999 руб., тогда как в 2023 г. – уже 39 610 руб.; квалифицированные работники сельского хозяйства, производящие товарную продукцию, в 2015 году в среднем получали 29 438 руб., а в 2023 году – уже 66 049 руб.⁴ По Саратовской области средняя

заработная плата работников сельского хозяйства составила 49 271,7 руб., тогда как в среднем по всем отраслям – 49 995,0 руб.⁵ Исходя из этих данных, тезис о низком доходе на селе, который уже несколько десятилетий культивируется в научном дискурсе, несколько устарел, отток молодежи из села не коррелирует только с уровнем заработной платы. Более того, механизаторы являются одними из самых востребованных и высокооплачиваемых специалистов на селе. Мнение о том, что это низкоквалифицированный труд, также можно поставить под сомнение, поскольку современные технологии обработки полей выполняются в настоящее время дорогой и сложной техникой, которая требует серьезного сервисного обслуживания, навыков работы с компьютерными технологиями, электроникой. Работодатели пытаются привлечь молодежь, используя всевозможные бонусы: прозрачные условия надбавок, льготные цены на продукцию, соцпакеты, программы обучения и повышения квалификации, однако по-прежнему испытывают кадровый голод. В этом году на площадке Тимирязевской академии была запущена программа Росмолодежи и Российского союза сельской молодежи (РССМ) «Кадры для села», предполагающая целый комплекс проектов и мероприятий по формированию нового образа села и созданию на сельских территориях пространства для полноценного развития молодежи⁶. Предвестниками этих инициатив были и опросы россиян, проведенные летом 2023 года, по результатам которых оказалось, что только «20 % опрошенных считают, что работа в сельском хозяйстве вообще не интересна для молодежи; 38 % полагают, что агросектор уже сейчас привлекателен для трудоустройства; еще 42 % уверены, что молодежь может потянуться в АПК при определенных условиях»⁷. Полученные нами результаты подтверждают эту статистику, а также выводы предыдущих исследователей о том, что формирование в сельской местности эйджинговой модели экономики [22, 23] не наблюдается.

В данном контексте больший интерес представляют идеи Ю.В. Чутчевой, которая помимо важности мотивационной составляющей подчеркивает значимость уровня механизации и автоматизации производственного процесса, санитарно-гигиенических условий на рабочем месте, уровня организации труда и производства [2]. К вышеперечисленным факторам добавляются жилищно-бытовые трудности жизни в селе, где многие имеют личное подсобное хозяйство, которое может быть как единственным способом получения прибыли в сельской местности, так и дополнительным источником дохода [24], что нами оценивается как дополнительная физическая нагрузка для сельских жителей.

Результаты нашего исследования коррелируют с факторной моделью удовлетворенности работой сотрудников агропромышленного комплекса, раз-

⁴ Сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации // Средняя начисленная заработная плата работников. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sp_4-1.xls (дата обращения: 07.09.2024).

⁵ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области // рынок труда, занятость и заработная плата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://64.rosstat.gov.ru/trud> (дата обращения: 07.09.2024).

⁶ Портал Молодежь села // Программа «Кадры для села». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://молодежьсела.рф/kadry-selo> (дата обращения: 7.09.2024).

⁷ Главный сайт агрономов России «Главагроном». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glavagronom.ru/news/molodezh-poydet-v-polya-mnenie-ekspertov> (дата обращения: 7.09.2024).

работанной M. Näther, J. Stratmann, C. Bendfeldt и L. Theuvsen, в которой говорится, что на качество работы и желание остаться в профессии помимо удовлетворенности материальным стимулированием оказывает воздействие и продолжительность рабочего дня, и компетентность сотрудников в принятии решений, а также личные качества, такие как возраст [25] и состояние здоровья [26].

Полученные нами данные имеют значение для работы с механизаторами разных возрастных групп в сельскохозяйственных компаниях. Руководители могут повысить мотивацию сотрудников к работе через удовлетворенность различными аспектами жизнедеятельности за счет: 1) соблюдения норм трудовой нагрузки, что возможно при внедрении высокотехнологичных машин в сельское хозяйство; 2) разрешения проблемы доступа к медицинским услугам и возможности проходить регулярные профилактические процедуры; 3) привлечения молодых специалистов через, например, президентские программы.

Заключение. Результаты наших исследований показали, что для механизаторов предпенсионного возраста определяющим фактором, влияющим на профессиональное долголетие, является гигиенический (состояние здоровья и условия труда). Мотивирующие факторы (возможности карьерного роста, профессиональное развитие, размер заработной платы) предпочтительны более молодыми специалистами, количество которых невелико. Несмотря на положительную оценку своего самочувствия и здоровья, механизаторы уверены, что работа ухудшает их здоровье, также они подчеркивают наличие вредных условий труда, что к пенсионному возрасту может стать серьезным препятствием для продления трудовой деятельности после выхода на пенсию. Большая часть респондентов работает с полной отдачей, игнорируя проблемы со здоровьем либо в силу материальной заинтересованности, либо высокой лояльности и ответственности за выполняемую работу. При этом большинство механизаторов не планируют работать после выхода на пенсию.

Одной из причин дефицита кадров на селе из числа молодежи является строгая ориентированность профессиональной траектории, когда молодые люди уже со школьной скамьи нацелены на интеграцию в городское социальное пространство. Родители, в том числе сами работающие механизаторами, культивирует это желание, так как их собственный выбор профессионального маршрута был, да и остается существенно ограниченным рамками агропромышленного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bezrukova GA, Novikova TA, Novikova VS. Socio-medical aspects of labor longevity of the rural population. In: Maksimova SG, ed. *Complex Social Systems in Dynamic Environments: Advanced Theories, Innovative Methods, and Interdisciplinary Research Results*. Cham: Springer; 2023:1157-1168. doi: 10.1007/978-3-031-23856-7
2. Тимошенко С.А. Современные проблемы воспроизводства трудовых ресурсов в сельском хозяйстве // Никоновские чтения. 2020. № 25. С. 75–78.
3. Бочарова Е.В. Основные тренды усовершенствования профессиональных компетенций сельскохозяйственных работников в условиях существующих и будущих вызовов // Региональные проблемы преобразования экономики. 2023. № 1 (147). С. 62–68. doi: 10.26726/1812-7096-2023-1-62-68
4. Хетагурова Т.Г., Муриев Т.С. Миграция населения как индикатор социально-экономического развития // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 3–2, С. 173–175. doi: 10.24411/2411-0450-2019-10462
5. Новикова Т.А., Безрукова Г.А., Спирин В.Ф. Современные тенденции формирования профессиональной патологии при работе на мобильной сельскохозяйственной технике // Медицина труда и промышленная экология. 2021. Т. 61. № 9. С. 620–626. doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-9-620-626
6. Переселкова З.Ю. Состояние и перспективы занятости сельского населения Оренбургской области, как условие обеспечения продовольственной безопасности региона // Южно-российский журнал социальных наук. 2018. Т. 19. № 3. С. 37–46.
7. Шарипов С.А. Рост народонаселения и формирование трудовых ресурсов сельских территорий // Агропродовольственная политика России. 2017. № 1 (61). С. 10–17.
8. Югов Е.А. Перспективы развития сельских трудовых ресурсов под влиянием изменений в экономике сельских территорий в 2020-е годы // Вестник университета. 2021. № 5. С. 145–152. doi: 10.26425/1816-4277-2021-5-145-152
9. Herzberg F. One more time: How do you motivate employees? *Harv Bus Rev*. 2003;81(1):87–96. doi: 10.1007/978-1-349-02701-9_2
10. Трубецков А.Д., Каменева А.Д. Использование индекса трудоспособности (Work Ability Index) в медицине труда (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2022. № 101 (6). С. 645–648. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-6-645-648
11. Поляцук И.К. Сельское хозяйство России сегодня: экология, здоровье и цифровизация // Крестьяноведение. 2021. Т. 6. № 4. С. 218–225. doi: 10.22394/2500-1809-2021-6-4-218-225
12. Ищенко К.А., Горелик С.Г., Милютин Е.В., Барабанщиков А.А. Эффективная диспансеризация и адекватная физическая активность как составляющие анти-эйджинговой программы предприятий Белгородской области // Innova. 2020. № 4. С. 12–17.
13. Tong T, Ye F, Zhang Q, et al. The impact of labor force aging on agricultural total factor productivity of farmers in China: Implications for food sustainability. *Front Sustain Food Syst*. 2024;8:1434604. doi: 10.3389/fsufs.2024.1434604
14. Liao L, Long H, Gao X, Ma E. Effects of land use transitions and rural aging on agricultural production in China's farming area: A perspective from changing labor employing quantity in the planting industry. *Land Use Policy*. 2019;88:104152. doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104152
15. Уставщикова С.В. Демографическое старение сельского населения Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия. Науки о Земле. 2020. Т. 20. Вып. 3. С. 171–175. doi:10.18500/1819-7663-2020-20-3-171-175
16. Berdimurodov U, Berdimuratov P, Farmonov E, Khakimov B, Razikov N. Formation and prospects of employment of labor resources in agriculture. *E3S Web of Conf*. 2023;365:04012. doi: 10.1051/e3sconf/202336504012
17. Безрукова Г.А., Новикова Т.А., Шалашова М.Л., Райкин С.С. Профессиональный риск развития заболеваний периферической нервной системы у трактористов-

- машинистов сельскохозяйственного производства // Анализ риска здоровью. 2015. № 3. С. 47–54.
18. Nguyen THN. How to value labor in agricultural production: A case study in the Red River Delta Vietnam. Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénieriebiologique. Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège, Gembloux, Belgium. 22 June 2020. Accessed October 24, 2024. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/248556/1/THESE_%20NGUYENThiHaiNinh_June15_2020.pdf
 19. Shu Z, Xiao J, Dai X, Han Y, Liu Y. Effect of family “upward” intergenerational support on the health of rural elderly in China: Evidence from Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey. *PLoS ONE*. 2021;16(6):e0253131. doi: 10.1371/journal.pone.0253131
 20. Былина С.Г. Зависимость удовлетворенности трудом работников сельского хозяйства России от использования сети «Интернет» в профессиональной деятельности // Цифровая социология. 2023. Т. 6. № 2. С. 40–50. doi: 10.26425/2658-347X-2023-6-2-40-50
 21. Тимошенко С.А. К вопросу о трудоустройстве выпускников аграрных вузов в условиях цифровизации // Вестник аграрной науки. 2022. № 6 (99). С. 167–174. doi: 10.17238/issn2587-666X.2022.6.167
 22. Lagacé M, Mérette M, Navaux J, Rodrigues-Rouleau Ph. *An Examination of the Social and Economic Impacts of Ageism*. Ottawa; 2022.
 23. Bull AC. Ageism in the workplace and labour market: The experiences of older adults. Master of Arts thesis. Hamilton, Ontario: McMaster University; 2023. Доступно по: https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/28433/2/Bull_Amanda_2023%20April_MA%20Health%20%26%20Aging.pdf Ссылка активна на 28 октября 2024..
 24. Лушникова О.Л. Личное подсобное хозяйство как источник дохода // Векторы благополучия: экономика и социум. 2021. № 3(42). С. 116–124. doi: 10.18799/26584956/2021/3(42)/1117
 25. Näther M, Stratmann C, Bendfeldt C, Theuvsen L. Which factors influence the job satisfaction of agricultural employees? In: *Proc XXVI Eur Soc Rural Sociol Congress, Aberdeen, Scotland, August 18–21, 2015*. Aberdeen, UK: James Hutton Institute; 2015:176–177.
 26. Масыгутова Л.М., Рафикова Л.А., Власова Н.В., Вагапова Д.М., Валеева Л.Р. Состояние здоровья взрослого населения, проживающего в сельской местности // Научное обозрение. Медицинские науки. 2024. № 2. С. 37–42. doi: 10.17513/srms.1391
- ### REFERENCES
1. Bezrukova GA, Novikova TA, Novikova VS. Socio-medical aspects of labor longevity of the rural population. In: Maksimova SG, ed. *Complex Social Systems in Dynamic Environments: Advanced Theories, Innovative Methods, and Interdisciplinary Research Results*. Cham: Springer; 2023:1157–1168. doi: 10.1007/978-3-031-23856-7
 2. Timoshenko SA. [Modern problems of labor force reproduction in agriculture.] *Nikonovskie Chteniya*. 2020;(25):75–77. (In Russ.)
 3. Bocharova EV. The main trends in the improvement of professional competencies of agricultural workers in the conditions of existing and future challenges. *Regional'nye Problemy Preobrazovaniya Ekonomiki*. 2023;(1):62–68. (In Russ.) doi: 10.26726/1812-7096-2023-1-62-68
 4. Khetagurov TG, Muriev TS. Migration of population as an indicator of socio-economic development. *Ekonomika i Biznes: Teoriya i Praktika*. 2019;(3-2):173–175. (In Russ.) doi: 10.24411/2411-0450-2019-10462
 5. Novikova TA, Bezrukova GA, Spirin VF. Modern trends in the formation of occupational pathology when working on mobile agricultural machinery. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2021;61(9):620–626. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-9-620-626
 6. Pereselkova ZYu. The state of employment and its perspectives for the rural population in Orenburg region as provision for agrofood security. *Yuzhno-Rossiyskiy Zhurnal Sotsial'nykh Nauk*. 2018;19(3):37–46. (In Russ.)
 7. Sharipov S.A. [Population growth and formation of labor resources in rural areas.] *Agroprodovol'stvennaya Politika Rossii*. 2017;(1(61)):10–17. (In Russ.)
 8. Yugov EA. Prospects for the development of rural labor resources under the impact of changes in the rural areas economy in the 2020s. *Vestnik Universiteta*. 2021;(5):145–152. (In Russ.) doi: 10.26425/1816-4277-2021-5-145-152
 9. Herzberg F. One more time: How do you motivate employees? *Harv Bus Rev*. 2003;81(1):87–96. doi: 10.1007/978-1-349-02701-9_2
 10. Trubetskov AD, Kameneva AD. The use of the Work Ability Index in occupational health (literature review). *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(6):645–648. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-6-645-648
 11. Poleshchuk IK. Russian agriculture today: Ecology, healthcare and digitalization Krest'yanovedenie. 2021;6(4):218–225. (In Russ.) doi: 10.22394/2500-1809-2021-6-4-218-225
 12. Ishchenko KA, Gorelik SG, Milyutina EV, Barabanshchikov AA. Effective prophylactic medical examination and adequate physical activity as components of the anti-aging program at the enterprise of the Belgorod region. *Innova*. 2020;4:12–17. (In Russ.)
 13. Tong T, Ye F, Zhang Q, et al. The impact of labor force aging on agricultural total factor productivity of farmers in China: Implications for food sustainability. *Front Sustain Food Syst*. 2024;8:1434604. doi: 10.3389/fsufs.2024.1434604
 14. Liao L, Long H, Gao X, Ma E/ Effects of land use transitions and rural aging on agricultural production in China's farming area: A perspective from changing labor employing quantity in the planting industry. *Land Use Policy*. 2019;88:104152. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104152
 15. Ustavshchikova SV. Demographic aging of the rural population of the Saratov region. *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya Seriya. Seriya. Nauki o Zemle*. 2020;20(3):171–175. (In Russ.) doi:10.18500/1819-7663-2020-20-3-171-175
 16. Berdimurodov U, Berdimuratov P, Farmonov E, Khakimov B, Razikov N. Formation and prospects of employment of labor resources in agriculture. *E3S Web of Conf*. 2023;365:04012. doi: 10.1051/e3sconf/202336504012
 17. Bezrukova GA, Novikova TA, Shalashova ML, Raikin SS. Professional risks of peripheral nervous system disorders induced by occupational exposure among agricultural tractor operators. *Health Risk Analysis*. 2015;(3):47–54.
 18. Nguyen THN. How to value labor in agricultural production: A case study in the Red River Delta Vietnam. Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénieriebiologique. Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège, Gembloux, Belgium. 22 June 2020. Accessed October 24, 2024. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/248556/1/THESE_%20NGUYENThiHaiNinh_June15_2020.pdf
 19. Shu Z, Xiao J, Dai X, Han Y, Liu Y. Effect of family “upward” intergenerational support on the health of rural elderly in China: Evidence from Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey. *PLoS ONE*. 2021;16(6):e0253131. doi: 10.1371/journal.pone.0253131

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-15-25>
Original Research Article

20. Bylina SG. Agricultural workers' labour satisfaction dependence in Russia with the use of the Internet in professional activities. *Tsifrovaya Sotsiologiya*. 2023;6(2):40-50. (In Russ.) doi: 10.26425/2658-347X-2023-6-2-40-50
21. Timoshenko SA. On the issue of employment of graduates of agrarian universities in the conditions of digitalization. *Vestnik Agramoy Nauki*. 2022;6(99):167-174. (In Russ.) doi: 10.17238/issn2587-666X.2022.6.167
22. Lagacé M, Mérette M, Navaux J, Rodrigues-Rouleau Ph. *An Examination of the Social and Economic Impacts of Ageism*. Ottawa; 2022.
23. Bull AC. Ageism in the workplace and labour market: The experiences of older adults. Master of Arts thesis. Hamilton, Ontario: McMaster University; 2023. Accessed October 28, 2024. https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/28433/2/Bull_Amanda_2023%20April_MA%20Health%20%26%20Aging.pdf
24. Lushnikova OL. Personal subsidiary farm as a source of income. *Vektory Blagopoluchiya: Ekonomika i Sotsium*. 2021;(3(42)):116-124. (In Russ.) doi: 10.18799/26584956/2021/3(42)/1117
25. Näther M, Stratmann C, Bendfeldt C, Theuvsen L. Which factors influence the job satisfaction of agricultural employees? In: *Proc XXVI Eur Soc Rural Sociol Congress*, Aberdeen, Scotland, August 18–21, 2015. Aberdeen, UK: James Hutton Institute; 2015:176-177.
26. Masyagutova LM, Rafikova LA, Vlasova NV, Vagapova DM, Valeeva LR. Health of the working rural population as a social problem of modern society. *Nauchnoe Obozrenie. Meditsinskie Nauki*. 2024;(2):37-42. (In Russ.) doi: 10.17513/srms.1391

Сведения об авторах:

✉ **Темаев** Тимур Вадудович – д-р соц. наук, вед. науч. сотр., зав. лаб. анализа медико-социальных проблем Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; профессор каф. социологии социальной работы ФГБОУ ВО «СНИГУ им. Н.Г. Чернышевского»; e-mail: timur_temaev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-9330>.

Суркова Ирина Юрьевна – д-р соц. наук, профессор кафедры управления персоналом Поволжского института управления имени П.А. Столыпина – филиала РАНХиГС; ст. науч. сотр. лаборатории анализа медико-социальных проблем Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; e-mail: irina_surkova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5483-0128>.

Трубецков Алексей Дмитриевич – д-р мед. наук, вед. науч. сотр. лаборатории анализа медико-социальных проблем Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; e-mail: adtrubetskov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8890-0921>

Богомолова Татьяна Алексеевна – мл. науч. сотр. лаборатории анализа медико-социальных проблем Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; e-mail: ta.bogomolova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6650-8087>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Темаев Т.В., Трубецков А.Д.*; сбор качественных эмпирических данных: *Трубецков А.Д.*; сбор количественных эмпирических данных, формирование базы социологических данных: *Богомолова Т.А.*; анализ эмпирических данных: *Суркова И.Ю.*; написание текста: *Темаев Т.В., Суркова И.Ю.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: Исследования проводились в соответствии с требованиями этических норм и принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации при добровольном информированном согласии участников. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол № 11 от 16.03.2023).

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 18.09.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

✉ **Timur V. Temaev**, Dr. Sci. (Soc.), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Analysis of Medical and Social Problems, Saratov Medical Scientific Center for Hygiene, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; Professor, Department of Sociology of Social Work, Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky; e-mail: timur_temaev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-9330>.

Irina Yu. Surkova, Dr. Sci. (Soc.), Professor, Department of Personnel Management, Volga Region Institute of Management named after P.A. Stolypin – branch of the Russian Academy of National Economy and Public Administration; Senior Researcher, Laboratory of Analysis of Medical and Social Problems, Saratov Medical Scientific Center for Hygiene, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: irina_surkova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5483-0128>.

Alexey D. Trubetskov, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Analysis of Medical and Social Problems, Saratov Medical Scientific Center for Hygiene, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: adtrubetskov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8890-0921>.

Tatiana A. Bogomolova, Junior Researcher, Laboratory of Analysis of Medical and Social Problems, Saratov Medical Scientific Center for Hygiene, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: ta.bogomolova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6650-8087>.

Author contributions: study conception and design: *Temaev T.V., Trubetskov A.D.*; qualitative empirical data collection: *Trubetskov A.D.*; quantitative empirical data collection, sociological database creation: *Bogomolova T.A.*; empirical data analysis: *Surkova I.Yu.*; draft manuscript preparation: *Temaev T.V., Surkova I.Yu.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The surveys were conducted in accordance with ethical standards and principles of the WMA Declaration of Helsinki with voluntary informed consent of the participants. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Saratov Medical Scientific Center for Hygiene, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (protocol No. 11 of March 16, 2023).

Funding: This research received no external funding.

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

Received: September 18, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Профессиональный риск развития производственно обусловленной патологии у работников современного производства нефтепродуктов

Т.А. Новикова, Г.А. Безрукова, Н.А. Кочетова, Д.М. Макаревская

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

Резюме

Введение. Минимизация рисков здоровью, связанных с профессиональной деятельностью, является одним из приоритетов реализации стратегических задач демографической политики Российской Федерации.

Цель исследования. Оценка группового профессионального риска развития болезней, связанных с условиями труда, у работников современного производства нефтепродуктов.

Материалы и методы. Обследовано 467 мужчин возрастом $41,56 \pm 9,24$ и профессиональным стажем $14,87 \pm 9,39$ года. Проведены комплексные гигиенические и эпидемиологические исследования состояния условий труда и здоровья работников основных профессий производства нефтепродуктов. Причинно-следственная связь нарушений здоровья с условиями труда оценивалась по показателям относительного риска (OR), его 95% доверительного интервала (CI) и этиологической доли (EF), оценка и категорирование уровней профессионального риска заболеваний, связанных с условиями труда, оценка его приемлемости выполнены в соответствии с Руководством Р 2.2.3969–23. При статистической обработке результатов исследования использовали прикладные программы Microsoft Excel и Statistica 10.0.

Результаты. Установлено, что условия труда в производстве нефтепродуктов характеризуются комплексным воздействием производственных факторов: химических веществ 2–4-го классов опасности, шума, тяжести трудового процесса и нагревающего микроклимата (вторичная переработка) и классифицируются как вредные 2–3-й степеней, формирующие профессиональный риск для здоровья работников. Выявлены статистически значимые причинно-следственные связи средней степени болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани ($OR = 1,77$; $EF = 43\%$), высокой степени – болезней глаза и его придаточного аппарата ($OR = 4,496$; $EF = 78\%$) с условиями труда. Уровни группового профессионального риска развития производственно обусловленной патологии колебались от умеренного ($0,65 \times 10^{-2}$) для миопии до среднего ($3,28 \times 10^{-2}$) для ожирения и высокого ($3,28 \times 10^{-2}$) для дорсалгии, являясь неприемлемыми. Показана обусловленность риска нарушений здоровья воздействием факторов производственной среды разных этапов технологического процесса. Для работников первичной переработки нефти установлен уровень высокой категории развития дорсалгии ($6,65 \times 10^{-2}$) и ожирения ($3,98 \times 10^{-2}$); для вторичной переработки – средней категории нарушений рефракции и аккомодации ($2,09 \times 10^{-2}$); цеха эксплуатации электрооборудования – риск высокой категории нарушений рефракции и аккомодации ($5,55 \times 10^{-2}$) и умеренной дорсалгии ($0,94 \times 10^{-2}$), являющиеся неприемлемыми.

Выводы. Профессиональный риск высокого (неприемлемого) уровня является основанием для разработки адресных мер профилактики нарушений здоровья работников производства нефтепродуктов с учетом занятости на разных этапах технологического процесса.

Ключевые слова: производство нефтепродуктов; условия труда; производственно обусловленные заболевания; профессиональный риск здоровью; профилактика.

Для цитирования: Новикова Т.А., Безрукова Г.А., Кочетова Н.А., Макаревская Д.М. Профессиональный риск развития производственно обусловленной патологии у работников современного производства нефтепродуктов // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 26–35. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-26-35

Risk of Occupational Diseases in Workers of Contemporary Petroleum Refining

Tamara A. Novikova, Galina A. Bezrukova, Natalya A. Kochetova, Darya M. Makarevskaya

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

Summary

Introduction: Minimizing job-related health risks is one of the priorities for implementing strategic objectives of the demographic policy of the Russian Federation.

Objective: To assess the group risk of work-related diseases in employees of modern petroleum product manufacturing.

Materials and methods: The study involved 467 men aged 41.56 ± 9.24 years with 14.87 ± 9.39 years of duration of current employment. Comprehensive hygienic and epidemiological studies of working conditions and health of core personnel of a petroleum refinery were conducted. The causal relationship between working conditions and health disorders was assessed using the relative risk (OR), its 95 % confidence interval (CI) and etiologic fraction (EF). Assessment and categorization of occupational risk levels of work-related diseases and evaluation of their acceptability were performed in accordance with R 2.2.3969–23, Russian Guidelines for Assessing Occupational Risks to Workers' Health: Organizational and Methodological Foundations, Principles and Criteria for Assessment. Microsoft Excel and Statistica 10.0 were used for statistical data analysis.

Results: We have established that working conditions in petroleum product manufacturing are noted for combined exposure to classes 2 to 4 hazardous chemicals, noise, heavy work and heating microclimate (secondary refining) and are classified as harmful (degrees 2 to 3) and posing occupational risks to workers' health. Statistically significant cause-and-effect relationships were revealed between working conditions and moderate musculoskeletal and connective tissue diseases ($OR = 1.77$; $EF = 43\%$) and severe diseases of the eye and adnexa ($OR = 4.496$; $EF = 78\%$). The levels of group occupational risk of diseases ranged from moderate (0.65×10^{-2}) for myopia to medium (3.28×10^{-2}) for obesity and high (3.28×10^{-2}) for dorsalgia, all being unacceptable. The risk of health disorders was found to be determined by factors of the occupational environment at different stages of the technological process. Workers engaged in primary oil refining were at high risk of dorsalgia (6.65×10^{-2}) and obesity (3.98×10^{-2}); those engaged in secondary refining were at medium risk of disorders of refraction and accommodation (2.09×10^{-2}); workers of the electrical equipment operation shop were at high risk of disorders of refraction and accommodation (5.55×10^{-2}) and at moderate risk of dorsalgia (0.94×10^{-2}), all being unacceptable.

Conclusion: Occupational risk of a high (unacceptable) level is the basis for the development of targeted measures of disease prevention in oil refining workers given their involvement at different stages of the technological process.

Keywords: petroleum refinery, working conditions, work-related diseases, occupational health risks, prevention.

Cite as: Novikova TA, Bezrukova GA, Kochetova NA, Makarevskaya DM. Risk of occupational diseases in workers of contemporary petroleum refining. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):26–35. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-26-35

Введение. Профилактика развития профессиональной и производственно обусловленной патологии и снижение преждевременной утраты трудоспособности являются приоритетной мерой реализации стратегических задач демографической политики Российской Федерации¹. В этой связи особое внимание должно уделяться сохранению трудовых ресурсов в отраслях экономики, представляющих повышенную опасность для здоровья работников, среди которых одно из ведущих мест занимает нефтяная промышленность, включающая добычу нефти и ее переработку на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях [1].

По данным научной литературы прошлых лет, детерминирующими вредными факторами рабочей среды, вызывающими нарушения здоровья работников нефтяной промышленности, являлись производственные токсиканты (в основном предельные, непредельные и ароматические углеводороды, бензол и его производные, дигидросульфид), повышенные уровни шума и тяжелый физический труд [2–4]. В нозологической структуре профессиональных заболеваний доминировали профессиональные отравления и хронические интоксикации (от 34,4 до 47,0 %), болезни органов дыхания (17,2 %), опорно-двигательного аппарата (12,2 %), профессиональные дерматозы (до 5 %) [5–7]. Произошедшие в последние десятилетия модернизация производств нефтяной промышленности, внедрение передовых технологий (автоматизация, непрерывность и замкнутость технологического процесса) позволили снизить загрязнение воздуха рабочей зоны токсическими веществами до нормативных значений, тепловую нагрузку среды. Однако одновременно произошло повышение уровней производственного шума и нервно-эмоциональной нагрузки на персонал, что привело к значительным изменениям нозологической структуры профессиональной патологии [8].

В настоящее время общий уровень профессиональной заболеваемости в нефтеперерабатывающей промышленности, как и в других отраслях экономики России, существенно снизился и нарушения здоровья, вызванные воздействием условий труда, все чаще проявляются в виде производственно обусловленных хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ), полиэтиологического генеза [9, 10].

Однако если проблемы формирования и оценки профессионального риска (ПР) производственно обусловленной патологии у работников нефтеперерабатывающей промышленности, занятых в нефтехимических производствах, на сегодняшний день достаточно полно освещены [11–15], то этиогенез ХНИЗ, ассоциированных с условиями труда в современном производстве нефтепродуктов, остается недостаточно изученным, что затрудняет разработку адресных мер профилактики нарушений

здоровья работающих и определяет актуальность настоящих исследований.

Цель исследования. Оценка группового профессионального риска развития болезней, связанных с условиями труда, у работников современного производства нефтепродуктов для последующей разработки адресных мер профилактики нарушений здоровья.

Материалы и методы. Проведены комплексные исследования условий труда и состояния здоровья работников крупного нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) с непрерывным замкнутым технологическим процессом производства нефтепродуктов.

Идентификация и гигиеническая характеристика производственных факторов риска здоровью (концентрации химических веществ, загрязняющих воздух рабочей зоны, микроклимат, шум на рабочих местах, факторы трудового процесса) выполнены по результатам собственных гигиенических исследований и предоставленным предприятием данным специальной оценки условий труда (СОУТ) в соответствии с критериями, изложенными в Руководстве Р 2.2.2006–05².

По результатам периодического медицинского осмотра работников (467 мужчин) НПЗ, проведенного в 2023 году на базе клиники общей и профессиональной патологии Саратовского МНЦ гигиены, и данным учетных форм № 25/у³ проведен анализ уровня и нозологической структуры заболеваемости и профессионального риска нарушений здоровья.

В группу исследования (экспонированная группа) вошли работники ($n = 392$) со средним возрастом $41,56 \pm 9,24$ года и профессиональным стажем $14,87 \pm 9,39$ года. В соответствии с занятостью на различных этапах производственного процесса все участники исследования были разделены на три подгруппы, характеризующиеся сходным комплексом условий труда: 1-я подгруппа – работники производства первичной переработки нефти – операторы технологических установок, слесари по ремонту технологических установок ($n = 175$, средний возраст $41,41 \pm 9,84$ года, стаж $15,75 \pm 10,02$); 2-я подгруппа – работники производства вторичной переработки нефти – операторы технологических установок ($n = 149$, средний возраст $40,12 \pm 9,83$ года, стаж $13,36 \pm 8,48$ года); 3-я подгруппа – работники цеха по эксплуатации электрооборудования – слесари КИПиА, прибористы ($n = 68$, средний возраст $45,07 \pm 9,62$, средний стаж $15,91 \pm 9,27$). Группу сравнения составили 75 работников того же предприятия, работающие в допустимых условиях труда, со средним возрастом $45,77 \pm 9,02$ года и стажем в профессии $17,45 \pm 10,20$ года. Выделенные группы были сопоставимы по возрасту и профстажу.

Причинно-следственную связь нарушений здоровья с воздействием факторов производственной

¹ Распоряжение правительства № 2580-р от 16.09.2021 «План мероприятий по реализации в 2021–2025 годах. Концепции демографической политики РФ на период до 2025 года» (с изменениями на 23 января 2024 года) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/608644722?section=text> (дата обращения: 10.09.2024).

² Р 2.2.2006–05 «Руководство по гигиенической оценке, факторов производственной среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/408890207/> (дата обращения: 12.09.2024).

³ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 15 декабря 2014 г. № 834н «Об утверждении унифицированных форм медицинской документации, используемых в медицинских организациях, оказывающих медицинскую помощь в амбулаторных условиях, и порядков по их заполнению» (с изменениями и дополнениями). Приложение № 1. Форма № 025/у «Медицинская карта пациента, получающего медицинскую помощь в амбулаторных условиях».

среды и трудового процесса оценивали по показателям относительного риска (OR) с расчетом 95 % доверительного интервала (CI) и этиологической доли (EF) в соответствии с критериями, изложенными в Руководстве Р 2.2.3969–23⁴. При установленной причинно-следственной связи нарушений здоровья с условиями труда, выполнена количественная оценка уровней ПР в отношении болезней, связанных с условиями труда с учетом вероятности и тяжести каждого из них. Вероятность возникновения заболеваний, связанных с работой, высчитывалась как разность частоты заболеваний у работников с наличием заболеваний и без таковых. Оценка приемлемости уровней ПР была проведена путем сравнения с величиной, характеризующей категорию пренебрежимо малого и малого уровней профессионального риска ($1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$).

При статистической обработке результатов исследования использовали прикладные программы Microsoft Excel и Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Полученные данные представлены в виде абсолютных значений среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$), а также относительных величин. Проверка нормальности распределения сравниваемых групп проводилась с применением теста Колмогорова – Смирнова. Статистическая значимость различий между группами оценивалась по *U*-критерию Манна – Уитни. Различия групповых значений принимались за статистически значимые при $p < 0,05$.

Результаты. Технологический процесс производства нефтепродуктов на исследуемом производстве традиционно включает два основных этапа – первичную переработку, представляющую собой обессоливание и разделение сырой нефти на фракции и вторичную переработку фракций, включающую каталитический риформинг, изомеризацию и гидроочистку дистиллятов, каталитический и гидравлический крекинг и получение компонентов для последующей выработки нефтепродуктов. Исходным сырьем в производстве служат высокосернистая (с массовой долей серы от 1,81 до 3,5 %) и особо высокосернистая (с массовой долей серы свыше 3,5 %) нефть.

Установлено, что условия труда работников, непосредственно занятых в процессе первичной и вторичной переработки нефти, характеризуются сочетанным воздействием химического фактора, производственного шума, нагревающего микроклимата, тяжести трудового процесса. Химический фактор представлен сложным комплексом веществ 2–4-го классов опасности, источниками которых является сырая нефть, представляющая собой сложную смесь углеводородов различной молекулярной массы, в основном предельные, непредельные и ароматические углеводороды, сероорганические соединения, промежуточные и конечные продукты переработки (бензин и керосин, дизтопливо). Кроме того, воздух рабочей зоны был загрязнен продуктами неполного сгорания топлива (угле-

род оксид, азота диоксид) и реагентами (моно- и диэтиламин).

Результаты оценки факторов производственной среды показали, что концентрации химических веществ в зоне дыхания работников (углеводороды алифатические предельные C_1-C_{10} (в пересчете на C), дигидросульфид, бензол, углерод оксид, сера диоксид, азота диоксид, моноэтиламин, пары бензина) на всех рабочих местах соответствовали допустимым значениям (класс 2). В зоне дыхания операторов технологических установок и слесарей по ремонту технологических установок производства первичной переработки нефти и операторов технологических установок вторичной переработки содержание дигидросульфида в смеси с углеводородами C_1-C_5 колебалось в пределах 2,5–4,0 мг/м³. Доля проб с превышением ПДК_{мр} (3 мг/м³), формирующих вредные условия труда по химическому фактору, достигала 14,38 и 50 %, соответственно. Коэффициент суммации при одновременном содержании веществ остронаправленного действия (дигидросульфид, азота диоксид, углерода оксид – вещества с остронаправленным механизмом действия) составил 1,1–2,27, что соответствовало вредным условиям труда 1–2-й степеней (классы 3.1–3.2). На остальных рабочих местах значения коэффициента суммации не превышали единицы (класс 2).

Производственный шум, генерируемый технологическим оборудованием и системой вентиляции, является в настоящее время основным производственным фактором, формирующим вредные условия труда в нефтепереработке. Эквивалентные уровни звука превышали ПДУ на 4,8–14,8 дБА на всех рабочих местах (классы 3.1–3.2). Эквивалентные уровни общей вибрации, регистрируемые при обслуживании установок каталитического риформинга и гидроочистки дизельного топлива, соответствовали ПДУ.

При вторичной переработке нефти для рабочих мест операторов и слесарей по ремонту технологических установок каталитического риформинга, а также операторов технологических установок гидроочистки дизельного топлива был характерен нагревающий микроклимат, формирующийся в результате теплоизлучения от нагретых поверхностей оборудования. Средневзвешенный класс условий труда по уровню тепловой нагрузки среды (ТНС-индексу) с учетом времени воздействия соответствовал вредным условиям труда 1-й степени (класс 3.1).

Тяжесть труда работников характеризовалась длительным поддержанием неудобной (до 35 % времени смены) и/или вынужденной (от 5 до 10 % смены) рабочей позы, переходами на расстояние до 8 км при контроле работы и оценке состояния технологического оборудования, расположенного на многоуровневых наружных установках (классы 3.1 и 3.2). Для напряженности труда были характерны эмоциональные нагрузки, связанные с высокой ответственностью за результат собственной деятельности и значимость ошибок; риск для

⁴ Р 2.2.3969–23 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 7 сентября 2023 г.). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/408890207/> (дата обращения: 12.09.2024).

собственной жизни и безопасность других лиц в процессе обслуживания оборудования, работающего под избыточным давлением, и электроустановок; вероятность падения с высоты; стрессовые нагрузки в связи с опасностью пожаров и аварийных ситуаций. Общая оценка напряженности труда была классифицирована как допустимая (класс 2).

Персонал вспомогательного цеха по обслуживанию электрооборудования выполняет свои функции по контролю работы и оценке состояния контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) в зонах размещения основного технологического оборудования, подвергаясь воздействию факторов производственной среды, характерных для работников, занятых в процессе первичной и вторичной переработки нефти. Их условия труда с учетом экспозиции факторов были оценены как вредные (классы 3.1–3.2).

Результаты оценки ПР здоровью работников НПЗ по гигиеническим критериям в зависимости от занятости на разных этапах переработки нефти представлены в табл. 1.

При оценке нарушений здоровья установлено, что у 119 работников НПЗ экспонированной группы из обследованных 392 было выявлено 506 нозологически очерченных патологий. Уровень общей хронической заболеваемости (ОХЗ) составлял 1290,8 ‰, превышая аналогичный показатель по группе сравнения (1133,3 ‰) в 1,14 раза, и был в 1,32 раза ниже уровня общей популяционной (по обращаемости) заболеваемости (1706,3 ‰)⁵ по Саратовской области в 2022 году. Среди сочетанной патологии наиболее часто встречалась комбинация дорсалгии с миопией.

В нозологической структуре ОХЗ исследуемой когорты работников первое ранговое место (29,45 %) занимали болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (класс XIII)⁶, представленные дорсалгией (М54) различных уровней. Болезни данного класса статистически значимо ($p = 0,010007$) чаще диагностировались у работников производства первичной переработки нефти, труд которых по результатам гигиенической оценки являлся наиболее тяжелым (классы 3.2–3.3).

На втором ранговом месте (25,10 %) находились болезни глаза и его придаточного аппарата (класс VII), в 99 % случаев представленные нарушениями рефракции и аккомодации (Н52), наиболее часто среди которых диагностировались миопия (39,34 %) и пресбиопия (27,8 %). При этом отмечалась статистически значимая повышенная распространенность данных патологий среди работников производства вторичной переработки нефти ($p = 0,000001$) и цеха эксплуатации электрооборудования ($< 0,0001$) по сравнению с занятыми первичной переработкой ($< 0,0001$) и группой сравнения ($p = 0,011476$).

Третье ранговое место (23,12 %) принадлежало болезням эндокринной системы, расстройствам питания и нарушениям обмена веществ (класс IV), среди которых наибольший удельный вес занимало ожирение разных степеней (Е66.0). Статистически значимо чаще ожирение диагностировалось у работников производства первичной переработки нефти, чем у работников вторичного производства ($p = 0,036924$), цеха эксплуатации электрооборудования ($p = 0,007511$) и группы сравнения ($p = 0,008709$).

Наибольший удельный вес (88,05 %) среди болезней системы кровообращения (класс IX), занимающей четвертое ранговое место (11,66 %) в структуре ОХЗ, имела эссенциальная (первичная) гипертензия (I10.0). Однако распространенность болезней данного класса статистически не отличалась от уровней в группах работников разных производств и группы сравнения.

Пятое и шестое ранговые места занимали, соответственно, болезни уха и сосцевидного отростка (класс VIII) и болезни органов пищеварения (класс XI). Статистически значимых различий в их распространенности у работников разных производств не было выявлено.

При сравнительном анализе нозологической структуры ХНИЗ обследованных, занятых на различных этапах технологического процесса производства нефтепродуктов, было установлено, что у работников первичной переработки нефти наиболее распространенными являлись дорсалгия (35,82 %), ожирение (30,23 %) и артериальная гипертензия (16,28 %). Для профессиональных групп вторичной переработки

Таблица 1. Оценка профессионального риска здоровью работников нефтеперерабатывающего производства на основе гигиенических критериев

Table 1. Evaluation of occupational health risks for petroleum refining workers based on hygienic criteria

Этап технологического процесса / Stage of the technological process	Производственный фактор (класс) / Occupational risk factor (class)	Общая оценка / Overall rating	Категория профессионального риска / Occupational risk category
Производство первичной переработки нефти / Primary oil refining	химический / chemical (2–3.1) шум / noise (3.1–3.2) тяжесть труда / heavy work (3.1–3.2)	3.2–3.3	средний риск – высокий риск / medium to high risk
Производство вторичной переработки нефти / Secondary oil refining	химический / chemical (2–3.1) микроклимат / microclimate (2–3.1) шум / noise (3.1–3.2) тяжесть труда / heavy work (3.1–3.2)	3.2	средний риск / medium risk
Цех эксплуатации электрооборудования / Electrical equipment operation shop	шум / noise (3.1–3.2) тяжесть труда / heavy work (3.1)	3.1–3.2	умеренный риск – средний риск / moderate to medium risk

⁵ Статистический ежегодник Саратовской области 2022 год: Статистический сборник в 2 т., т. 1 / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. Саратов, 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://64.rosstat.gov.ru/publication_collection/document/38433 (дата обращения: 12.09.2024).

⁶ Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mkb-10.com/> (дата обращения: 12.09.2024).

и цеха эксплуатации электрооборудования было характерно превалирование нарушений рефракции и аккомодации (33,3 и 42,6 %, соответственно), а дорсалгия, ожирение и артериальная гипертензия занимали последующие ранговые места.

Результаты проведенного анализа причинно-следственных связей диагностированных хронических заболеваний с работой позволили установить для всей группы участников исследования производственную обусловленность средней степени с болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани. Среди нозологических форм статистически значимая связь с условиями труда средней степени была выявлена для дорсалгии, в основном пояснично-крестцового уровня, и высокой степени – миопии. В отношении других заболеваний связи с профессиональной деятельностью установлено не было (см. табл. 2).

Для работников, занятых в первичной переработке нефти, производственно обусловленными патологиями явились болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (дорсалгия) и болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (ожирение). Для вторичной переработки характерна производственная обусловленность болезнями глаза

и его придаточного аппарата (миопии). Нарушения здоровья работников цеха эксплуатации электрооборудования были связаны с воздействием производственных факторов, характерных для всех этапов технологического процесса, что проявилось в производственной обусловленности как болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани (дорсалгии), так и болезней глаза и его придаточного аппарата (миопии).

В отношении болезней, связанных с условиями труда, была выполнена количественная оценка уровней ПР с учетом тяжести каждого из них, позволившая установить для всей группы исследования высокую категорию ПР развития болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани, представленных дорсалгией, и средней степени – болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ, представленных ожирением (см. табл. 3).

Установлены особенности формирования ПР в зависимости от занятости работников на различных технологических этапах переработки нефти. У работников первичной переработки формируется высокий ПР развития болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (ожирения) и болезней костно-мышечной

Таблица 2. Причинно-следственная связь нарушений здоровья работников нефтеперерабатывающего производства с условиями труда

Table 2. Causal relationship between working conditions and health disorders in oil refining workers

Класс, код по МКБ-10 / Category, ICD-10 code	Относительный риск (OR) / этиологическая доля (EF) (доверительный интервал Ci) / Relative risk (OR) / etiological fraction (EF) (confidence interval, CI)			
	Вся группа исследования / All subjects (n = 392)	Производство первичной переработки нефти / Primary oil refining (n = 175)	Производство вторичной переработки нефти / Secondary oil refining (n = 179)	Цех эксплуатации электрооборудования / Electrical equipment operation workshop (n = 68)
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани / Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue (XIII)	1,782 / 43,87** (1,113-2,802)	2,089 / 52*** (1,312-3,326)	1,384 / 28* (0,839-2,283)	1,861 / 46** (1,102-3,143)
Дорсалгия / Dorsalgia (M54)	1,770 / 43** (1,125-2,783)	2,063 / 52*** (1,295-3,286)	1,384 / 28* (0,849-2,283)	1,861 / 46** (1,102-3,143)
Болезни глаза и его придаточного аппарата / Diseases of the eye and its adnexa (VII)	1,157 / 13,58 (0,783-1,709)	0,204 / -0,101 (0,101-0,4412)	1,582 / 37** (1,055-2,372)	2,784 / 64*** (1,895-4,088)
Нарушения рефракции и аккомодации / Disorders of refraction and accommodation (H52)	1,030 / 3 (0,694-1,528)	0,122 / -717 (0,052-0,291)	1,560 / 36** (1,024-2,377)	1,416 / 59*** (1,622-3,598)
Миопия / Myopia (H52/1)	4,496 / 78**** (1,116-18,113)	0,643 / -56 (0,110-3,769)	6,040 / 83***** (1,466-24,879)	11,029 / 91***** (2,677-45,450)
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ / Endocrine, nutritional and metabolic diseases (IV)	1,599 / 37,46 (0,974-2,626)	2,112 / 53** (1,272-3,506)	1,330 / 25 (0,768-2,303)	0,867 / -15 (0,432-1,777)
Ожирение / Obesity (E66.0)	1,619 / 38 (0,963-2,720)	2,143 / 53** (1,261-3,642)	1,355 / 26 (0,764-2,403)	0,848 / -18 (0,398-1,807)
Болезни системы кровообращения / Diseases of the circulatory system (IX)	0,449 / -122,9 (0,314-0,642)	0,591 / -69 (0,399-0,877)	0,330 / 0203 (0,199-0,548)	0,342 / -192 (1,175-0,670)
Болезни уха и сосцевидного отростка / Diseases of the ear and mastoid process (VIII)	0,574 / -74,22 (0,118-2,790)	0,647 / -56 (0,110-3,376)	1,330 / 25 (0,768-2,303)	0,551 / -81 (0,051-5,946)
Болезни нервной системы / Diseases of the nervous system (VI)	2,870 / 65,16 (0,385-21,401)	1,714 / 42 (0,195-15,083)	3,523 / 72 (0,442-28,116)	2,206 / 55 (0,205-23,786)
Болезни органов пищеварения (XI) / Diseases of the digestive system (XI)	0,861 / -16,15 (0,314-0,642)	0,857 / -17 (0,160-4,579)	0,722 / -32 (0,129-4,422)	1,103 / 9 (0,160-7,616)

Примечание: категория связи с условиями труда: * – нулевая и малая; ** – средняя; *** – высокая; **** – очень высокая; ***** – почти полная.

Notes: causal relationship with working conditions: *zero or small; **medium; ***high; ****very high; *****almost complete.

Таблица 3. Категорирование группового профессионального риска развития болезней, связанных с условиями труда, у работников производства нефтепродуктов
Table 3. Categorization of group risk of work-related diseases in petroleum refinery workers

Класс, нозология (код по МКБ-10) / Category, disease (ICD-10 code)	Дополнительная вероятность / Additional probability	Уровень профессионального риска / Occupational risk level	Категория профессионального риска* / Occupational risk category*
Вся группа участников исследования / All subjects			
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ / Endocrine, nutritional and metabolic diseases (IV)	0,112	$1,57 \times 10^{-2}$	средний / medium
Ожирение / Obesity (E66.0)	0,107	$1,50 \times 10^{-2}$	средний / medium
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани / Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue (XIII)	0,167	$3,34 \times 10^{-2}$	высокий / high
Дорсалгия / Dorsalgia (M54)	0,164	$3,28 \times 10^{-2}$	высокий / high
Миопия / Myopia (H52/1)	0,093	$0,65 \times 10^{-2}$	умеренный / moderate
Производство первичной переработки нефти / Primary oil refining			
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ / Endocrine, nutritional and metabolic diseases (IV)	0,300	$4,20 \times 10^{-2}$	высокий / high
Ожирение / Obesity (E66.0)	0,284	$3,98 \times 10^{-2}$	высокий / high
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани / Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue (XIII)	0,338	$6,77 \times 10^{-2}$	высокий / high
Дорсалгия / Dorsalgia (M54)	0,333	$6,65 \times 10^{-2}$	высокий / high
Производство вторичной переработки нефти / Secondary oil refining			
Болезни глаза и его придаточного аппарата / Diseases of the eye and adnexa (VII)	0,236	$3,31 \times 10^{-2}$	высокий / high
Нарушения рефракции и аккомодации / Disorders of refraction and accommodation (H52)	0,149	$2,09 \times 10^{-2}$	средний / medium
Миопия / Myopia (H52/1)	0,124	$0,87 \times 10^{-2}$	умеренный / moderate
Цех эксплуатации электрооборудования / Electrical equipment operation shop			
Болезни глаза и его придаточного аппарата / Diseases of the eye and adnexa (VII)	0,267	$1,87 \times 10^{-2}$	средний / medium
Нарушения рефракции и аккомодации / Disorders of refraction and accommodation (H52)	0,396	$5,55 \times 10^{-2}$	высокий / high
Миопия / Myopia (H52/1)	0,085	$0,59 \times 10^{-2}$	умеренный / moderate
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани / Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue (XIII)	0,047	$0,94 \times 10^{-2}$	умеренный / moderate
Дорсалгия / Dorsalgia (M54)	0,047	$0,94 \times 10^{-2}$	умеренный / moderate

Примечание: * – оценка приемлемости рассчитанных уровней ПР проведена путем сравнения с величиной, характеризующей категорию малого риска (1×10^{-3}).

Note: * Acceptability of the established occupational risk levels was evaluated by comparing with the low-risk value (1×10^{-3}).

системы и соединительной ткани (дорсалгии). При вторичной переработке установлен высокий ПР болезней глаза и его придаточного аппарата. Для работников цеха по эксплуатации электрооборудования характерен ПР средней категории болезней глаза и его придаточного аппарата при высоком риске нарушений рефракции и аккомодации, а также умеренном ПР болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани (дорсалгии различных уровней).

Обсуждение. Результаты исследований показали, что условия труда в производстве нефтепродуктов характеризуются комплексным воздействием вредных производственных факторов, включающих химические вещества 2–4-го классов опасности

(углеводороды алифатические предельные C_1 – C_{10} (в пересчете на С), дигидросульфид, дигидросульфида в смеси с углеводородами C_1 – C_5 , бензол, углерод оксид, сера диоксид, азота диоксид, моноэтиламин, пары бензина), шум, физические перегрузки. Общая оценка условий труда работников была классифицирована как вредные 2–3-й степеней (классы 3.2–3.3). Априорно ПР оценен в категориях от умеренного (цех по эксплуатации электрооборудования) до высокого (первичная переработка нефти).

Приоритетными производственными факторами, определяющими формирование ПР здоровью работников, являлись химический (дигидросульфид в смеси с углеводородами C_1 – C_5), шум и тяжесть

трудового процесса. Работники производства вторичной переработки были подвержены воздействию дигидросульфида в смеси с углеводородами C_1-C_5 в сочетании с нагревающим микроклиматом. Более тяжелый труд имел место при процессе первичной переработке нефти.

Повышенные концентрации в воздухе рабочей зоны дигидросульфида являются особенностью переработки высокосернистой и особо высокосернистой нефти, объемы использования которой в настоящее время увеличиваются, создавая угрозу загрязнения окружающей и производственной среды. Дигидросульфид (2-й класс опасности) опасен для развития острого отравления, оказывает раздражающее, кожно-резорбтивное, сенсibilизирующее, репротоксическое, тератогенное действие на организм человека⁷ [16]. Предельные углеводороды C_1-C_5 (4-й класс) относятся к группе асфиксантов, обладающих выраженным наркотическим эффектом⁸ [17]. Смесь углеводородов и дигидросульфида обладает аддитивным суммарным эффектом воздействия компонентов.

Концентрации остальных вредных веществ, обнаруженных в воздухе рабочей зоны работников НПЗ, находились в пределах ПДК, однако их сочетанное воздействие могло синергически усиливать действие каждого. Углеводороды алифатические предельные C_6-C_{10} (4-й класс) обладают наркотическим действием, раздражают кожу и слизистые оболочки глаз [17]. Бензол (2-й класс, требуется специальная защита кожи и глаз)⁹ – канцероген, относится к соединениям с наркотическим, общетоксическим, кожно-резорбтивным, сенсibilизирующим, репротоксическим, тератогенным и мутагенным действием. Бензин (топливный) (4-й класс) имеет общетоксическое, нейротоксическое, наркотическое и резорбтивное действие [18].

Как известно, профессиональные отравления и интоксикации высокосернистой нефтью носят полиморфный характер с поражением системы крови, центральной и периферической нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и гепатобилиарной систем, а также вызывают нарушения белкового, углеводного и жирового обменов [19, 20]. В условиях многофакторного низкоуровневого воздействия токсикантов ранняя диагностика профессиональных интоксикаций, как правило, затруднена вследствие стертой симптоматики [21]. При этом клинко-функциональные изменения, выявляемые у работников в условиях химической нагрузки малой интенсивности, расцениваются как проявление неспецифического ответа на токсическое и сенсibilизирующее действие химических веществ, обусловленное активацией компенсаторно-приспособительных механизмов физиологической адаптивности к воздействию малых доз ксенобиотиков [21, 22]. В находившей-

ся под наблюдением когорте работников НПЗ за последние 5 лет профессиональные заболевания (отравления) не выявлялись.

Наиболее распространенными хроническими заболеваниями в когорте исследуемых работников НПЗ являлись болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, представленные в основном дорсалгией различных уровней, ведущую роль в развитии которой играли физические перегрузки и функциональное напряжение, обусловленные поддержанием неудобных и вынужденных поз, наклонами корпуса и статико-динамическими нагрузками, инициирующими развитие дегенеративно-дистрофических процессов структур позвоночника [23], наиболее характерные для занятых первичной переработкой нефти.

Болезни глаза и его придаточного аппарата, представленные нарушениями рефракции и аккомодации, занимающие второе место в нозологической структуре ХНИЗ, наиболее часто диагностировались у работников производства вторичной переработки нефти, воздух рабочей зоны которых был в большей степени загрязнен смесью дигидросульфида с углеводородами C_1-C_5 , оказывающей токсическое действие на орган зрения [18]. Факторами риска развития данной патологии также могли являться бензол, углеводороды алифатические предельные C_6-C_{10} и сера диоксид, обладающие раздражающим действием на слизистые оболочки¹⁰. Кроме того, развитие структурно-функциональных расстройств органа зрения могло быть обусловлено перманентным воздействием на обследованных работников производственного шума, способного приводить к изменению тонуса сосудов микроциркуляторного русла конъюнктивы глазного яблока, ведущего к нарушению гемо- и гидродинамики, гипоксии и развитию трофических расстройств в органе зрения [24]. Полученные нами данные согласуются с результатами исследований других авторов, установивших высокую долю патологии органа зрения в структуре ОХЗ работников основных профессий нефтепереработки [4, 6].

В соответствии с современными представлениями, установленный групповой профессиональный риск развития ожирения, наряду с нерациональным питанием, мог быть ассоциирован с загрязнением рабочей зоны органическими растворителями – эндокринными разрушителями [25], вызывающими нарушения метаболического здоровья, в первую очередь за счет прямого повреждающего воздействия на дифференцировку адипоцитов, а также развития системного низкоуровневого воспаления с исходом в состояние инсулинорезистентности [26].

Этиологический вклад факторов рабочей среды в распространенность хронической соматической патологии, выявленной у обследованных работников разных цехов НПЗ, имел отличия, в значительной

⁷ Куценко С.А. Основы токсикологии. Санкт-Петербург: ООО «Издательство Фолиант», 2004. 570 с.

⁸ Профессиональные интоксикации ароматическими углеводородами – бензолом и его гомологами; 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=492380#text>. (дата обращения: 12.09.2024).

⁹ Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prohv.ru/online/detail.html?id=42/> (дата обращения: 12.09.2024).

¹⁰ Профессиональные интоксикации ароматическими углеводородами – бензолом и его гомологами; 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=492380#text>. (дата обращения: 12.09.2024).

мере зависящие от этапа технологического процесса. Так, для работников первичной переработки нефти была установлена производственная обусловленность высокой степени дорсалгии и средней степени ожирения. Для занятых вторичной переработкой нефти – почти полная степень риска миопии; работников цеха эксплуатации электрооборудования – категории средней степени риска дорсалгии и почти полной степени для миопии.

Количественно уровень группового профессионального риска здоровью работников находился в градациях: умеренный ($0,65 \times 10^{-2}$) для миопии; средний ($3,28 \times 10^{-2}$) для ожирения; высокий ($3,28 \times 10^{-2}$) для дорсалгии. В то же время для работников первичной переработки нефти был установлен профессиональный риск высокой категории развития дорсалгии ($6,65 \times 10^{-2}$) и ожирения ($3,98 \times 10^{-2}$); при вторичной переработке – средней категории нарушений рефракции и аккомодации ($2,09 \times 10^{-2}$); занятых в цехе эксплуатации электрооборудования – высокой категории нарушений рефракции и аккомодации и ($5,55 \times 10^{-2}$) и умеренной – дорсалгии ($0,94 \times 10^{-2}$).

Уровни доказанного ПР являлись неприемлемыми, что требует их снижения до приемлемых путем разработки и внедрения адресных организационно-технических и медико-профилактических мероприятий и программ по снижению профессионального риска.

Выводы

1. Условия труда на современных производствах нефтепродуктов характеризуются воздействием на работников комплекса вредных производственных факторов и классифицируются как вредные 2–3-й степеней, что соответствует средней и высокой категориям профессионального риска. Приоритетными производственными факторами, определяющими формирование риска здоровью работников, являлись химический, шум и тяжесть трудового процесса.

2. Воздействие вредных условий труда обуславливало профессиональный риск развития у работников болезней костно-мышечной системы и соединительных тканей, глаза и его придаточного аппарата, болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ. При этом уровень группового профессионального риска здоровью работников колебался от умеренного до высокого, неприемлемого.

3. Риск развития производственно обусловленных болезней определялся факторами производственной среды этапов технологического процесса. Воздействие условий труда при первичной переработке нефти формировало профессиональный риск высокой категории нарушений здоровья в отношении дорсалгии и ожирения; вторичной переработки – средний категории для развития нарушений рефракции и аккомодации; при работе в цехе по эксплуатации электрооборудования – высокой категории для нарушений рефракции и аккомодации и умеренной для дорсалгии, что следует учитывать при разработке адресных мер профилактики нарушений здоровья работников, занятых в современном производстве нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сетко Н.П., Мовергоз С.В., Булычева Е.В. Анализ индивидуальных профессиональных рисков здоровью рабочих основных профессий нефтеперерабатывающего предприятия // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 132–138. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.16
2. Красовский В.О., Яхина М.Р. Организация санитарного надзора гигиены труда на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах (аналитический обзор). Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 3. С. 246–253. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-246-253
3. Ахметов В.М. Динамика профессиональной заболеваемости в нефтяной, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 40 лет // Медицина труда и промышленная экология. 2002. № 5. С. 9–13.
4. Захарова Р.Р., Калимуллина Ж.Н., Романова В.С. Условия труда и состояние здоровья работников нефтеперерабатывающих предприятий // Медицина труда и экология человека. 2015. № 4. С. 120–122.
5. Pasetto R, Zona A, Pirastu R, et al. Mortality and morbidity study of petrochemical employees in a polluted site. *Environ Health*. 2012;11:34. doi: 10.1186/1476-069X-11-34
6. Биянова А.М. Оценка профессионального риска оператора добычи нефти и газа // Вестник науки. 2024. Т. 3. № 4(73). С. 615–617. EDN UJFDMT.
7. Фатыхова Л.Х. Профессиональные заболевания на нефтеперерабатывающем заводе // Булатовские чтения: Сборник статей. 2019. Т. 2. С. 207–209.
8. Мельцер А.В., Ерастова Н.В., Киселев А.В., Кропот А.И. Априорный профессиональный риск здоровью работающих нефтеперерабатывающего предприятия от воздействия производственного шума // Профилактическая и клиническая медицина. 2021. № 1. С. 12–19. doi:10.47843/2074-9120_2021_1_12
9. Мулдашева Н.А., Каримов Д.О., Каримова Л.К., Бейгул Н.А., Шаповал И.В. Потенциальные риски химического воздействия на здоровье работников в условиях нефтехимических производств и меры по их минимизации // Медицина труда и экология человека. 2024. № 2(38). С. 32–45. doi: 10.24412/2411-3794-2024-10203. EDN DWFURF.
10. Мулдашева Н.А., Каримова Л.К., Шаповал И.В., Фагамова А.З., Волгарева А.Д. Основные гигиенические мероприятия по обеспечению безопасных условий труда работников нефтехимических предприятий // Безопасность и охрана труда. 2022. № 3(92). С. 26–28. doi: 10.54904/52952_2022_3_26. EDN JANSKA.
11. Галимова Р.Р., Каримова Л.К., Мулдашева Н.А., Валеева Э.Т., Газизова Н.Р. Обоснование профилактики профессиональной заболеваемости работников нефтехимических производств // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 9. С. 967–971. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-9-967-971
12. Rashnuodi P, Afshari D, Shirali GA, Amiri A, Zadeh MR, Samani AS. Metabolic syndrome and its relationship with shift work in petrochemical workers. *Work*. 2022;71(4):1175–1182. doi: 10.3233/WOR-205223
13. Onyije FM, Hosseini B, Togawa K, Schüz J, Olsson A. Cancer incidence and mortality among petroleum industry workers and residents living in oil producing communities: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(8):4343. doi:10.3390/ijerph18084343
14. Moshiran VA, Karimi A, Golbabaee F, Yarandi MS, Sajedian AA, Koozekan AG. Quantitative and semiquantitative health risk assessment of occupational exposure to styrene in a petrochemical industry. *Saf Health Work*. 2021;12(3):396–402. doi: 10.1016/j.shaw.2021.01.009

15. Gimaeva ZF, Bakirov AB, Karimova LK, Gimranova GG, Mukhammadiyeva GF, Karimov DO. Production and genetic risk factors for cardiovascular diseases among petrochemical industry workers. *Ter Arkh.* 2018;90(1):49-53. doi: 10.26442/terarkh201890149-53
16. Фаридунова А.М., Давлетшин Р.Р. Загрязняющие вещества, образующиеся в процессе нефтедобычи, и их влияние на живые организмы // Наука сегодня: теория и практика : Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 22 октября 2020 года. Часть 2. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2020. С. 369–374. EDN EEOAEQ
17. Jiang L, Yang J, Yang H, Kong L, Ma H, Zhu Y, Zhao X, Yang T, Liu W. Advanced understanding of the polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): Insights from total environment to intoxication. *Toxicology.* 2024;509:153959. doi: 10.1016/j.tox.2024.153959
18. Радиков А.С., Солнцева С.А., Шкаева И.Е., Земляной А.В., Дулов С.А. Сравнительная характеристика токсичности и опасности смесей предельных углеводородов C1–C5 и C6–C10 // Медицина экстремальных ситуаций. 2018. Т. 20. № 2. С. 217–222.
19. Иляшенко Л.К., Нифталиев В.С. Особенности состояния здоровья работников нефтяной и газовой промышленности // Перспективы науки. 2023. № 2(161). С. 64–66. EDN NYXLNX.
20. Fassio F, Bussa M, Oddone E, et al. Health status of petrochemical workers: A narrative review. *G Ital Med Lav Ergon.* 2022;44(1):51-58.
21. Бухтияров И.В. Профессиональная патология: национальное руководство. ред. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024.
22. Koh DH, Jeon HK, Lee SG, Ryu HW. The relationship between low-level benzene exposure and blood cell counts in Korean workers. *Occup Environ Med.* 2015;72(6):421–427. doi: 10.1136/oemed-2014-102227
23. Косырев В.В., Бабанов С.А. Профессиональные дорсопатии: современный подход к фармакотерапии болевого синдрома // Медицинский совет. 2013. № 3. С. 82–92.
24. Агаева Ф.А. Патология органа зрения у работников нефтехимической промышленности (Обзор литературы) // Oftalmologiya. 2017. Т. 2. № 24. С. 112–116.
25. Francis CE, Allee L, Nguyen H, Grindstaff RD, Miller CN, Rayalam S. Endocrine disrupting chemicals: Friend or foe to brown and beige adipose tissue? *Toxicology.* 2021;463:152972. doi: 10.1016/j.tox.2021.152972
26. Papalou O, Kandaraki EA, Papadakis G, Diamanti-Kandaraki E. Endocrine disrupting chemicals: An occult mediator of metabolic disease. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2019;10:112. doi: 10.3389/fendo.2019.00112
27. Meditsina Truda i Ekologiya Cheloveka. 2015;(4):120–122. (In Russ.)
28. Pasetto R, Zona A, Pirastu R, et al. Mortality and morbidity study of petrochemical employees in a polluted site. *Environ Health.* 2012;11:34. doi: 10.1186/1476-069X-11-34
29. Biyanova A.M. Assessment of professional risk of oil and gas production operator. *Vestnik Nauki.* 2024;3(4(73)):615-617. (In Russ.)
30. Fatikhova LH, Sharafutdinova GM. Occupational diseases at the refinery. *Bulatovskie Chteniya.* 2019;2:207-209. (In Russ.)
31. Meltser AV, Erastova NV, Kiselev AV, Kropot AI. A priori occupational health risk of oil refining workers from noise production impact. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina.* 2021;(1(78)):12–19. (In Russ.) doi: 10.47843/2074-9120_2021_1_12
32. Muldasheva NA, Karimov DO, Karimova LK, Beigul NA, Shapoval IV. Potential chemical risks for workers' health in petrochemical productions and measures for their minimization. *Meditsina Truda i Ekologiya Cheloveka.* 2024;(2(38)):32-45. (In Russ.) doi: 10.24412/2411-3794-2024-10203
33. Muldasheva NA, Karimova LK, Shapoval IV, Fagamova AZ, Volgareva AD. Main hygienic measures to ensure safe working conditions for petrochemical enterprises employees. *Bezopasnost' i Okhrana Truda.* 2022;(3(92)):26-28. (In Russ.) doi: 10.54904/52952_2022_3_26
34. Galimova RR, Karimova LK, Muldasheva NA, Valeeva ET, Gazizova NR. The foundation of the prevention of occupational morbidity in workers of petrochemical plants. *Gigiena i Sanitariya.* 2019;98(9):967-971. (In Russ.). doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-9-967-97
35. Rashnuodi P, Afshari D, Shiralali GA, Amiri A, Zadeh MR, Samani AS. Metabolic syndrome and its relationship with shift work in petrochemical workers. *Work.* 2022;71(4):1175-1182. doi: 10.3233/WOR-205223
36. Onyije FM, Hosseini B, Togawa K, Schüz J, Olsson A. Cancer incidence and mortality among petroleum industry workers and residents living in oil producing communities: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(8):4343. doi: 10.3390/ijerph18084343
37. Moshiran VA, Karimi A, Golbabaef F, Yarandi MS, Sajedian AA, Koozekan AG. Quantitative and semiquantitative health risk assessment of occupational exposure to styrene in a petrochemical industry. *Saf Health Work.* 2021;12(3):396-402. doi: 10.1016/j.shaw.2021.01.009
38. Gimaeva ZF, Bakirov AB, Karimova LK, Gimranova GG, Mukhammadiyeva GF, Karimov DO. Production and genetic risk factors for cardiovascular diseases among petrochemical industry workers. *Ter Arkh.* 2018;90(1):49-53. doi: 10.26442/terarkh201890149-53
39. Faridunova AM, Davletshin RR. Polluting substances formed in the process of oil production and their impact on living organisms. In: Science Today: Theory and Practice: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Ufa, October 22, 2020. Ufa: Ufa State Petroleum Technical University Publ.; 2020;2:369-374 (In Russ.)
40. Jiang L, Yang J, Yang H, Kong L, Ma H, Zhu Y, Zhao X, Yang T, Liu W. Advanced understanding of the polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): Insights from total environment to intoxication. *Toxicology.* 2024;509:153959. doi: 10.1016/j.tox.2024.153959
41. Radikov AS, Solntseva SA, Shkayeva IE, Zemlyanoy AV, Dulov SA. Comparative characteristic of toxicity and risk of mixtures of limited hydrocarbons C1–C5 and C6–C10.

REFERENCES

1. Setko NP, Movergoz SV, Bulychева EV. Analysis of individual occupational health risks for workers with basic occupations typical for oil processing enterprises. *Health Risk Analysis.* 2020;(3):131–137. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.16.eng
2. Krasovsky VO, Yakhina MR. Management of sanitary supervision of occupational health at oil refineries and petrochemical plants (analytical review). *Gigiena i Sanitariya.* 2021;100(3):246-253. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-246-253
3. Akhmetov VM. Changes in occupational morbidity among workers of oil, oil processing and oil chemistry industries over 40 years. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2002;(5):9-13. (In Russ.)
4. Zakharova RR, Kalimullina GN, Romanov VS. Working conditions and health status of oil refining workers.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-26-35>
Original Research Article

- Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy*. 2018;20(2):217-222. (In Russ.)
19. Ilyashenko LK, Niftaliev VS. Features of the health status of workers in the oil and gas industry. *Perspektivy Nauki*. 2023;(2(161)):64-66. (In Russ.)
 20. Fassio F, Bussa M, Oddone E, et al. Health status of petrochemical workers: A narrative review. *G Ital Med Lav Ergon*. 2022;44(1):51-58.
 21. Bukhtiyarov IV, ed. [Occupational Diseases: National Guidelines.] 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media Publ.; 2024. (In Russ.)
 22. Koh DH, Jeon HK, Lee SG, Ryu HW. The relationship between low-level benzene exposure and blood cell counts in Korean workers. *Occup Environ Med*. 2015;72(6):421-427. doi: 10.1136/oemed-2014-102227
 23. Kosarev VV, Babanov SA. Occupational dorsopathy: Modern approach to pharmacotherapy of the pain syndrome. *Meditsinskiy Sovet*. 2013;(3-2):82-93. (In Russ.)
 24. Aghayeva FA. Eye pathology in workers of petrochemical industry (literature review). *Oftalmologiya*. 2017;(2(24)):112-116. (In Russ.)
 25. Francis CE, Allee L, Nguyen H, Grindstaff RD, Miller CN, Rayalam S. Endocrine disrupting chemicals: Friend or foe to brown and beige adipose tissue? *Toxicology*. 2021;463:152972. doi: 10.1016/j.tox.2021.152972
 26. Papalou O, Kandaraki EA, Papadakis G, Diamanti-Kandaraki E. Endocrine disrupting chemicals: An occult mediator of metabolic disease. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2019;10:112. doi: 10.3389/fendo.2019.00112

Сведения об авторах:

✉ **Новикова** Тамара Анатольевна – канд. биол. наук, доцент; зав. лабораторией гигиены труда; e-mail: novikovata-saratov@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1463-0559>.

Безрукова Галина Александровна – д-р мед. наук, доцент; гл. науч. сотрудник отдела медицины труда; e-mail: bezrukovagala@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1463-0559>.

Кочетова Наталья Александровна – инженер отдела медицины труда; e-mail: kochetova_kna@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7324-0959>.

Макаревская Дарья Михайловна – младший научный сотрудник лаборатории гигиены труда; e-mail: dashamakarevskaya@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6427-4125>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Новикова Т.А.; сбор и обработка данных: Кочетова Н.А., Макаревская Д.М.; анализ и интерпретация результатов: Новикова Т.А.; подготовка рукописи: Новикова Т.А., Безрукова Г.А. Все соавторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено локальным этическим комитетом Саратовского МНЦ гигиены (Протокол № 3 от 16.01.2023). От всех участников было получено информированное согласие.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 18.09.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

✉ Tamara A. **Novikova**, Cand. Sci. (Biol.), docent; Head of the Laboratory of Occupational Health; e-mail: novikovata-saratov@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1463-0559>.

Galina A. **Bezrukova**, Dr. Sci. (Med.), docent; Chief Researcher, Department of Occupational Medicine; e-mail: bezrukovagala@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6254-3506>.

Natalya A. **Kochetova**, Engineer, Department of Occupational Medicine; e-mail: kochetova_kna@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7324-0959>.

Darya M. **Makarevskaya**, Junior Researcher, Laboratory of Occupational Health; e-mail: dashamakarevskaya@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6427-4125>.

Author contributions: study conception and design: Novikova T.A.; data collection and processing: Kochetova N.A., Makarevskaya D.M.; analysis and interpretation of results: Novikova T.A.; draft manuscript preparation: Novikova T.A., Bezrukova G.A. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was provided by the Ethics Committee of the Saratov Medical Scientific Center for Hygiene, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (protocol No. 3 of January 16, 2023). Written informed consent was obtained from all participants.

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: September 18, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Состояние артерий у работников предприятий по производству минеральных удобрений при воздействии твердых частиц мелкодисперсных фракций пыли

А.Е. Носов, А.С. Байдина, А.С. Зорина, Е.А. Сухих, А.А. Крылов, В.М. Чигвинцев

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», ул. Монастырская д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме

Введение. Одним из техногенных загрязнителей производственной среды является мелкодисперсная пыль, повышающая риск развития у работников негативных кардиоваскулярных событий.

Цель исследования. Оценить структурно-функциональные характеристики артерий у работников, подвергающихся хроническому аэрогенному воздействию мелкодисперсной пыли.

Материалы и методы. Обследован 161 работник, подвергающийся аэрогенному воздействию мелкодисперсной пыли (группа наблюдения). Группу сравнения составили 82 работника администрации предприятия. Исследование одномоментное поперечное (сентябрь 2020 г.). Стандартными методами выполнено изучение толщины комплекса интима-медиа брахиоцефальных артерий (142 человека группы наблюдения и 78 – группы сравнения), оценка эндотелиальной функции (94 и 70 соответственно) и жесткости стенки плечевой артерии (150 и 65 соответственно). Содержание мелкодисперсных частиц в воздухе определяли прямым методом на анализаторе DustTrak 8533. Статистическая обработка выполнена по программе SPSS 23. Для сравнения количественных показателей использован критерий Манна – Уитни, качественных – хи-квадрат. Связь нарушений эндотелиальной функции с концентрацией мелкодисперсной пыли в воздухе устанавливалась методом логистической регрессии.

Результаты. Выявлены превышения концентраций мелкодисперсных фракций пыли в воздухе рабочей зоны группы наблюдения относительно группы сравнения: от 76 раз – для PM_{10} до 357 – для PM_1 . В группе наблюдения относительный прирост диаметра плечевой артерии (12,7 % против 16,1 %) и коэффициент чувствительности эндотелия (0,08 у.е. против 0,14 у.е.) были достоверно ниже аналогичных в группе сравнения ($p = 0,0001$ – $0,006$); чаще регистрировалась эндотелиальная дисфункция (28 человек – 29,8 % против 9–12,9 %, $p = 0,003$), а индекс augmentation на плечевой артерии имел большие значения (1,02 (0,91; 1,15) против 0,96 (0,87; 1,06), $p = 0,006$). Установлена достоверная связь повышения в воздухе концентрации мелкодисперсных фракций пыли с увеличением вероятности развития эндотелиальной дисфункции ($R^2 = 0,37$ – $0,4$).

Выводы. Повышенное содержание в воздухе рабочей зоны мелкодисперсных фракций пыли увеличивает вероятность развития у работников эндотелиальной дисфункции и нарастания жесткости артерий с вкладом профессионального фактора до 37–40 %. Снижение запыленности воздуха рабочей зоны до гигиенических нормативов является значимой мерой профилактики сердечно-сосудистой патологии у работников.

Ключевые слова: воздух рабочей зоны, мелкодисперсные частицы, растяжимость артерий, атеросклероз артерий, эндотелиальная дисфункция.

Для цитирования: Носов А.Е., Байдина А.С., Зорина А.С., Сухих Е.А., Крылов А.А., Чигвинцев В.М. Состояние артерий у работников предприятий по производству минеральных удобрений при воздействии твердых частиц мелкодисперсных фракций пыли // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 36–44. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-36-44

Artery Status in Mineral Fertilizer Industry Workers Occupationally Exposed to Particulate Matter

Alexander E. Nosov, Anastasia S. Baidina, Anastasiya S. Zorina, Ekaterina A. Sukhikh,
Alexey A. Krylov, Vladimir M. Chigvintsev

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

Summary

Introduction: Particulate matter is one of the anthropogenic pollutants of the occupational environment that increases the risk of adverse cardiovascular events in workers.

Objective: To assess structural and functional characteristics of arteries in workers with chronic exposure to airborne particulate matter.

Materials and methods: In September 2020, we conducted a cross-sectional study involving 161 workers occupationally exposed to airborne particulate matter (observation group) and 82 administrative employees (reference group). Standard methods were used to measure intima-media thickness of the brachiocephalic trunk (in 142 blue and 78 white-collar workers), assess endothelial function (in 94 and 70), and brachial artery wall stiffness (in 150 and 65 workers, respectively). Airborne particle concentrations were measured using a DustTrak 8533 analyzer. Statistical analysis was performed with SPSS 23. The Mann - Whitney and chi-square tests were used to compare quantitative and qualitative indicators, respectively. The relationship between dust exposure and endothelial dysfunction was established using logistic regression.

Results: Workplace air concentrations of fine particles measured for the observation group were significantly higher than those for the reference group: from 76 times for PM_{10} to 357 times for PM_1 . In the observation group, the relative increase in the brachial artery diameter (12.7 % versus 16.1 %) and the endothelial sensitivity index (0.08 versus 0.14 conventional units) were significantly lower than in the reference group ($p = 0.0001$ to 0.006); endothelial dysfunction was more prevalent (28 (29.8 %) versus 9 (12.9 %) workers, $p = 0.003$), and the brachial augmentation index was higher (1.02 (0.91; 1.15) versus 0.96 (0.87; 1.06), $p = 0.006$). We established a statistical relationship between higher airborne particle concentrations and increased likelihood of endothelial dysfunction ($R^2 = 0.37$ – 0.4).

Conclusions: High levels of particulate matter in the occupational environment enhance the likelihood of endothelial dysfunction and increased arterial stiffness with the estimated contribution of 37–40 %. Effective dust control measures are essential for prevention of cardiovascular diseases in industrial workers.

Keywords: workplace air, fine particles, arterial distensibility, arterial atherosclerosis, endothelial dysfunction.

Cite as: Nosov AE, Baidina AS, Zorina AS, Sukhikh EA, Krylov AA, Chigvintsev VM. Artery status in mineral fertilizer industry workers occupationally exposed to particulate matter. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):36–44. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-36-44

Введение. Одним из основных загрязнителей производственной среды предприятий по производству минеральных удобрений является мелкодисперсная пыль, способная адсорбировать на своей поверхности вредные химические соединения, такие как формальдегид, полициклические ароматические углеводороды, тяжелые металлы и их соединения и др. Мелкодисперсные частицы, обозначаемые как РМ (от англ. particulate matter – «взвешенные частицы»), за счет своего размера долгое время находятся в воздухе во взвешенном состоянии и при вдыхании могут достигать бронхиол и альвеол, приводя к механическому повреждению сосудов [1–3]. Воздействие промышленных пылегазовых аэрозолей является одной из ведущих причин возникновения профессиональных заболеваний работающего населения. Под воздействием мелкодисперсных частиц слизистая оболочка верхних дыхательных путей снижает свои защитные функции, в связи с этим мелкодисперсные частицы проникают в более глубокие дыхательные пути [3–5]. При этом в нашей стране показатели РМ не используются в оценке условий труда на рабочем месте. Показатели РМ₁, РМ_{2,5}, РМ₁₀ обычно используются для оценки качества атмосферного воздуха. РМ₄ является показателем респираторной фракции пыли в воздухе рабочей зоны, который используется за рубежом.

В последние годы повышение концентрации взвешенных частиц в воздухе рассматривается как фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний, что подтверждается многочисленными исследованиями [6–10]. Установлено, что РМ могут проходить через стенки сосудов, попадая непосредственно в кровоток и повреждая тем самым сосудистую систему [11, 12]. Ранее проведенными исследованиями подтверждено, что экспозиция аэрополлютантами приводит к вазоконстрикции, эндотелиальной дисфункции и последующим структурным изменениям артериального русла, которые играют главную роль в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний [13–17]. Таким образом, для разработки эффективных мероприятий по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, ассоциированных с воздействием взвешенных частиц в условиях промышленного производства, необходимо проведение всесторонней оценки факторов риска здоровью работающих.

Цель исследования – изучить влияние аэрогенного воздействия мелкодисперсных фракций пыли воздуха рабочей зоны на структурно-функциональные характеристики артерий работников, осуществляющих деятельность в условиях воздействия взвешенных частиц.

Ограничение исследования. Исследование проводилось одномоментным по времени периодом отбора проб воздуха рабочей зоны, отсутствием оценки факторов образа жизни, недостаточным количеством данных для исследования кумулятивного действия пыли и построения модели с учетом доза-зависимого эффекта. Проведен замер не только респираторных фракций мелкодисперсных частиц, но и частиц размером до 15 мкм.

Материалы и методы. Проведено одномоментное поперечное обследование (сентябрь 2020 г.)

161 работника 2 предприятий по производству минеральных удобрений (группа наблюдения), осуществляющих трудовую деятельность в условиях воздействия вредных производственных факторов, включающих мелкодисперсные частицы (по данным СОУТ класс условий труда 3.1–3.2 – воздействие пыли хлорида калия, химического фактора). В группу сравнения вошли 82 сотрудника управленческого аппарата предприятий, работающих в допустимых условиях труда без вредных факторов производства. Группы были сопоставимы по полу, возрасту, стажу работы, статусу курения, артериальной гипертензии. Средний возраст работников группы наблюдения составил $42,8 \pm 10,3$ года, средний стаж: $16,7 \pm 11,5$ года. В группе наблюдения 127 женщин и 34 мужчины. Средний возраст группы сравнения – $45,5 \pm 9,7$ года ($p = 0,06$), средний стаж – $19,7 \pm 11,3$ года ($p = 0,07$). В группе сравнения 64 женщины и 18 мужчин ($p = 0,882$). Курили в группе наблюдения 29,1 %, а в группе сравнения – 21,7 % ($p = 0,13$). Наличие в анамнезе артериальной гипертензии в группе наблюдения отмечено у 24,8 %, а в группе сравнения – у 21,9 % обследованных ($p = 0,62$).

Проведены: клинический осмотр кардиологом, ультразвуковое дуплексное сканирование плечевой и брахиоцефальных артерий, сфигмоманометрия, изучена эндотелий зависимая вазодилатация (ЭЗВД) плечевой артерии.

Исследование жесткости артериальной стенки выполнено с помощью сфигмометра VaSera VS-1500N (Fukuda Denshi CO., LTD) с оценкой CAVI (сердечно-лодыжечный сосудистый индекс), AI (индекс аугментации на плечевой артерии), лодыжечно-плечевого индекса (ABI) у 150 человек группы наблюдения и 65 человек группы сравнения.

Эндотелий зависимую вазодилатацию исследовали у 94 человек группы наблюдения и 70 человек группы сравнения по методике D.S. Celermajer и соавторов (1992 г.). Исследование эндотелий зависимой вазодилатации плечевой артерии выполнялось на системе ультразвуковой диагностики экспертного класса Vivid q (GE Vingmed Ultrasound AS, зав. номер 050758Vq) с использованием линейного матричного датчика (4,0–13,0 МГц) по модифицированной методике D.S. Celermajer et al. и соавторов (1992 г.) [18]. Диаметр плечевой артерии и максимальную скорость кровотока измеряли в продольном сечении на 2–5 см выше локтевого сгиба в состоянии покоя за 30 с до компрессии, вызванной с помощью манжеты сфигмоманометра, наложенной выше места визуализации плечевой артерии и накачанной до давления, на 50 мм рт. ст. превышающего систолическое. Продолжительность компрессии составляла 5 мин. Диаметр плечевой артерии и максимальную скорость кровотока определяли на 60-й секунде после удаления воздуха из манжеты. Изменения диаметра сосуда оценивали в процентном отношении к исходной величине. За нормальную реакцию плечевой артерии принималось ее расширение на 10 и более процентов от исходного уровня. Меньший прирост или вазоконстрикция трактовались как нарушение функции эндотелия. Для оценки функции эндотелия также использовался

показатель «чувствительность плечевой артерии к изменению сдвига на эндотелий», характеризующий чувствительность эндотелия к изменению скорости кровотока и способность регулировать диаметр сосуда;

Расчет коэффициента чувствительности плечевой артерии производился по формуле:

$$K = \frac{rD}{D_0} / \frac{r\tau}{\tau_0}, \quad (1)$$

где K – коэффициент чувствительности плечевой артерии к изменению механического стимула, rD – разница между диаметром артерии после декомпрессии и исходным диаметром, D_0 – исходный диаметр артерии, $r\tau$ – разница напряжения сдвига на эндотелий после декомпрессии и исходным значением, τ_0 – напряжение сдвига на эндотелий исходное, рассчитанное по формуле: $\tau = 4\eta V/D$, где η – вязкость крови (в среднем 0,05 Пз); V – максимальная скорость кровотока, см/сек; D – диаметр артерии, см.

Ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий проводили с использованием линейного матричного датчика (4,0–13,0 МГц) на системе ультразвуковой диагностики Vivid q (GE Vingmed Ultrasound AS) у 142 человек группы наблюдения и 78 человек группы сравнения. Оценивалась толщина комплекса интима-медиа (ТКИМ), наличие атеросклеротических бляшек. В соответствии с рекомендациями Американского общества эхокардиографии, при исследовании брахиоцефальных артерий за норму толщины комплекса интима-медиа (ТКИМ) принималась ее толщина менее 75 процентиля для соответствующего возраста и пола: в возрасте менее 40 лет у мужчин и женщин менее 0,7 мм, у мужчин в возрасте 40–50 лет и у женщин в возрасте 40–60 лет менее 0,8 мм, у мужчин старше 50 лет и женщин старше 60 лет $\leq 0,9$ мм [19].

Различное количество исследований обусловлено временными ограничениями. Поскольку исследование эндотелий зависимой вазодилатации занимает в среднем в 4 раза больше времени, в условиях массового обследования было принято решение о сокращении количества некоторых исследований. Отбор проводился случайным образом: медрегистратор ставил метку на карте согласно планируемому количеству исследований.

Определение содержания РМ в воздухе рабочей зоны выполнялось на рабочих местах непосредственно во время производственного процесса анализатором аэрозоля DustTrak 8533 (TSI Incorporated). Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88¹. Длительность отбора составила 5–10 минут в зависимости от визуальной запыленности на точке отбора.

Для сравнительной оценки проведены замеры по определению концентраций мелкодисперсных фракций пыли в воздухе рабочих мест работников, осуществляющих трудовую деятельность в помещениях, изолированных от основного производства,

в связи с тем, что в Российской Федерации на данный момент не разработаны нормативы по содержанию РМ в воздухе рабочей зоны.

Статистическая обработка проводилась с применением программы SPSS 23. Данные для концентраций фракций пыли представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения, данные ТКИМ и показатели артериальной жесткости – в виде медианы и межквартильного размаха. Сравнение количественных показателей осуществлялось по критерию Манна – Уитни, качественных – по критерию хи-квадрат.

Оценка параметров парной модели, отражающей зависимость относительного прироста диаметра плечевой артерии от концентраций пылевых мелкодисперсных фракций, проводилась методом построения логистической регрессионной модели:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 \cdot x)}}, \quad (2),$$

где p – вероятность отклонения показателя «Относительный прирост диаметра плечевой артерии» от нормы;

x – уровень пылевой экспозиции мелкодисперсных фракций, мг/м³;

b_0, b_1 – коэффициенты логистической регрессионной модели.

Определение параметров математической модели (b_0, b_1) производится методом наименьших квадратов с применением пакета Statistica 10. Достаточным уровнем значимости для статистических процедур считали $p < 0,05$.

Результаты. Результаты выполненных замеров массовой концентрации мелкодисперсных частиц РМ₁, РМ_{2,5}, РМ₄, РМ₁₀ и РМ₁₅ в воздухе рабочей зоны на рабочих местах работников предприятий № 1 и 2 и воздухе административного помещения приведены в таблицах 1 и 2.

Результаты исследования воздуха рабочей зоны предприятия по производству минеральных удобрений показали, что на всех 7 исследованных рабочих местах предприятия № 1 уровни содержания пылевых мелкодисперсных фракций были выше относительно помещения сравнения. При этом содержание фракции РМ₁ выше относительно рабочего места сравнения от 38 до 357 раз, фракции РМ_{2,5} – от 19 до 164 раз, фракции РМ₄ – от 20 до 178 раз, фракции РМ₁₀ – от 8 до 76 раз. Максимальное содержание мелкодисперсных фракций пыли зафиксировано на рабочих местах аппаратчика флотационного процесса, фильтровальщика, машиниста мельниц.

На предприятии № 2 из восьми исследованных рабочих мест на семи установлено повышенное содержание мелкодисперсной пыли. При этом содержание фракции РМ₁ выше относительно рабочего места сравнения от 15 до 312 раз, фракции РМ_{2,5} – от 7 до 128 раз, фракции РМ₄ – от 7 до 130 раз, фракции РМ₁₀ – от 3 до 50 раз. Максимальное содержание мелкодисперсной пыли в воздухе рабочей зоны зафиксировано на рабочих местах

¹ ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://helpeng.ru/public/normdoc/ssbt/gost_12.1.005-88_1.pdf (дата обращения: 15.06.2024).

Таблица 1. Массовые концентрации мелкодисперсных фракций пыли в воздухе рабочей зоны на рабочих местах предприятий № 1, 2

Table 1. Mass concentrations of particulate matter fractions measured in the workplace air of factories 1 and 2

Номер точки обследования, рабочее место / Measurement point number, workplace	Массовые концентрации мелкодисперсных фракций пыли мг/м ³ / Mass concentrations of PM fractions, mg/m ³				
	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₄	PM ₁₀	PM ₁₅
Предприятие № 1 / Factory 1					
T.1. Аппаратчик флотационного процесса / P.1. Flotation process operator	1,43 ± 0,29	1,64 ± 0,33	1,78 ± 0,36	2,29 ± 0,46	2,76 ± 0,55
T.2. Филтровальщик сменный / P.2. Shift filterman	0,92 ± 0,18	1,05 ± 0,21	1,16 ± 0,23	1,59 ± 0,32	1,79 ± 0,36
T.3. Машинист смесительной установки гидроакладки / P.3. Hydraulic filling mixing plant operator	0,80 ± 0,16	0,89 ± 0,18	1,00 ± 0,20	1,76 ± 0,35	2,32 ± 0,46
T.4. Центрифуговщик / P.4. Centrifuge operator	0,67 ± 0,13	0,78 ± 0,16	0,83 ± 0,17	0,97 ± 0,19	1,06 ± 0,21
T.5. Машинист мельниц сменный / P.5. Shift grinding machine operator	1,32 ± 0,26	1,56 ± 0,31	1,69 ± 0,34	2,09 ± 0,42	2,39 ± 0,48
T.6. Аппаратчик сгустителей / P.6. Flocculation plant operator	0,57 ± 0,11	0,64 ± 0,13	0,70 ± 0,14	0,93 ± 0,19	1,13 ± 0,23
T.7. Машинист компрессорных установок / P.7. Compressor unit operator	0,18 ± 0,04	0,19 ± 0,04	0,20 ± 0,04	0,23 ± 0,05	0,27 ± 0,05
Предприятие № 2 / Factory 2					
T.1. Аппаратчик измельчения отделения обогащения / P.1. Enrichment department grinding operator	0,70 ± 0,14	0,75 ± 0,15	0,79 ± 0,16	0,94 ± 0,19	1,11 ± 0,22
T.2. Аппаратчик флотационного процесса / P.2. Flotation process operator	0,53 ± 0,11	0,58 ± 0,12	0,63 ± 0,13	0,76 ± 0,15	0,87 ± 0,17
T.3. Центрифуговщик сменный 3 и 4 разряда / P.3. Shift centrifuge operator of grades 3 and 4	0,41 ± 0,08	0,46 ± 0,09	0,49 ± 0,10	0,55 ± 0,11	0,62 ± 0,12
T.4. Центрифуговщик сменный 4 разряда / P.4. Shift centrifuge operator of grade 4	0,33 ± 0,07	0,37 ± 0,08	0,40 ± 0,08	0,50 ± 0,10	0,63 ± 0,13
T.5. Аппаратчик вакуум-насосного отделения / P.5. Vacuum pump department operator	0,44 ± 0,09	0,46 ± 0,09	0,47 ± 0,09	0,50 ± 0,10	0,52 ± 0,10
T.6. Машинист мостового крана / P.6. Overhead crane operator	0,39 ± 0,08	0,45 ± 0,09	0,49 ± 0,10	0,70 ± 0,14	0,96 ± 0,19
T.7. Аппаратчик сушильного отделения / P.7. Drying department operator	1,25 ± 0,25	1,28 ± 0,26	1,30 ± 0,26	1,49 ± 0,30	2,15 ± 0,43
T.8. Аппаратчик приготовления реагентов / P.8. Reagent preparation operator	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,12 ± 0,02

Таблица 2. Массовые концентрации мелкодисперсных фракций пыли в воздухе административного помещения, изолированного от производства

Table 2. Mass concentrations of particulate matter fractions measured in the workplace air of administrative premises isolated from production

Номер точки обследования, рабочее место / Measuring point number, workplace	Массовые концентрации мелкодисперсных фракций пыли мг/м ³ / Mass concentrations of PM fractions, mg/m ³				
	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₄	PM ₁₀	PM ₁₅
T.1. Специалист отдела пропусков / Permit specialist	0,004 ± 0,001	0,010 ± 0,002	0,010 ± 0,002	0,030 ± 0,010	0,090 ± 0,020

аппаратчика измельчения отделения обогащения, аппаратчика сушильного отделения.

Оценка доли каждой фракции мелкодисперсных частиц в воздухе рабочей зоны показала различие каждой фракции мелкодисперсных частиц на рабочих местах на производстве и в помещении сравнения (таблица 3).

На основных производственных участках предприятий № 1 и 2 в воздухе рабочих мест

преобладает фракция мелкодисперсной пыли размером до 1 мкм (PM₁), что составляет в среднем 57% от общей концентрации пыли. В воздухе рабочих мест административного помещения наибольшая доля мелкодисперсной пыли приходится на фракции размером PM₁₀ и PM₁₅, что составляет 20,7 % и 66,7 % соответственно.

Ультразвуковое исследование ЭЗВД показало, что в группе наблюдения были статистически

Таблица 3. Вклад фракций мелкодисперсных частиц в воздухе рабочей зоны на рабочих местах предприятий № 1, 2 и помещения сравнения
Table 3. Proportions of particulate matter fractions measured in the workplace air of factories 1 and 2 and the reference room

Номер точки обследования, рабочее место / Measurement point number, workplace	Доля мелкодисперсных фракций пыли, % / Proportion of PM fractions, %				
	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₄	PM ₁₀	PM ₁₅
Предприятие № 1 / Factory 1					
T1. Аппаратчик флотационного процесса / P.1. Flotation process operator	51,7	7,6	5,1	18,5	17,2
T.2. Фильтровальщик сменный / P.2. Shift filterman	51,1	7,5	6,2	24,0	11,2
T.3. Машинист смесительной установки гидрозакладки / P.3. Hydraulic filling mixing plant operator	34,4	4,1	4,5	32,8	24,1
T.4. Центрифуговщик / P.4. Centrifuge operator	63,1	10,4	4,7	13,0	8,8
T.5. Машинист мельниц сменный / P.5. Shift grinding machine operator	55,2	10,0	5,4	16,7	12,6
T.6. Аппаратчик сгустителей / P.6. Flocculation plant operator	50,6	6,1	5,0	20,6	17,6
T.7. Машинист компрессорных установок / P.7. Compressor unit operator	67,2	4,1	2,6	10,3	15,9
Предприятие № 2 / Factory 2					
T.1. Аппаратчик измельчения отделения обогащения / P.1. Enrichment department grinding operator	63,2	4,4	3,2	13,8	15,3
T.2. Аппаратчик флотационного процесса / P.2. Flotation process operator	60,8	6,6	5,0	15,3	12,4
T.3. Центрифуговщик сменный 3 и 4 разряда / P.3. Shift centrifuge operator of grades 3 and 4	65,9	9,1	4,7	10,2	10,1
T.4. Центрифуговщик сменный 4 разряда / P.4. Shift centrifuge operator of grade 4	52,0	7,3	4,6	15,9	20,3
T.5. Аппаратчик вакуум-насосного отделения / P.5. Vacuum pump department operator	85,9	3,3	1,6	5,2	4,1
T.6. Машинист мостового крана / P.6. Overhead crane operator	40,9	5,9	4,6	20,9	27,8
T.7. Аппаратчик сушильного отделения / P.7. Drying department operator	58,1	1,4	0,9	8,8	30,7
T.8. Аппаратчик приготовления реагентов / P.8. Reagent preparation operator	48,3	6,7	6,7	16,7	21,7
Помещение сравнения / Reference workplace					
T.1. Специалист отдела пропусков / Permit specialist	4,6	3,5	4,6	20,7	66,7

значимо ниже значения относительного прироста диаметра плечевой артерии (12,7 % против 16,1 %, $p = 0,006$) и коэффициента чувствительности эндотелия к напряжению сдвига (0,08 у.е. против 0,14 у.е., $p = 0,0001$). Патологическая ЭЗВД (посткомпрессионная дилатация плечевой артерии менее 10%) выявлена у 28 человек (29,8 %) в группе наблюдения и у 9 человек (12,9 %) группы сравнения.

Анализ полученных значений показателей сфигмоманометрии обследованных работников не определил достоверных межгрупповых различий ($p = 0,12-0,99$). Однако при этом в группе наблюдения индекс аугментации (AI) был статистически значимо выше, чем в группе сравнения (таблица 4).

Анализ данных ультразвукового исследования брахиоцефальных артерий показал, что статистически значимых различий по абсолютной ТКМ и доле ее значений, превышающих норму для соответствующего возраста и пола, между группами не выявлено (таблица 5).

Построены парные логистические регрессионные модели, отражающие зависимость «экспозиция-ответ», которые позволили получить оценку вероятности

отклонения показателя «Относительный прирост диаметра плечевой артерии» от нормы в зависимости от воздействия пылевого фактора (уровня концентрации). Получены следующие параметры логистических регрессионных моделей:

- PM₁: $b_0 = -1,7673$, $b_1 = 1,6280$, $R^2 = 0,40$, $p < 0,05$;
- PM_{2,5}: $b_0 = -1,7467$, $b_1 = 1,4010$, $R^2 = 0,40$, $p < 0,05$;
- PM₄: $b_0 = -1,7361$, $b_1 = 1,2811$, $R^2 = 0,39$, $p < 0,05$;
- PM₁₀: $b_0 = -1,7315$, $b_1 = 0,9881$, $R^2 = 0,39$, $p < 0,05$;
- PM₁₅: $b_0 = -1,7456$, $b_1 = 0,8087$, $R^2 = 0,37$, $p < 0,05$.

Полученные зависимости показаны на рисунке. При повышении концентрации взвешенных веществ мелкодисперсных фракций вероятность нарушения эндотелиальной функции по данным ЭЗВД увеличивается. Коэффициент детерминации (R^2) в логистических моделях составил 0,37–0,4.

Обсуждение. Оценивая запыленность воздуха на рабочем месте аппаратчика флотационного процесса предприятия № 1, следует отметить, что содержание фракции PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀ выше относительно рабочего места сравнения в 357, 164, 178, 76 раз соответственно. На рабочем месте фильтровальщика содержание фракции PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀

Таблица 4. Данные сфигмоманометрии у обследованных работников, Ме (25;75)

Table 4. Sphygmomanometry results in the examined workers, Me (25;75)

Показатели сфигмоманометрии / Sphygmomanometry results	Группа наблюдения / Observation group	Группа сравнения / Reference group	<i>p</i>
CAVI справа / right CAVI	7 (6,4;7,7)	7 (6,4;7,7)	0,96
CAVI слева / left CAVI	6,9 (6,4;7,7)	7 (6,3;7,6)	0,99
ABI справа / right ABI	1,07(1,03;1,12)	1,08 (1,03;1,13)	0,63
ABI слева / left ABI	1,08 (1,03;1,13)	1,08 (1,04;1,13)	0,90
AI	1,02 (0,91;1,15)	0,96 (0,87;1,06)	0,006

Примечание: значение $p \leq 0,05$ считалось статистически значимым.

Сокращения: CAVI, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс; ABI, лодыжечно-плечевой индекс; AI, индекс аугментации.

Note: the p -value ≤ 0.05 was judged as statistically significant.

Abbreviations: CAVI, cardio-ankle vascular index; ABI, ankle brachial index; AI, augmentation index.

Таблица 5. Данные ультразвукового исследования БЦА у обследованных работников, %

Table 5. Results of ultrasound of the brachiocephalic arteries in the examined workers, %

Данные ультразвукового исследования БЦА / BCA ultrasound results	Группа наблюдения / Observation group	Группа сравнения / Reference group	<i>p</i>
Значения толщины КИМ / CIMT values, Me (25;75)			
ТКИМ, мм / CIMT, mm	0,60 (0,50;0,70)	0,50 (0,50;0,70)	0,09
Частота выявления изменения БЦА, % / Frequency of detection of BCA changes, %			
- наличие атеросклеротических бляшек / atherosclerotic plaques, <i>n</i> (%)	17 (11,9)	11 (14,1)	0,65
- увеличение ТКИМ / increased CIMT, <i>n</i> (%)	15 (10,6)	10 (12,8)	0,617

Примечание: значение $p \leq 0,05$ считалось статистически значимым.

Сокращения: CAVI, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс; ABI, лодыжечно-плечевой индекс; AI, индекс аугментации.

Note: the p -value ≤ 0.05 was judged as statistically significant.

Abbreviations: BCA, brachiocephalic arteries; CIMT, carotid intima-media thickness.

выше относительно рабочего места сравнения в 230, 105, 116, 53 раз соответственно. На рабочем месте машиниста мельниц содержание фракции $PM_{1,}$ $PM_{2,5,}$ $PM_{4,}$ PM_{10} выше относительно рабочего места сравнения в 330, 156, 169, 70 раз соответственно.

На рабочем месте аппаратчика измельчения отделения обогащения предприятия № 2 содержание фракций $PM_{1,}$ $PM_{2,5,}$ $PM_{4,}$ PM_{10} выше относительно рабочего места сравнения в 175, 75, 79, 31 раз соответственно. На рабочем месте аппаратчика сушильного отделения установлено содержание фракции $PM_{1,}$ $PM_{2,5,}$ $PM_{4,}$ PM_{10} выше относительно рабочего места сравнения в 312, 128, 130, 50 раз соответственно.

Результат анализа по процентному составу частиц на предприятиях по производству минеральных удобрений показал, что наибольшая доля всех частиц, находящихся в воздухе рабочей зоны, относится к $PM_{1,}$. По данным научной литературы, чем меньше размеры пылевых частиц, тем большую биологическую активность они проявляют [20, 21]. При этом важно учитывать не только дисперсность пылевых частиц, но и их качественный состав, поскольку на состояние сосудов в организме работников, занятых на производстве с вредными условиями труда, большое влияние может оказывать химический состав частиц.

Анализ значений показателей артериальной жесткости работников показал, что доли работников в сравниваемых группах с морфологическими изменениями индексов CAVI, ABI были сопоставимы. В то же время по результатам контурного анализа

пульсовой волны (индекс аугментации) в группе наблюдения имелись признаки повышения артериальной жесткости. В литературе имеются противоречивые данные о влиянии взвешенных частиц на жесткость артерий. S.G. Al-Kindi и соавт. приводят данные о статистически значимой корреляции прироста скорости пульсовой волны за 3 года наблюдения у лиц, проживающих в условиях воздействия $PM_{2,5}$ в концентрации выше 12 мг/м³, в то же время в начале исследования авторы корреляций данных показателей не выявили [22]. L. Zanoli и соавт. выполнили систематический обзор литературы о влиянии краткосрочного и длительного воздействия $PM_{2,5-10}$ на показатели артериальной жесткости. В 6 из 8 исследований, включенных в обзор, выявлено повышение скорости пульсовой волны и индекса аугментации при воздействии $PM_{2,5-10}$ [23].

В группе наблюдения было обнаружено наличие эндотелиальной дисфункции у 29,8 % работников, при этом в группе наблюдения в 2,3 раза больше лиц с эндотелиальной дисфункцией, чем в группе сравнения. В настоящее время, в литературе имеется ряд оригинальных статей и систематических обзоров, которые подтверждают повреждающее действие РМ на функцию эндотелия. Преимущественно, патогенетический механизм объясняется повреждением клеток эндотелия и последующим нарушением баланса вазодилатирующих и вазоконстрикторных, а также противо- и провоспалительных факторов [24, 25]. Эндотелиальная дисфункция большинством авторов рассматривается как начальный этап атерогенеза [14]. В настоящем исследовании не

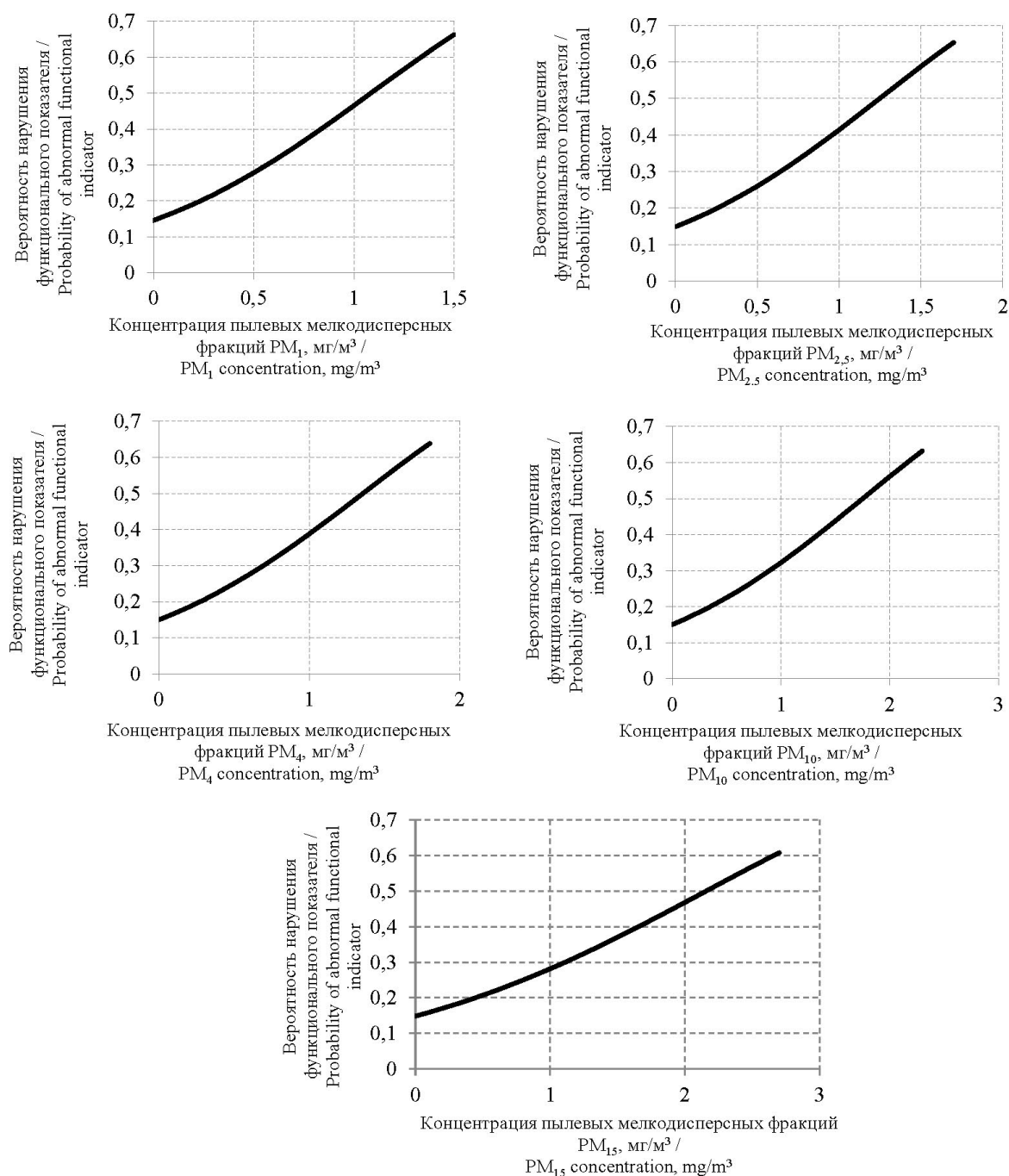


Рисунок. Зависимость вероятности отклонения показателя «Относительный прирост диаметра плечевой артерии» от нормы при воздействии пылевого фактора

Figure. The relationship between exposure to particulate matter and the probability of abnormal relative increase in the brachial artery diameter

выявлено статистически значимых различий по частоте выявления атеросклеротических бляшек в брахиоцефальных артериях. В то же время значение медианы толщины КИМ в группе наблюдения имело тенденцию к увеличению относительно группы сравнения. По данным других исследований, длительное воздействие высоких концентраций мелкодисперсных частиц приводит к увеличению ТКИМ [26, 27].

Таким образом, в настоящем исследовании продемонстрировано нарушение функции эндотелия у работников, подвергающихся воздействию взве-

шенных мелкодисперсных частиц в воздухе рабочей зоны. Выполнено математическое моделирование зависимости эндотелиальной дисфункции от концентрации РМ в воздухе с определением вклада РМ в ее формирование. Структурные изменения артерий были менее показательными, но в группе наблюдения установлено повышение индекса аугментации, что свидетельствует о повышении артериальной жесткости, и тенденция к увеличению ТКИМ.

Выводы

1. При повышении концентрации взвешенных веществ мелкодисперсных фракций пыли повышается

вероятность развития нарушения эндотелиальной функции, а также повышается артериальная жесткость по данным контурного анализа пульсовой волны.

2. Вклад мелкодисперсных фракций пыли в развитие эндотелиальной дисфункции составляет 37–40 %.

3. На рабочих местах с высоким содержанием РМ необходимо снижение концентрации мелкодисперсных фракций пыли в воздухе рабочей зоны до гигиенических нормативов, что позволит внести значимый вклад в профилактику сердечно-сосудистой патологии у работников.

4. Расширение количества обследуемых работников, увеличение времени исследования и оценка дополнительных факторов, способствующих развитию атеросклероза, а также более детальное изучение респираторных фракций мелкодисперсных частиц воздуха рабочей зоны может стать направлением для дальнейших исследований по оценке влияния аэрогенного воздействия мелкодисперсных частиц воздуха рабочей зоны на состояние артерий работников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Cheriyani D, Hyun KY, Jaegoo H, Choi JH. Assessing the distributional characteristics of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ exposure profile produced and propagated from a construction activity. *J Clean Prod.* 2020;276:124335. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124335
- Li Y, Yang M, Men T, et al. Oxidative stress induced by ultrafine carbon black particles can elicit apoptosis in vivo and vitro. *Sci Total Environ.* 2020;709:135802. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135802
- Fatima S, Mishra SK, Kumar U, Ahlawat A, Dabodiya TS, Kholas D. Role of morphology and chemical composition of PM for particle deposition in human respiratory system: A case study over megacity-Delhi. *Urban Clim.* 2023;47:101344. doi: 10.2139/ssrn.4161388
- Егорова А.М., Луценко Л.А., Федорович Г.В., Сухова А.В. Совершенствование гигиенических критериев оценки риска здоровью работников пылевых профессий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 33–37. Egorova AM, Lutsenko LA, Fedorovich GV, Sukhova AV. Improvement of hygiene criteria for assessing the health risk of workers in dust professions. *Mezhdunarodnyy Zhurnal Prikladnykh i Fundamental'nykh Issledovaniy.* 2020;(10):33-37. (In Russ.) doi: 10.17513/mjpf.13135
- Pędzik M, Rogoziński T, Majka J, et al. Fine dust creation during hardwood machine sanding. *Appl Sci.* 2021;11(14):6602. doi: 10.3390/app11146602
- Liu T, Jiang Y, Hu J, et al. Association of ambient PM₁ with hospital admission and recurrence of stroke in China. *Sci Total Environ.* 2022;828:154131. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154131
- Ma X, Duan H, Zhang H, et al. Short-term effects of PM₁, PM_{2.5}, and PM_{2.5} constituents on myocardial infarction mortality in Qingdao, China: A time-stratified case-crossover analysis. *Atmos Environ.* 2023;294:119478. doi: 10.1016/j.atmosenv.2022.119478
- Xu R, Wei J, Liu T, et al. Association of short-term exposure to ambient PM₁ with total and cause-specific cardiovascular disease mortality. *Environ Int.* 2022;169:107519. doi: 10.1016/j.envint.2022.107519
- Yang BY, Guo Y, Morawska L, et al. Ambient PM₁ air pollution and cardiovascular disease prevalence: Insights from the 33 Communities Chinese Health Study. *Environ Int.* 2019;123:310–317. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.012
- Li N, Chen G, Liu F, et al. Associations of long-term exposure to ambient PM₁ with hypertension and blood pressure in rural Chinese population: The Henan rural cohort study. *Environ Int.* 2019;128:95–102. doi: 10.1016/j.envint.2019.04.037
- Orona NS, Astort F, Maglione GA, Yakisich JS, Tasat DR. Direct and indirect effect of air particles exposure induce Nrf2-dependent cardiomyocyte cellular response in vitro. *Cardiovasc Toxicol.* 2019;19(6):575–587. doi: 10.1007/s12012-019-09530-z
- Ljungman PLS, Andersson N, Stockfelt L, et al. Long-term exposure to particulate air pollution, black carbon, and their source components in relation to ischemic heart disease and stroke. *Environ Health Perspect.* 2019;127(10):107012. doi: 10.1289/ehp4757
- Al-Kindi SG, Brook RD, Biswal S, Rajagopalan S. Environmental determinants of cardiovascular disease: Lessons learned from air pollution. *Nat Rev Cardiol.* 2020;17(10):656–672. doi: 10.1038/s41569-020-0371-2
- Liang S, Zhang J, Ning R, et al. The critical role of endothelial function in fine particulate matter-induced atherosclerosis. *Part Fibre Toxicol.* 2020;17(1):61. doi: 10.1186/s12989-020-00391-x
- Hu T, Zhu P, Liu Y, et al. PM_{2.5} induces endothelial dysfunction via activating NLRP3 inflammasome. *Environ Toxicol.* 2021;36(9):1886–1893. doi: 10.1002/tox.23309
- Tian G, Wang J, Lu Z, et al. Indirect effect of PM₁ on endothelial cells via inducing the release of respiratory inflammatory cytokines. *Toxicol In Vitro.* 2019;57:203–210. doi: 10.1016/j.tiv.2019.03.013
- Sharma K, Lee HH, Gong DS, et al. Fine air pollution particles induce endothelial senescence via redox-sensitive activation of local angiotensin system. *Environ Pollut.* 2019;252(Pt A):317–329. doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.066
- Celermajer DS, Sorensen KE, Gooch VM, et al. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet.* 1992;340(8828):1111–1115. doi: 10.1016/0140-6736(92)93147-f
- Stein JH, Korcarz CE, Hurst RT, et al. Use of carotid ultrasound to identify subclinical vascular disease and evaluate cardiovascular disease risk: A consensus statement from the American Society of Echocardiography Carotid Intima-Media Thickness Task Force. Endorsed by the Society for Vascular Medicine. *J Am Soc Echocardiogr.* 2008;21(2):93–111. doi: 10.1016/j.echo.2007.11.011
- Yang M, Guo YM, Bloom MS, et al. Is PM₁ similar to PM_{2.5}? A new insight into the association of PM₁ and PM_{2.5} with children's lung function. *Environ Int.* 2020;145:106092. doi: 10.1016/j.envint.2020.106092
- Kwon HS, Ryu MH, Carlsten C. Ultrafine particles: Unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Exp Mol Med.* 2020;52(3):318–328. doi: 10.1038/s12276-020-0405-1
- Al-Kindi SG, Brook RD, Dobre M, Rahman M, Wright JT, Rajagopalan S. Ambient air pollution and pulse wave velocity in patients with hypertension treated with intensive versus standard blood pressure control. *Hypertension.* 2022;79(12):e144–e146. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.122.19779
- Zanol L, Lentini P, Granata A, et al. A systematic review of arterial stiffness, wave reflection and air pollution. *Mol Med Rep.* 2017;15(5):3425–3429. doi: 10.3892/mmr.2017.6392
- Riggs DW, Zafar N, Krishnasamy S, et al. Exposure to airborne fine particulate matter is associated with impaired endothelial function and biomarkers of oxidative stress and inflammation. *Environ Res.* 2020;180:108890. doi: 10.1016/j.envres.2019.108890

25. Xia B, Zhou Y, Zhu Q, *et al.* Personal exposure to PM_{2.5} constituents associated with gestational blood pressure and endothelial dysfunction. *Environ Pollut.* 2019;250:346–356. doi: 10.1016/j.envpol.2019.04.024
26. Wilker EH, Mittleman MA, Coull BA, *et al.* Long-term exposure to black carbon and carotid intima-media thickness: The normative aging study. *Environ Health Perspect.* 2013;121(9):1061–1067. doi: 10.1289/ehp.1104845
27. Peralta AA, Schwartz J, Gold DR, Vonk JM, Vermeulen R, Gehring U. Quantile regression to examine the association of air pollution with subclinical atherosclerosis in an adolescent population. *Environ Int.* 2022;164:107285. doi: 10.1016/j.envint.2022.107285

Сведения об авторах:

Носов Александр Евгеньевич – к.м.н., заведующий отделением лучевой и функциональной диагностики; e-mail: nosov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0539-569X>.

Байдина Анастасия Сергеевна – к.м.н., врач-кардиолог консультативно-поликлинического отделения; e-mail: anastasia_baidina@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3131-5868>.

✉ **Зорина** Анастасия Сергеевна – к.б.н., заведующий лабораторией методов анализа наноматериалов и мелкодисперсных частиц; e-mail: zorina@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4276-9921>.

Сухих Екатерина Александровна – младший научный сотрудник лаборатории методов анализа наноматериалов и мелкодисперсных частиц; e-mail: suhikh@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-6746>.

Крылов Алексей Александрович – младший научный сотрудник лаборатории методов анализа наноматериалов и мелкодисперсных частиц; e-mail: Krylov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8931-0539>.

Чигвинцев Владимир Михайлович – научный сотрудник отдела математического моделирования систем и процессов; e-mail: cvm@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>.

Информация о вкладе авторов: концепция, актуальность, исследовательская часть, подготовка рукописи: *Носов А.Е., Байдина А.С., Зорина А.С.*; аналитическая и исследовательская часть: *Байдина А.С., Крылов А.А., Сухих Е.А.*; построение математической модели: *Чигвинцев В.М.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: протокол исследования одобрен комитетом по этике Федерального бюджетного учреждения науки «Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, протокол заседания № 2 от 13.02.2020. Все работники дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 15.01.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликована: 31.10.24

Author information:

Alexander E. **Nosov**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation and Functional Diagnostics; e-mail: nosov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0539-569X>.

Anastasia S. **Baidina**, Cand. Sci. (Med.), cardiologist, Outpatient Department; e-mail: anastasia_baidina@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3131-5868>.

✉ Anastasiya S. **Zorina**, Cand. Sci. (Biol.), Head of the Nanomaterial and Fine Particle Testing Laboratory; e-mail: zorina@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4276-9921>.

Ekaterina A. **Sukhikh**, Junior Researcher, Nanomaterial and Fine Particle Testing Laboratory; e-mail: suhikh@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-6746>.

Alexey A. **Krylov**, Junior Researcher, Nanomaterial and Fine Particle Testing Laboratory; e-mail: Krylov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8931-0539>.

Vladimir M. **Chigvintsev**, Researcher, Department of Mathematical Modeling of Systems and Processes; e-mail: cvm@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>.

Author contributions: study conception and design, relevance, research part, draft manuscript preparation: *Nosov A.E., Baidina A.S., Zorina A.S.*; research part and analysis: *Baidina A.S., Krylov A.A., Sukhikh E.A.*; construction of a mathematical model: *Chigvintsev V.M.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risks Management Technologies (protocol No. 2 of February 13, 2020). All workers gave written informed consent to participate in the study.

Funding: This research received no external funding.

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

Received: January 15, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Механизмы репротоксического действия свинца (обзор литературы)»

Минигалиева И.А.¹, Никогосян К.М.¹, Сутункова М.П.^{1,2}, Батенёва В.А.¹, Дубровин Д.А.¹

¹ ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, 620014, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Репина, д. 3, г. Екатеринбург, 620028, Российская Федерация

Резюме

Введение. Демографическая ситуация за последние десятилетия в Российской Федерации характеризуется низким уровнем рождаемости. Из Государственного доклада Роспотребнадзора следует, что в 2023 году 75,4 миллиона человек в Российской Федерации подверглись комплексной химической нагрузке. Воздействие химических веществ, в частности свинца, как фактора производственной и окружающей среды оказывает существенное влияние на репродуктивную систему человека начиная с детского возраста.

Цель исследования: поиск, обобщение и систематизация материалов, посвященных особенностям вредного действия свинца на репродуктивную систему, как основы для дальнейшей разработки лечебных и профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Источниками для поиска библиографии стали поисковая система PubMed, единая библиографическая и реферативная база данных рецензируемой научной литературы Scopus, Российские электронные научные библиотеки ELibrary и CyberLeninka. Поиск проводился среди публикаций на русском и английском языках с 2004 по 2024 год. В итоге было проанализировано более 500 статей, в результате из них отобрано 36 полнотекстовых публикаций, из них 23 статьи не старше 5 лет. Статьи были отобраны по принципу наличия в них информации о негативных эффектах свинца на репродуктивную систему лабораторных животных и/или популяции людей, в случае если исследование носило эпидемиологический характер.

Результаты. Наиболее частым изменением, наблюдаемым в большом количестве исследований по оценке репротоксичности свинца, является изменение массы органов половой системы, нарушение их гистологической структуры, цитотоксические эффекты в отношении сперматозоидов, их подвижности, жизнеспособности, целостности, наличие аномалий, а также изменения уровня гормонов в тканях и сыворотке крови, активности и количества ферментов, связанных с репродуктивной системой. Воздействие свинца на репродуктивную систему неизбежно сопровождается изменением экспрессии генов, ответственных за регуляцию воспалительных процессов, активацию или ингибирование апоптоза, антиоксидантную защиту, регуляцию функции ферментных систем и гормональные изменения.

Заключение. Дальнейшее изучение особенностей воздействия свинца на репродуктивную систему позволит выявить механизмы токсического действия, которые в последствие можно считать «критическими точками» приложения профилактических и лечебно-профилактических мероприятий.

Ключевые слова: свинец, репротоксичность, гены, гормоны, репродуктивная система.

Для цитирования: Минигалиева И.А., Никогосян К.М., Сутункова М.П., Батенёва В.А., Дубровин Д.А. Механизмы репротоксического действия свинца (обзор литературы) // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 45–51. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-45-51

Mechanisms of the reprotoxic effect of lead: A literature review

Ilzira A. Minigalieva,¹ Karen M. Nikogosyan,¹ Marina P. Sutunkova,^{1,2} Vlada A. Bateneva,¹ Dmitry A. Dubrovin¹

¹ Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, 30 Popov Street, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

² Ural State Medical University, 3 Repin Street, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation

Summary

Introduction: The demographic situation in the Russian Federation over the past decades is noted for a low birth rate. According to the State Report by the Federal Service for Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor), in 2023, 75.4 million Russian people experienced combined exposure to multiple chemicals. Chemical exposure, particularly that to lead as an occupational and environmental risk factor, has a significant impact on the human reproductive system, starting from childhood.

Objective: To search, summarize, and systematize published data on adverse effects of lead on the reproductive system as a basis for further development of therapeutic and preventive measures.

Materials and methods: The sources for the bibliography search were the PubMed search engine, the Scopus abstract and citation database of peer-reviewed scientific literature, the eLibrary and CyberLeninka Russian electronic scientific libraries. The search was conducted among Russian and English-language publications issued in 2004–2024. Of over 500 articles screened, 36 full-text publications describing the results of epidemiological studies of lead exposure and its adverse effects on the reproductive system of laboratory animals and/or humans were selected for this review, of which 23 articles were published within the past 5 years.

Results: The most frequent effects observed in a large number of studies assessing reproductive toxicity of lead include a change in the weight of the reproductive organs, disruption of their histological structure, cytotoxic effects on spermatozoa, their motility, viability, and integrity, the presence of abnormalities, as well as changes in the level of hormones in tissues and blood serum, activity and amount of enzymes associated with the reproductive system. The effect of lead on the reproductive system is inevitably accompanied by a change in the expression of genes responsible for regulation of inflammatory processes, activation or inhibition of apoptosis, antioxidant protection, regulation of the function of enzyme systems and hormonal changes.

Conclusion: Further study of lead effects on the reproductive system will help reveal mechanisms of toxicity, which can subsequently be considered “critical points” for preventive health and therapeutic measures to be focused on.

Keywords: lead, reproductive toxicity, genes, hormones, reproductive system.

Cite as: Minigalieva IA, Nikogosyan KM, Sutunkova MP, Bateneva VA, Dubrovin DA. Mechanisms of the reprotoxic effect of lead: A literature review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):45–51. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-45-51

Введение. На протяжении последних нескольких лет Правительство Российской Федерации активно проводит политику, направленную на решение демографической проблемы: улучшение качества медицинской помощи, укрепление института семьи, пропаганда здорового образа жизни, повышение естественной рождаемости и продолжительности жизни.

Демографическая ситуация за последнее десятилетие в Российской Федерации характеризуется низким уровнем рождаемости. По данным Федеральной службы статистики, на протяжении последних 20 лет естественный прирост населения имел отрицательные значения, а за последние 10 лет количество родившихся уменьшилось в 1,7 раза – с 14,7 до 8,8 на 1000 человек. Из Государственного доклада Роспотребнадзора следует, что в 2023 году 75,4 миллиона человек в Российской Федерации подверглись комплексной химической нагрузке. При этом в структуре заболеваемости, связанной с действием вредных факторов среды обитания человека, болезнями мочеполовой системы страдало 25,8 % (366,2 тысячи случаев)¹.

Один из таких вредных, наиболее опасных химических факторов является свинец. Свинец – один из самых распространенных тяжелых металлов в земной коре. Он активно используется в промышленности, воздействуя на работающих промышленных предприятий, и в результате неизбежно попадает в среду обитания человека, создавая серьезную угрозу для репродуктивного здоровья населения. По данным Всемирной организации здравоохранения, ввиду отсутствия каких-либо биологических функций свинца в организме даже самые незначительные дозы могут нести угрозу для здоровья человека².

Воздействие свинца как фактора производственной и окружающей среды оказывает существенное влияние на репродуктивную систему человека начиная с детского возраста. Именно в детском и раннем подростковом возрасте происходит формирование и развитие вторичных половых признаков, физиологически изменяется уровень половых гормонов, развивается костная ткань и скелетная мускулатура, а также другие прямые и косвенные признаки полового созревания. Эпидемиологические исследования свидетельствуют о задержке полового развития у детей, проживающих в районах промышленного загрязнения свинцом. В исследовании Khalaf и соавт. приняли участие мальчики в возрасте до 15 лет ($n = 180$), проживающие вблизи промышленных предприятий, концентрация свинца в крови которых составляла в среднем от 3,84 до 6,38 мкг/дл в зависимости от города. Как показали результаты, у таких детей наблюдался значимо ($p < 0,01$) низкий объем яичек, а также гормональные нарушения: низкие уровни фолликулостимулирующего, лютеинизирующего гормона и тестостерона, а также более высокие уровни пролактина и эстрогенов по сравнению с группой контроля [1].

Угроза репродуктивному здоровью при воздействии свинца существует не только для активно развивающегося детского организма, но и для уже сформированного взрослого населения. Так, например, исследование «случай – контроль» Mendiola и соавт. 61 мужчина свидетельствует о том, что увеличение концентраций Pb (до 5,0 мкг/л) в семенной жидкости приводит к увеличению количества неподвижных сперматозоидов на 21–24 % [2].

Таким образом, в мировой литературе описаны негативные эффекты воздействия свинцовых соединений на репродуктивное здоровье населения большинства возрастных групп. В связи с вышеизложенным целью настоящего обзора литературы является поиск, обобщение и систематизация материалов, посвященных особенностям вредного действия свинца на репродуктивную систему, как основы для дальнейшей разработки лечебных и профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Источниками для поиска библиографии стали поисковая система PubMed, единая библиографическая и реферативная база данных рецензируемой научной литературы Scopus, Российские электронные научные библиотеки ELibrary и CyberLeninka. Поиск проводился среди публикаций на русском и английском языках с 2004 до 2024 года.

При отборе публикаций в базах данных PubMed, Scopus и ELibrary использовались следующие ключевые слова: Lead, Pb, reprotoxicity. Поиск в российской научной электронной библиотеке CyberLeninka осуществлялся по ключевым словам: свинец, репротоксичность, репродуктивная система. Вместе с тем использовались источники литературы отобранных статей на наличие дополнительных материалов. Статьи были отобраны нами по принципу наличия в них информации о негативных эффектах свинца на репродуктивную систему лабораторных животных и/или популяции людей, в случае если исследование носило эпидемиологический характер. В итоге было проанализировано более 500 статей, в результате из них отобрано 36 полнотекстовых публикации, из них 23 статьи не старше 5 лет.

Критериями исключения были: публикации, относящийся к обзорным статьям, не содержащие какие-либо оригинальные исследования.

Результаты. Представленный обзор литературы обобщает научные данные о негативных эффектах свинца на репродуктивную систему и ее компоненты, полученные в экспериментах на лабораторных животных и клеточных культурах.

Изменения со стороны ферментных систем и гормональной функции

Наиболее частым изменением, наблюдаемым в большом количестве исследований по оценке репротоксичности свинца, является изменение массы органов половой системы, нарушение их гистологической структуры, цитотоксические эффекты в отношении сперматозоидов, их подвижности, жизнеспособности, целостности, наличие аномалий, а также изменения уровня гормонов

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с.

² World Health Organization. Exposure to lead: a major public health concern. Preventing disease through healthy environments. WHO; 2023.

в тканях и сыворотке крови, активности и количества ферментов, связанных с репродуктивной системой.

В исследовании Tatli Seven P. и соавт. 28 крыс-самцов Sprague Dawley в возрасте 6–8 недель подвергались воздействию ацетата свинца путем внутрибрюшинных введений раствора из расчета 15 мг/кг м.т. в течение 21 дня. Результаты исследования показывают, что воздействие свинца, способно уменьшить массу яичек и придатков. Помимо этого, у крыс, получавших ацетат свинца, было выявлено снижение концентрации сперматозоидов, а также чаще определялись патологические формы сперматозоидов по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$) [3]. Аналогичные данные описывают Kahalerras L. и соавт. в исследовании на самцах крыс-альбиносов Wistar, которым вводили раствор ацетата свинца в гораздо большей дозировке – 500 мг/кг м.т. на протяжении 3 недель. У крыс, которым вводили ацетат свинца, наблюдалось значительное снижение концентрации и подвижности сперматозоидов, а также уровня тестостерона по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$). Также результаты этого исследования свидетельствуют о снижении подвижности сперматозоидов у крыс, получавших свинец ($p < 0,05$). Гистоморфологическая оценка срезов тестикул и придатков выявила атрофию семенных канальцев и уменьшение числа сперматогониев [4]. Однако в литературе присутствуют и противоположные данные, касающиеся изменения массы яичек после воздействия свинца. Так, например, в эксперименте Dkhil MA. и соавт. воздействие ацетата свинца на самцов крыс-альбиносов Wistar в дозировке 20 мг/кг м.т. на протяжении 5 дней вызвало, вопреки результатам ранее описанных исследований, значительное увеличение массы семенников как в абсолютных, так и в относительных значениях по сравнению с контрольной группой [5].

В эксперименте Pasha H. и соавт. 66 половозрелых крыс-самцов Sprague Dawley подвергали воздействию ацетата свинца внутрижелудочно в течение 3 недель в дозировке 20 мг/кг м.т. Результаты продемонстрировали значимое снижение количества сперматозоидов в 1,3 раза ($p < 0,05$), подвижности сперматозоидов в 1,34 раза ($p < 0,05$), увеличение доли патологических форм сперматозоидов в 1,4 раза ($p < 0,05$) и уменьшение уровня тестостерона в 4,3 раза ($p < 0,05$) [6]. По результатам аналогичного эксперимента на самцах мышей BALB/c ($n = 32$), подвергшихся воздействию ацетата свинца внутрижелудочно на протяжении 35 дней, были выявлены значительные нарушения параметров спермы, в том числе снижение жизнеспособности сперматозоидов, увеличение количества аномальных сперматозоидов, нарушение параметров подвижности сперматозоидов, значительное снижение количества сперматозоидов [7]. Такие аномалии сперматозоидов, как двуглавые, двухвостые, обезглавленные, макроцефальные и микроцефальные сперматозоиды, были зафиксированы и при более высоких концентрациях – 200 и 500 мг/кг м.т. Также отмечается, что общая гистологическая структура тестикул была нарушена и характеризовалась значительным уменьшением сперматогенного

эпителиального слоя, серьезным повреждением семенных канальцев и уменьшением количества сперматогенных клеток [8, 9].

В эксперименте Hassan Al. и соавт. 70 беспородных крыс-самцов подвергали воздействию нитрата свинца однократно внутривенно в дозировке 23,3 мг/кг м.т. Результаты свидетельствуют о снижении уровня тестостерона: после 21 дня экспозиции – в 1,95 раза ($p < 0,05$), после 30 дней – в 4,95 раза ($p < 0,05$), после 50 дней – в 2,52 раза ($p < 0,05$). Общее количество сперматозоидов также уменьшилось: после 21 дня – в 2,1 раза ($p < 0,05$), после 30 дней – в 1,66 раза ($p < 0,05$), после 60 дней – в 1,34 раза ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля. Подвижность сперматозоидов уменьшилась: после 21 дня – в 2,24 раза ($p < 0,05$), после 30 дней – в 1,96 раза ($p < 0,05$), после 60 дней – в 1,36 раза ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля. Количество патологических форм сперматозоидов увеличилось: после 21 дня – в 6,46 раза ($p < 0,05$), после 30 дней – в 4,97 раза ($p < 0,05$), после 60 дней – в 3,6 раза ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля [10].

В эксперименте Vukelić D. и соавт. 42 взрослых самца крыс линии Wistar подвергались воздействию ацетата свинца в дозировках от 0,1 до 15 мг/кг м.т. в течение 28 дней внутрижелудочно. Воздействие свинца привело к снижению уровня тестостерона в сыворотке крови при всех дозировках. Статистически значимые изменения уровня тестостерона по сравнению с контролем наблюдались у крыс, получавших дозы выше 0,5 мг/г массы тела, и имели дозозависимый эффект [11].

Нарушения продукции половых гормонов после экспозиции к свинцу наблюдаются не только *in vivo*, но и в экспериментах на клеточных культурах. Так, например, в эксперименте Wen L. и соавт. воздействие свинца на культуру клеток Лейдига R2C в течение 24 часов в концентрациях 50, 100, 200 и 400 мкМ существенно снижало продукцию прогестерона более чем на 1/3 по сравнению с контрольной группой, причем дозозависимым образом [12].

Одно из важных изменений со стороны ферментных систем, которые отмечают большинство исследователей – это изменение уровней двух ферментов: 3 β -гидроксистероиддегидрогеназы и 17 β -гидроксистероиддегидрогеназы. В эксперименте Anjum M. и соавт. 54 крысы линии Wistar/NIN (WNIN) подвергались воздействию ацетата свинца в дозировках 273 и 819 мг/л в течение 45 дней через питьевую воду. При воздействии обеих концентраций наблюдалось уменьшение массы тестикул на 20 и 35 %, семенных желез на 23 и 29 %, количества спермы на 29 и 39 %, подвижности сперматозоидов на 25 и 33 %, уровня тестостерона на 50 %. Уровни 3 β -гидроксистероиддегидрогеназы уменьшились по сравнению с контрольной группой на 15 и 47%, уровни 17 β -гидроксистероиддегидрогеназы уменьшились на 27 и 39 % при дозировках 273 и 819 мг/л соответственно [13]. Аналогичные данные были получены в эксперименте Sainath SB и соавт., в котором 24 крысы линии Wistar подвергались воздействию ацетата свинца в дозировке 819 мг/л через питьевую воду на протяжении 70 дней. По

результатам исследования средняя масса яичек крыс, подвергшихся воздействию свинца, была на 52 % меньше по сравнению с контрольной группой. Количество сперматозоидов было ниже на 26 %, подвижных сперматозоидов – на 39 %, жизнеспособных сперматозоидов – на 31 % по сравнению с группой контроля. Количество патологических сперматозоидов из общего числа в группе, получавшей свинец, составило 45 % по сравнению с контролем – 1 %. При этом со стороны ферментных систем уровни 3 β -гидроксистероиддегидрогеназы уменьшились по сравнению с контрольной группой на 61 %, 17 β -гидроксистероиддегидрогеназы – на 47 % [14]. В другом эксперименте 50 крыс-самцов подвергались воздействию ацетата свинца в дозировке 20 мг/кг м.т. внутрибрюшинно на протяжении 6 недель. Результаты исследования показали значительное снижение уровней 3 β -гидроксистероиддегидрогеназы – более чем в 20 раз, 17 β -гидроксистероиддегидрогеназы – более чем в 2,5 раза. Кроме того, другие уровни других ферментов также имели значимые отличия. В группе, получавшей свинец, уровни малонового диальдегида были выше в 3,3 раза, супероксиддисмутазы – в 1,4 раза, каталазы – в 1,5 раза, а также наблюдался значительно меньший уровень глутатионпероксидазы – в 2,6 раза [15].

В эксперименте Abdel-Emam R. и соавт. 30 крыс-самцов линии Wistar подвергались воздействию ацетата свинца в дозировке 50 мг/кг м.т. в течение 40 дней внутрибрюшинно. По результатам исследования масса тестикул у крыс, получавших свинец, была меньше на 20 % по сравнению с контрольной группой. Кроме того, наблюдалось статистически значимое уменьшение количества жизнеспособных и подвижных сперматозоидов более чем в 2 раза ($p < 0,05$). Также воздействие свинца оказало эффект на гормональную функцию опытных крыс. Уровни фолликулостимулирующего и лютеинизирующего гормонов значимо снизились в сыворотке крови на 20 и 21 % соответственно ($p < 0,05$) [16]. Достоверное снижение этих же гормонов репродуктивной системы было представлено в другом исследовании на самцах крыс линии Wistar при более низкой дозировке ацетата свинца – 20 мг/кг м.т. [17].

В эксперименте Nakade UP. и соавт. 24 эстрогенизированные крысы-самки линии Wistar подвергались воздействию ацетата свинца в дозировке 3 мкМ. Результаты исследования свидетельствуют об угнетающем действии свинца на миоэпителий крыс посредством нарушения кальциевого обмена. Причем эффект был более выражен при фазовых сокращениях и почти незначителен при тонических сокращениях, он также оказывал тормозящее влияние как на амплитуду, так и на частоту сокращений миоэпителия [18].

Генотоксические эффекты свинца на репродуктивную систему

Воздействие свинца на репродуктивную систему неизбежно сопровождается изменением экспрессии генов, ответственных за регуляцию воспалительных процессов, активацию или ингибирование апоптоза, антиоксидантную защиту, регуляцию функции ферментных систем и гормональные изменения.

В эксперименте El-Magd M. и соавт. 40 взрослых самцов крыс-альбиносов подвергали воздействию ацетата свинца в течение 8 недель через питьевую воду в дозировке 50 мг/л. Согласно результатам, наблюдалось снижение экспрессии генов CYP19 и ER α в семенниках крыс, которые ответственны за синтез эстрогена и преобразование андрогена в эстроген. Однако воздействие ацетата свинца на гормональный фон оказалось неоднозначным. Так, например уровни сывороточного тестостерона и 17 β -эстрадиола значимо снизились ($p < 0,05$), однако в семенниках уровень тестостерона существенно увеличился ($p < 0,05$) при одновременном снижении 17 β -эстрадиола [19]. Эти данные подтверждаются другим исследованием: значительное снижение уровня экспрессии гена CYP19 было обнаружено в семенниках крыс-самцов, подвергшихся воздействию ацетата свинца в дозировке 20 мг/кг м.т. на протяжении 49 дней внутрибрюшинно [20].

В эксперименте Abdrabou MI. и соавт. 40 самцов крыс подвергали воздействию ацетата свинца внутрибрюшинно в дозировке 100 мг/кг м.т. в сутки на протяжении одного месяца. Результаты показали повышение экспрессии гена каспазы-3 в семенниках, ответственного за регуляцию апоптоза. Гистоморфометрически эти изменения характеризовались значительным снижением среднего диаметра семенных канальцев и высоты эпителия семенных канальцев по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$) [21].

В уже описанном ранее эксперименте наблюдалось значительное ($p < 0,05$) снижение экспрессии тестикулярных генов LHr, FSHr и CYP11A1 у крыс, подвергшихся воздействию ацетата свинца (крысы Pb), по сравнению с группой контроля ($p < 0,05$) [15].

В эксперименте Feng Y на половозрелых самках мышей C57BL/6 повышалась экспрессия генов, связанных со стрессом эндоплазматического ретикула - PERK, Bip, eIF2 α , ATF4, CHOP, каспаза-12, а также проапоптотических генов – каспаза-3 и Bax, тогда как экспрессия антиапоптотического гена Bcl-2 значительно снижалась ($p < 0,05$) [22]. Аналогичные результаты были получены в другом исследовании на самцах крыс Long-Evans при дозировке ацетата свинца 60 мг/кг м.т. на протяжении 30 дней. Уровни экспрессии Bax и активной каспазы-3 в семенниках крыс, получавших свинец, были значительно выше ($p < 0,0001$), тогда как экспрессия Bcl-2 была значительно ниже, чем в контрольной группе ($p < 0,0001$) [23].

Одним из ключевых факторов токсического эффекта от воздействия свинца является окислительный стресс, возникающий в результате химического воспаления. Так, например, в исследовании Abbaszadeh S и соавт. 40 крыс самцов линии Wistar подвергались воздействию ацетата свинца через питьевую воду в дозировке 1000 мг/л на протяжении 4 недель. Результаты показали повышение экспрессии генов Nrf2 и NF- κ B, значительное снижение уровня тканевых антиоксидантов и увеличение воспалительных цитокинов в группе, получавшей свинец, по сравнению с контрольной группой [24]. В эксперименте Elsheikh N на мышках-самках Kunming при дозировке ацетата свинца 100 мг/кг м.т. спустя

3 недели экспозиции наблюдалось снижение в тканях семенников уровней мРНК генов, связанных с антиоксидантной защитой (супероксиддисмутаза 1, глутатионпероксидаза 1, каталаза) [25]. Значительное снижение экспрессии этих генов и последующее снижение активности перечисленных антиоксидантных ферментов подтверждается результатами исследования El-Khadragy M на крысах-самцах линии Wistar при дозировке 20 мг/кг м.т. [26].

Обсуждение. Результаты большей части хронических и субхронических экспериментов подтверждают уменьшение массы органов и тканей половой системы: яичек, придатков, семенных желез и др. Однако среди прочих результатов представлен подострый эксперимент, в котором наблюдалось, напротив, увеличение массы семенников. Вероятно, такое несоответствие можно объяснить различиями в возрасте, видах животных, дозах, длительности воздействия свинца и способах введения.

Hassan AI приводит данные, согласно которым с течением времени степень токсичности изменялась. Так, например, постепенное восстановление количества тестостерона и сперматозоидов у экспериментальных лабораторных животных, подвергшихся воздействию свинца, после окончания экспозиции можно объяснить активацией механизмов адаптации, элиминации и компенсации организма. Именно эти механизмы и их стимуляция могут стать «критическими точками» приложения мер биологической профилактики и существенно повысить ее эффективность против репротоксического действия свинца.

Во всех описанных исследованиях воздействие свинца вызывало уменьшение содержания ферментов 3 β -гидроксистероиддегидрогеназы и 17 β -гидроксистероиддегидрогеназы. Оба этих фермента в норме активно участвуют в синтезе тестостерона и метаболизме эстрогенов [27]. Вероятно, это ключевая причина уменьшения уровня тестостерона в большей части описанных исследований. При этом нами были обнаружены противоречивые данные. Так, в исследовании El-Magd M. уровни сывороточного тестостерона и 17 β -эстрадиола значительно снизились ($p < 0,05$), однако в семенниках уровень тестостерона существенно увеличился ($p < 0,05$) [19]. Предполагается, что поврежденные, но не погибшие клетки Лейдига сохраняют способность вырабатывать в каком-то количестве тестостерон, но последний не попадает в кровоток. Остается неясным механизм нарушения транспорта тестостерона в кровоток. Вероятно, такие нарушения могут быть обусловлены целым рядом причин: экспрессией соответствующих генов, изменениями в течении ион-зависимых процессов, повреждением структуры тканей, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Имеются данные, подтверждающие роль CYP19 в регуляции репродуктивного поведения, а также регуляции уровня эстрогена у лабораторных животных [28]. Исследование С. J. Petry предполагает, что распространенные вариации гена ароматазы CYP19 связаны с избытком андрогенов у девочек и молодых женщин [29]. Вероятно, влияние свинца на синтез эстрогена и преобразование андрогена

в эстроген посредством экспрессии гена CYP19 в зависимости от полиморфизма будет обладать разной степенью выраженности эффекта, а следовательно, требуется учитывать варианты полиморфизма генов при разработке мер биологической профилактики.

Известно, что каспаза-3 является одним из маркеров гибели клеток, в частности как мужской, так и женской репродуктивной системы [30, 31], повышение экспрессии гена, кодирующего ее, связано с усиленным процессом апоптоза в изучаемых тканях, индуцированным цитотоксическим действием свинца. Bcl-2 является ключевым регулятором количества примордиальных фолликулов, образующихся в яичнике при рождении и поддерживаемых на протяжении всей репродуктивной жизни. Эти данные позволяют утверждать, что про- и антиапоптотические белки семейства Bcl-2 являются ключевыми детерминантами продолжительности фертильного периода [32]. Уменьшение экспрессии антиапоптотического гена Bcl-2 под воздействием свинца может стать причиной сокращения периода фертильности у женщин.

Однако стоит отметить, что для всестороннего и более детального описания изменений со стороны женской половой системы, при воздействии свинцовых соединений, недостаточно экспериментальных данных в свободном доступе. Представленные в литературном обзоре результаты эксперимента Nakade UP свидетельствуют о нарушении фазовых сокращений миомеритрия у самок лабораторных животных. В сокращениях миомеритрия ключевую роль играет кальций и зависимые от него процессы, регулятором которых он выступает. Механизм нарушения кальций-зависимых процессов заключается в способности свинца к ионной мимикрии. Ложно участвуя в ион-зависимых процессах, свинец не обладает биологическими и химическими возможностями правильной регуляции течения этих процессов, в результате чего последние теряют свою функцию [33]. Помимо этого, известно, что транспорт тяжелых металлов в клетку осуществляется преимущественно через кальциевые каналы [34]. Следовательно, можно предположить, что свинец при транспортировке в клетку повреждает кальциевые каналы, нарушая их функцию и гомеостаз в целом.

Роль генов Nrf2 и NF- κ B в модуляции воспалительного процесса описана в литературе достаточно подробно. NF- κ B может играть защитную роль в условиях окислительного стресса, подавляя накопление активных форм кислорода (далее – АФК). Ингибирование активации NF- κ B приводит к увеличению продукции АФК, индуцированной TNF α , перекисному окислению липидов и окислению белков [36]. Однако в литературе описаны данные, свидетельствующие о том, что регуляция NF- κ B медиаторами окислительного стресса неоднозначна. В некоторых ситуациях АФК запускают активацию NF- κ B, тогда как в других обстоятельствах АФК ингибируют активность NF- κ B. Двухнаправленные эффекты, скорее всего, зависят от фазы (ранней и поздней) воздействия, а также конкретного агента, вызвавшего окислительный стресс [38]. Лучшее понимание сложного ответа тканей репродуктивной системы через путь NF- κ B на окислительный стресс

может стать основой для создания инновационных мер по повышению устойчивости организма к токсическим эффектам тяжелых металлов, в том числе свинецсодержащих веществ.

Заключение. Среди основных механизмов репротоксического действия свинца выделяют окислительный стресс, нарушение деятельности ферментных систем, ложная регуляция свинцом ион-зависимых процессов, цитотоксическое действие на структуры репродуктивной системы, а также изменения, обусловленные снижением или повышением экспрессии генов ароматазы CYP19, антиапоптотического гена Bcl-2, генов, связанных со стрессом эндоплазматического ретикулума – PERK, Bip, eIF2 α , ATF4, CHOP, каспаза-12, а также проапоптотических генов – каспаза-3 и Вах.

Дальнейшее изучение особенностей воздействия свинца на репродуктивную систему позволит выявить механизмы токсического действия, которые впоследствии можно считать «критическими точками» приложения профилактических и лечебно-профилактических мероприятий. Необходимо и дальше изучать специфические и общие физиологические механизмы ответа репродуктивной системы на свинцовую интоксикацию, найти способы их поддержания и усиления, чтобы совершенствовать уже имеющиеся профилактические мероприятия, что позволит более эффективно управлять рисками возникновения свинцовых патологий у лиц, отнесенных к группе риска.

Эти результаты следует использовать при разработке мер биологической профилактики для управления риском репродуктивного здоровья лиц, подверженных вредному воздействию свинца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Khalaf MAM, Younis RHA, El-Fakahany H. Effect of low-level environmental lead exposure on the onset of male puberty. *Int J Toxicol*. 2019;38(3):209-214. doi: 10.1177/1091581819848411
- Mendiola J, Moreno JM, Roca M, et al. Relationships between heavy metal concentrations in three different body fluids and male reproductive parameters: A pilot study. *Environ Health*. 2011;10(1):6. doi: 10.1186/1476-069X-10-6
- Tatli Seven P, Iflazoglu Mutlu S, Seven I, Arkali G, Ozer Kaya S, Kanmaz OE. Protective role of yeast beta-glucan on lead acetate-induced hepatic and reproductive toxicity in rats. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021;28(38):53668-53678. doi: 10.1007/s11356-021-14398-0
- Kahalerras L, Otmani I, Abdennour C. Wild garlic *Allium triquetrum* L. alleviates lead acetate-induced testicular injuries in rats. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(5):2205-2222. doi: 10.1007/s12011-021-02818-8
- Dkhil MA, Moneim AE, Al-Quraishy S. Indigofera oblongifolia ameliorates lead acetate-induced testicular oxidative damage and apoptosis in a rat model. *Biol Trace Elem Res*. 2016;173(2):354-361. doi: 10.1007/s12011-016-0689-0
- Pasha HF, Rezk NA, Selim SA, Abd El Motteleb DM. Therapeutic effect of spermatogonial stem cell on testicular damage caused by lead in rats. *Gene*. 2016;592(1):148-153. doi: 10.1016/j.gene.2016.07.065
- Ommati MM, Sabouri S, Retana-Marquez S, et al. Taurine improves sperm mitochondrial indices, blunts oxidative stress parameters, and enhances steroidogenesis and kinematics of sperm in lead-exposed mice. *Reprod Sci*. 2023;30(6):1891-1910. doi: 10.1007/s43032-022-01140-5
- Zhang Z, Yu J, Xie J, et al. Improvement roles of zinc supplementation in low dose lead induced testicular damage and glycolytic inhibition in mice. *Toxicology*. 2021;462:152933. doi: 10.1016/j.tox.2021.152933
- Zhao ZM, Mei S, Zheng QY, et al. Melatonin or vitamin C attenuates lead acetate-induced testicular oxidative and inflammatory damage in mice by inhibiting oxidative stress mediated NF- κ B signaling. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023;264:115481. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115481
- Hassan AI, Alam SS. Evaluation of mesenchymal stem cells in treatment of infertility in male rats. *Stem Cell Res Ther*. 2014;5(6):131. doi: 10.1186/scrt521
- Vukelić D, Djordjević AB, Anđelković M, et al. Derivation of benchmark doses for male reproductive toxicity in a subacute low-level Pb exposure model in rats. *Toxicol Lett*. 2023;375:69-76. doi: 10.1016/j.toxlet.2023.01.001
- Wen L, Jiang X, Sun J, et al. Cyanidin-3-O-glucoside promotes the biosynthesis of progesterone through the protection of mitochondrial function in Pb-exposed rat Leydig cells. *Food Chem Toxicol*. 2018;112:427-434. doi: 10.1016/j.fct.2017.10.008
- Anjum MR, Sainath SB, Suneetha Y, Reddy PS. Lead acetate induced reproductive and paternal mediated developmental toxicity in rats. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2011;74(4):793-799. doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.10.044
- Sainath SB, Meena R, Supriya Ch, Reddy KP, Reddy PS. Protective role of Centella asiatica on lead-induced oxidative stress and suppressed reproductive health in male rats. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2011;32(2):146-154. doi: 10.1016/j.etap.2011.04.005
- Khafaji SS. Antioxidant, anti-inflammatory, and anti-reproductive effects of kaempferol and vitamin E on lead acetate-induced testicular toxicity in male rats. *Open Vet J*. 2023;13(12):1683-1695. doi: 10.5455/OVJ.2023.v13.i12.17
- Abdel-Emam RA, Ahmed EA. Ameliorative effect of L-carnitine on chronic lead-induced reproductive toxicity in male rats. *Vet Med Sci*. 2021;7(4):1426-1435. doi: 10.1002/vms3.473
- Al-Megrin WA, Alomar S, Alkhuriji AF, et al. Luteolin protects against testicular injury induced by lead acetate by activating the Nrf2/HO-1 pathway. *IUBMB Life*. 2020;72(8):1787-1798. doi: 10.1002/iub.2311
- Nakade UP, Sharma A, Choudhury S, Yadav RS, Garg SK. Lead modulates calcium entry and beta-adrenoceptors signaling to produce myometrial relaxation in rats. *Biol Trace Elem Res*. 2017;176(1):176-180. doi: 10.1007/s12011-016-0813-1
- El-Magd MA, Kahilo KA, Nasr NE, Kamal T, Shukry M, Saleh AA. A potential mechanism associated with lead-induced testicular toxicity in rats. *Andrologia*. 2017;49(9). doi: 10.1111/and.12750
- Hassan E, Kahilo K, Kamal T, El-Neweshy M, Hassan M. Protective effect of diallyl sulfide against lead-mediated oxidative damage, apoptosis and down-regulation of CYP19 gene expression in rat testes. *Life Sci*. 2019;226:193-201. doi: 10.1016/j.lfs.2019.04.020
- Abdrabou MI, Elleithy EMM, Yasin NAE, Shaheen YM, Galal M. Ameliorative effects of Spirulina maxima and Allium sativum on lead acetate-induced testicular injury in male albino rats with respect to caspase-3 gene expression. *Acta Histochem*. 2019;121(2):198-206. doi: 10.1016/j.acthis.2018.12.006
- Feng Y, Yuan H, Wang W, et al. Co-exposure to polystyrene microplastics and lead aggravated ovarian toxicity in female mice via the PERK/eIF2 α signaling pathway. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2022;243:113966. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113966

23. Bidanchi RM, Lalrindika L, Khushboo M, *et al.* Antioxidative, anti-inflammatory and anti-apoptotic action of ellagic acid against lead acetate induced testicular and hepato-renal oxidative damages and pathophysiological changes in male Long Evans rats. *Environ Pollut.* 2022;302:119048. doi: 10.1016/j.envpol.2022.119048
24. Abbaszadeh S, Yadegari P, Imani A, Taghdir M. Vitamin D3 protects against lead-induced testicular toxicity by modulating Nrf2 and NF- κ B genes expression in rat. *Reprod Toxicol.* 2021;103:36-45. doi: 10.1016/j.reprotox.2021.05.008
25. Elsheikh NAH, Omer NA, Yi-Ru W, *et al.* Protective effect of betaine against lead-induced testicular toxicity in male mice. *Andrologia.* 2020;52(7):e13600. doi: 10.1111/and.13600
26. El-Khadragy M, Al-Megrin WA, AlSadhan NA, *et al.* Impact of coenzyme Q10 administration on lead acetate-induced testicular damage in rats. *Oxid Med Cell Longev.* 2020;2020:4981386. doi: 10.1155/2020/4981386
27. Ge RS, Li X, Wang Y. Leydig cell and spermatogenesis. *Adv Exp Med Biol.* 2021;1288:111-129. doi: 10.1007/978-3-030-77779-1_6
28. Cheshenko K, Pakdel F, Segner H, Kah O, Eggen RIL. Interference of endocrine disrupting chemicals with aromatase CYP19 expression or activity, and consequences for reproduction of teleost fish. *Gen Comp Endocrinol.* 2008;155(1):31-62. doi: 10.1016/j.ygcen.2007.03.005
29. Petry CJ, Ong KK, Michelson KF, *et al.* Association of aromatase (CYP 19) gene variation with features of hyperandrogenism in two populations of young women. *Hum Reprod.* 2005;20(7):1837-1843. doi: 10.1093/humrep/deh900
30. Garvin SE, Kyathanahalli C, Soha S, Condon JC, Jeyasuria P. Preimplantation apoptotic endometrial caspase-3-mediated phospholipase A2 activation: A potential component in programming uterine receptivity. *F S Sci.* 2023;4(2):141-150. doi: 10.1016/j.xfss.2022.12.003
31. Segura C, La Rosa J, Báez L, *et al.* Activation of caspase-3/7, an apoptotic-related marker, during incubation and cryopreservation of alpaca (*Vicugna pacos*) spermatozoa. *Reprod Domest Anim.* 2023;58(7):1005-1011. doi: 10.1111/rda.14397
32. Liew SH, Vaithyanathan K, Hutt KJ. Taking control of the female fertile lifespan: A key role for Bcl-2 family proteins. *Reprod Fertil Dev.* 2016;28(7):864-871. doi: 10.1071/RD14326
33. Bridges CC, Zalups RK. Molecular and ionic mimicry and the transport of toxic metals. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2005;204(3):274-308. doi: 10.1016/j.taap.2004.09.007
34. Фетисова А.В., Иларионов С.А. Транспорт ионов металлов через цитоплазматическую мембрану // Вестник ПГУ. Химия. 2012. №1(5). С. 86–91. Fetisova AV, Ilarionov SA. Transport of metal ions by cytoplasmic membrane. *Vestnik Permskogo Universiteta. Seriya: Khimiya.* 2012;(1(5)):86-91. (In Russ.)
35. Djavaheri-Mergny M, Javelaud D, Wietzerbin J, Besançon F. NF- κ B activation prevents apoptotic oxidative stress via an increase of both thioredoxin and MnSOD levels in TNF α -treated Ewing sarcoma cells. *FEBS Lett.* 2004;578(1-2):111-115. doi: 10.1016/j.febslet.2004.10.082
36. Nakajima S, Kitamura M. Bidirectional regulation of NF- κ B by reactive oxygen species: A role of unfolded protein response. *Free Radic Biol Med.* 2013;65:162-174. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2013.06.020

Сведения об авторах:

Минигалиева Ильзира Амировна – д-р биол. наук, заведующий отделом токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора; e-mail: ilzira@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1871-8593>.

✉ **Никогосян** Карен Мерсопович – мл. науч. сотрудник отдела токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора; e-mail: nikoghosyankm@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0780-5733>.

Сутункова Марина Петровна – д-р мед. наук, директор ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора; доцент, заведующий кафедрой гигиены и медицины труда, ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: sutunkova@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-7642>.

Батенёва Влада Андреевна – лаборант-исследователь отдела токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора; e-mail: bateneva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4694-0175>.

Дубровин Дмитрий Афонасьевич – лаборант-исследователь отдела токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0040-8385>, e-mail: dmitriidubrovin2021@gmail.com.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Минигалиева И.А.; сбор данных: Батенёва В.А., Дубровин Д.А.; анализ и интерпретация результатов, обзор литературы, подготовка проекта рукописи: Никогосян К.М., Сутункова М.П. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: это исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 19.09.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

Ilzira A. **Minigalieva**, Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: ilzira@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1871-8593>.

✉ Karen M. **Nikogosyan**, Junior Researcher, Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: nikoghosyankm@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0780-5733>.

Marina P. **Sutunkova**, Dr. Sci. (Med.), Director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; Assoc. Prof., Head of the Department of Occupational Health and Medicine, Ural State Medical University; e-mail: sutunkova@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-7642>.

Vlada A. **Bateneva**, Laboratory Research Assistant, Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: bateneva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4694-0175>.

Dmitry A. **Dubrovin**, Laboratory Research Assistant, Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: dmitriidubrovin2021@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0040-8385>.

Author contributions: study conception and design: Minigalieva I.A.; data collection: Bateneva V.A., Dubrovin D.A.; analysis and interpretation of results, literature review, draft manuscript preparation: Nikogosyan K.M., Sutunkova M.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: September 19, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Анализ специфической респираторной токсичности фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорид при хронической ингаляционной экспозиции

А.А. Евтерева¹, В.М. Василькевич¹, С.И. Сычик¹, С.Н. Рябцева²

¹ Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии, эпидемиологии и вирусологии ГУ РЦГЗОЗ
Министерства здравоохранения Республики Беларусь,
ул. Академическая, д. 8, г. Минск, 220012, Республика Беларусь

² Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси,
ул. Академическая, д. 28, г. Минск, 220072, Республика Беларусь

Резюме

Введение. В Республике Беларусь не разработаны гигиенические нормативы и методы контроля в воздухе рабочей зоны для группы современных местноанестезирующих лекарственных средств amino-амидного типа, в том числе и для артикаина гидрохлорида.

Цель исследования: изучить специфическое токсическое действие фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорида на бронхолегочную систему, установить лимитирующие показатели и пороговую концентрацию при хронической ингаляционной экспозиции для последующего обоснования безопасного содержания субстанции в воздушной среде фармацевтического производства.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на аутбредных белых крысах (общее количество – 36 штук), которые подвергались ингаляционной экспозиции (путем интраназального введения) различными концентрациями (2, 10 и 50 мг/м³) изучаемой фармацевтической субстанции на протяжении 4 месяцев. По окончании эксперимента у животных был выполнен бронхоальвеолярный лаваж, в котором определяли содержание цитокинов, на цитологических препаратах лаважа изучали характер его клеточного состава. У эвтаназированных животных выделяли трахею, бронхи и легкие для патоморфологических исследований. Статистическая обработка данных выполнена параметрическим и непараметрическим методами с помощью компьютерной программы Statistica 13. Различия в сравниваемых группах считались значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты. Специфическое токсическое действие фармсубстанции на бронхолегочную систему при различных уровнях (2-10-50 мг/м³) ингаляционной экспозиции артикаина гидрохлорида проявилось максимальным развитием патоморфологических структурных изменений на самой высокой концентрации 50 мг/м³, таких как достоверное увеличение толщины межальвеолярных перегородок легких в 1,85 раза, появление у более чем половины крыс выраженной периваскулярной и перибронхиальной инфильтрации в легких. Изменения в составе бронхоальвеолярного лаважа характеризовались достоверным нарастанием клеточного воспалительного компонента и трансформацией цитокинового профиля. При экспозиции 50 мг/м³ отмечено увеличение содержания лимфоцитов и нейтрофилов в 6,09 и 3,4 раза соответственно, появление плазмочитов и увеличение концентрации ИЛ-1 и ИЛ-6 в 2,0 и 3,2 раза.

Выводы. Дозозависимые морфологические, цитологические и функциональные изменения органов бронхолегочной системы и лаважа характеризуют концентрацию экспозиции 2 мг/м³ как практически недействующую, 10 мг/м³ – пороговую, а 50 мг/м³ – действующую по изученным токсическим эффектам.

Ключевые слова: фармсубстанция артикаина гидрохлорид, бронхоальвеолярный лаваж, респираторная токсичность, воздух рабочей зоны.

Для цитирования: Евтерева А.А., Василькевич В.М., Сычик С.И., Рябцева С.Н. Анализ специфической респираторной токсичности фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорид при хронической ингаляционной экспозиции // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 52–60. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-52-60

Specific Respiratory Toxicity of the Pharmaceutical Substance Articaine Hydrochloride Following Chronic Inhalation Exposure

Antonina A. Evtтерева¹, Vadim M. Vasilkevich¹, Sergey I. Sychik¹, Svetlana N. Ryabtseva²

¹ Research Institute of Hygiene, Toxicology, Epidemiology, Virology and Microbiology of the State Institution Republican Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health, 8 Akademicheskaya Street, Minsk, 220012, Republic of Belarus

² Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus,
28 Akademicheskaya Street, Minsk, 220072, Republic of Belarus

Summary

Introduction: In the Republic of Belarus, no hygienic standards or methods of control in the workplace air have been developed for the group of modern amide local anesthetics, including articaine hydrochloride.

Objectives: To study the specific toxic effect of the pharmaceutical substance articaine hydrochloride on the respiratory system, to establish limiting indicators and threshold concentrations for chronic inhalation exposure for subsequent justification of the safe level of the substance in the workplace air of a pharmaceutical facility.

Materials and methods: Experimental studies were carried out on 36 outbred albino rats intranasally exposed to various concentrations (2, 10 and 50 mg/m³) of the pharmaceutical substance during 4 months. At the end of the experiment, we collected bronchoalveolar lavage fluid and tested it for cytokine concentrations and cellular structure. The trachea, bronchi and lungs were isolated from euthanized animals for pathomorphological studies. Statistical data processing was performed using parametric and nonparametric tests in Statistica 13 software. Differences between groups were considered significant at $p < 0.05$.

Results: The specific toxic effect of the pharmaceutical substance on the bronchopulmonary system at different levels (2-10-50 mg/m³) of inhalation exposure to articaine hydrochloride was manifested by the maximum development of pathomorphological structural changes at the highest concentration of 50 mg/m³, such as a statistical increase in the thickness of the interalveolar septa of the lungs by 1.85 times, the appearance of pronounced perivascular and

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-52-60>
Original Research Article

peribronchial infiltration in the lungs in more than half of the rats. Changes in the composition of bronchoalveolar lavage were characterized by a significant increase in the cellular inflammatory component and transformation of the cytokine profile. At the exposure of 50 mg/m³, an increase in the content of lymphocytes and neutrophils was noted by 6.09 and 3.4 times, respectively, the appearance of plasma cells and an increase in the concentration of IL-1 and IL-6 by 2.0 and 3.2 times.

Conclusions: The dose-dependent morphological, cytological, and functional changes in the respiratory organs and lavage characterize the exposure concentration of 2 mg/m³ as practically ineffective, 10 mg/m³ as threshold, and 50 mg/m³ as effective in terms of the toxic effects under study.

Keywords: pharmaceutical substance articaine hydrochloride, bronchoalveolar lavage, respiratory toxicity, workplace air.

Cite as: Evtereva AA, Vasilkevich VM, Sychik SI, Ryabtseva SN. Specific respiratory toxicity of the pharmaceutical substance articaine hydrochloride following chronic inhalation exposure. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):52–60. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-52-60

Введение. Спецификой химико-фармацевтического производства является применение химических веществ с высокой биологической активностью, как, например, фармацевтические субстанции. При этом на фармацевтических предприятиях ряд технологических процессов несовершенны (не полностью автоматизированы и др.), для многих из химических веществ, присутствующих в воздухе рабочей зоны в виде аэрозолей не разработаны гигиенические нормативы и не проводится аналитический контроль их содержания в воздухе рабочей зоны. Следовательно, постоянный контакт работников производства лекарственных препаратов с различными химическими веществами, а также дополнительное влияние тяжести и напряженности трудового процесса, шума, вибрации и/или других вредных профессиональных факторов нередко способствуют возникновению среди работников различных форм патологии [1–12]. По данным ряда авторов, в структуре заболеваемости работников химико-фармацевтической промышленности одно из первых мест занимают болезни органов дыхания неспецифического генеза и аллергической этиологии, в том числе хронический бронхит, обусловленный длительной работой в условиях относительно невысоких концентраций аэрозолей вредных веществ [3, 5, 7, 8, 11, 12].

Полное исключение из производственной среды вредных химических веществ практически невозможно, поэтому количественное ограничение воздействия химических веществ на безопасном и технически достижимым уровне на сегодняшний день является наиболее эффективным способом сохранения здоровья работающих [8, 13–15]. Также дополнительное значение для объективной оценки и разработки эффективных мер управлением риска профессионального воздействия химического фактора приобретает изучение токсического действия веществ, используемых или получаемых в процессе синтеза лекарственных препаратов, при ингаляционном пути поступления в организм, который, как правило, не учитывается для большинства лекарственных средств на этапе доклинических испытаний.

В Республике Беларусь не разработаны гигиенические нормативы и методы контроля в воздухе рабочей зоны для группы современных местноанестезирующих лекарственных средств

амино-амидного типа, в том числе и для артикаина гидрохлорида. С этой целью в течение 2021–2025 гг. на базе Научно-исследовательского института гигиены, токсикологии, эпидемиологии и вирусологии ГУ РЦГЭОЗ реализуется НИР «Разработать и обосновать предельно допустимую концентрацию (ПДК) и методики измерений фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорида в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе».

Следует упомянуть, что согласно данным Европейского химического агентства (ЕСХА) при классификации артикаина гидрохлорид по критериям Регламента (ЕС) № 1272/2008¹ (европейский аналог Согласованной на глобальном уровне системы классификации опасности и маркировки химической продукции) была отмечена возможность фармсубстанции вызывать поражение респираторной системы при многократном длительном воздействии, а легкие являлись критическим органом-мишенью (197 компаний подали 9 общих уведомлений в реестр ЕСХА, в которых в 44,7 % случаев данные, указывающие на органоспецифическую токсичность в отношении бронхолегочной системы, были признаны релевантными) [16].

Ранее авторами в эксперименте на животных была изучена острая токсичность и оценена степень опасности артикаина гидрохлорида при ингаляционном пути поступления. По данному параметру фармацевтическая субстанция была отнесена к веществам 2-го класса опасности (вещества высокоопасные) по ГОСТ 12.1.007². При этом на этапе первичной токсикологической оценки артикаина гидрохлорида среди всех изученных токсикометрических показателей именно острая ингаляционная токсичность являлась лимитирующим критерием вредности [17]. Закономерно, что и в случае токсикологического исследования в условиях длительного (хронического) эксперимента на более низких уровнях кроме общетоксических особое внимание требовало изучение респираторных токсических эффектов субстанции артикаина гидрохлорида.

Учитывая вышеизложенное, целью данной работы являлось изучить специфическое токсическое действие фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорида на бронхолегочную систему, установить лимитирующие показатели и пороговую концентрацию при хронической ингаляционной

¹ Регламент (ЕС) № 1272/2008 Европейского парламента и Совета Евросоюза от 16.12.2008 «Классификация, маркировка и упаковка». Доступно по: <https://reach.ru/CLPexample.pdf> (русскоязычный вариант) (дата обращения: 15.09.2024).

² Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.007-76. Введ. 01.01.1977. М.: Стандартинформ, 2007. 5 с.

экспозиции для последующего обоснования безопасного содержания субстанции в воздушной среде фармацевтического производства.

Материалы и методы. Для реализации намеченной цели животные (аутбредные белые крысы по 9 особей в каждой группе) подвергались ингаляционной (путем интраназального введения) экспозиции на протяжении 4 мес. (по 5 раз в неделю) в различных дозах, соответствующих концентраций артикаина гидрохлорида в 2 (опытная гр. № 1), 10 (опытная гр. № 2) и 50 мг/м³ (опытная гр. № 3). При пересчете доз в концентрации для интраназального введения руководствовались рекомендациями из МУ № 5789/1-91³. Выбор доз основывался на собственных данных первичной токсикологической оценки [17] и на предварительных расчетах, выполненных по логарифмическим формулам из Инструкции 1.1.11-12-206-2003⁴.

Интактные животные (гр. контроля) содержались в аналогичных условиях, им интраназально вводили растворитель – дистиллированную воду. Для исследования гистопатологических изменений были случайно сформированы группы из половозрелых особей обоего пола в количестве 9 штук в каждой группе, для изучения бронхоальвеолярного лаважа количество животных в группах – по 6 особей.

По окончании эксперимента у животных интактной (контрольной) и опытных групп был выполнен бронхоальвеолярный лаваж. Бронхоальвеолярную жидкость (БАЛЖ) получали закрытым способом на предварительно наркотизированных животных [18]. Наркотизация осуществлялась путем внутрибрюшинного введения тиопентала натрия (ОАО «Синтез», Российская Федерация) в дозе 100 мг/кг. Бронхи и легкие животных промывали двукратно физиологическим раствором в объеме 2 мл с последующей его аспирацией с помощью катетера диаметром 24G и шприца, далее полученную жидкость центрифугировали (Allegria 64R Centrifuge, Beckman coulter, США) для разделения проб лаважа (400 g, в течении 10 мин при температуре +4 °C). Осадок использовали для приготовления цитологических мазков с окраской по Романовскому – Гимзе, надосадочную жидкость – для определения содержания цитокинов. Изготовление микрофотографий было выполнено с помощью гистологического сканера AperioAT2 фирмы «Leica». При цитологическом исследовании оценивали клеточную плотность воспалительного инфильтрата в десяти не перекрываемых полях зрения (ПЗ) при увеличении ×40,0. Концентрацию цитокинов в БАЛЖ (интерлейкины 1 и 6, фактор некроза опухоли, интерферон гамма – ИЛ-1, ИЛ-6, ФНО, IFN-γ) определяли иммуноферментным методом с использованием наборов реагентов производства АО «Вектор-Бест», Российская Федерация.

После забора лаважа из бронхов и легких животные подвергались эвтаназии методом мгновенной декапитации. Для изучения токсического влияния артикаина гидрохлорида на бронхолегочную си-

стему выделяли трахею, бронхи и легкие, которые фрагментарно фиксировали для гистологического исследования в 10%-м растворе нейтрального формалина. Для полуавтоматической проводки и заливки использовали вакуумный гистопроцессор серии KD-TS6B и станцию заливки срезов в парафиновые блоки KD-BMIII BLIII (KEDEE, Китай). Гистологические срезы толщиной 3-4 мкм получали на ротационном микротоме CUT56 (Slee Medical, Германия), окрашивали гематоксилином и эозином по стандартной методике.

Микрофотографии были изготовлены на гистосканере AperioAT2 фирмы «Leica». Основными критериями токсического действия артикаина гидрохлорида при микроскопическом исследовании гистологических препаратов трахеи, бронхов и легких являлись наличие либо отсутствие альтерации, воспаления, компенсаторно-приспособительных изменений (атрофии, фиброза, склероза, гипертрофии, пролиферации). Анализ толщины межальвеолярных перегородок выполнен с помощью программы анализа изображений Aperio ImageScope v9.0.1.1506 (<https://aperio-imagescope.software.informer.com/9.0>) и ее приложения «Pen Tool». Ширина межальвеолярных перегородок оценивалась в пяти не перекрываемых полях зрения при увеличении ×20,0. Площадь поля составила 2055687,00 мкм².

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена параметрическим и непараметрическим методами с помощью компьютерной программы STATISTICA 13 (лиц. № AXA811I52562 7ARCN2ACD-M). Различия в сравниваемых группах считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Характеристика содержимого бронхоальвеолярного лаважа (цитологические параметры и цитокиновый профиль)

В бронхоальвеолярном лаваже от первой опытной группы к третьей наблюдается нарастание клеточной плотности воспалительного компонента с присоединением нейтрофилов и плазмочитов. Так, общее содержание нейтрофилов в БАЛЖ животных гр. № 2-3 при сравнении с контролем увеличилось в 6,28 и 7,29 раза, лимфоцитов – в 5,15 и 6,85 раза, в то же время, прирост макрофагов в БАЛЖ крыс данных групп был менее выражен – в 2,90 и 3,73 раза, соответственно. При этом, полученные данные о содержании клеток воспалительного инфильтрата в поле зрения как в опытной гр. № 2, так и в опытной гр. № 3 также характеризуются значимыми различиями ($p < 0,01$ для обеих групп) по количеству лимфоцитов, сегментоядерных нейтрофилов, плазмочитов и макрофагов в сравнении с контрольными животными (см. табл. 1, рис. 1).

Монотонная хроническая инспираторная экспозиция субстанцией артикаина гидрохлорида вызывает увеличение не только абсолютного, но и относительного содержания основных компонентов

³ Методические указания по экспериментальному обоснованию ПДК микроорганизмов-продуцентов и содержащих их готовых форм препаратов в объектах производственной и окружающей среды : метод. указания № 5789/1-91. М., 1993. 19 с.

⁴ Инструкция 1.1.11-12-206-2003. Гигиеническое нормирование лекарственных средств в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе населенных мест и воде водных объектов : утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 30.12.2003 : введ. 01.07.2004 // Сборник санитарных правил и норм по коммунальной гигиене : [в 2 ч.] / М-во здравоохранения Респ. Беларусь. Минск, 2004. Ч. 2. С. 13–63.

Таблица 1. Морфологические параметры бронхоальвеолярного лаважа групп исследования
Table 1. Morphological parameters of bronchoalveolar lavage in the study groups

Наименование показателя / Parameter	Контрольная группа / Control group	Группа № 1 / Group #1	Группа № 2 / Group #2	Группа № 3 / Group #3
Общая клеточность (кол-во клеток в 10 ПЗ) / Total cellularity (number of cells per 10 fields of view)	78 ± 1,14	110 ± 1,60	402 ± 3,67*	534 ± 8,90*
Количество лимфоцитов в лаваже (в числителе – клеток в 10 ПЗ, в знаменателе – в %) / Number of lymphocytes in the lavage (in the numerator – cells per 10 fields of view, in the denominator – in %)	$\frac{34,00 \pm 0,56}{43,59 \pm 0,72}$	$\frac{45,00 \pm 0,95}{40,91 \pm 0,86}$	$\frac{206,00 \pm 2,37*}{51,24 \pm 0,59}$	$\frac{274,00 \pm 4,57*}{51,31 \pm 0,86*}$
Количество нейтрофилов в лаваже (в числителе – клеток в 10 ПЗ, в знаменателе – в %) / Number of neutrophils in lavage (in the numerator – cells in 10 fields of view, in the denominator – in %)	$\frac{7,00 \pm 0,32}{8,97 \pm 0,42}$	$\frac{15,00 \pm 0,54}{13,64 \pm 0,49}$	$\frac{44,00 \pm 1,29*}{10,95 \pm 0,32*}$	$\frac{51,00 \pm 0,85*}{9,55 \pm 0,16}$
Количество плазмоцитов в лаваже (в числителе – клеток в 10 ПЗ, в знаменателе – в %) / Number of plasma cells in lavage (in the numerator – cells per 10 fields of view, in the denominator – in %)	$\frac{0,00 \pm 0,00}{0,00 \pm 0,00}$	$\frac{0,00 \pm 0,00}{0,00 \pm 0,00}$	$\frac{45,00 \pm 0,73*}{11,19 \pm 0,18*}$	$\frac{71,00 \pm 1,18*}{13,30 \pm 0,22*}$
Количество макрофагов в лаваже (в числителе – клеток в 10 ПЗ, в знаменателе – в %) / Number of macrophages in lavage (in the numerator – cells per 10 fields of view, in the denominator – in %)	$\frac{37,00 \pm 0,80}{47,44 \pm 1,03}$	$\frac{50,00 \pm 1,18}{45,45 \pm 1,07}$	$\frac{107,00 \pm 1,39*}{26,62 \pm 0,35}$	$\frac{138,00 \pm 2,30*}{25,84 \pm 0,43*}$

Примечание: * различия от контроля по *t*-критерию при $p < 0,01$.
Note: * $p < 0.01$, compared with the controls, based on *t*-test.

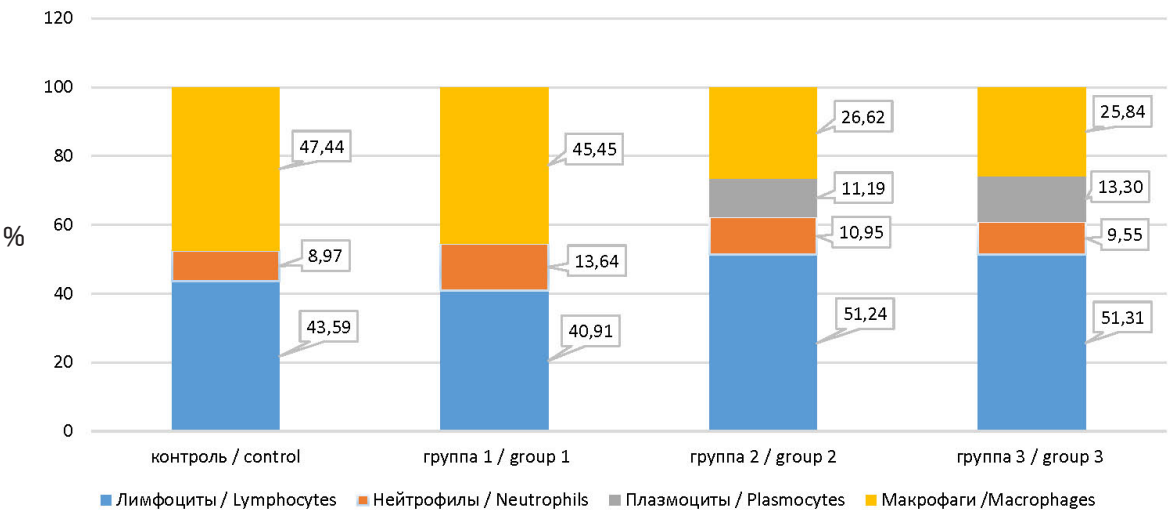


Рис. 1. Особенности клеточного состава БАЛЖ у экспонированных животных
Fig. 1. Group-specific cellular composition of the bronchoalveolar lavage fluid in the exposed animals

БАЛЖ и изменение клеточного состава, которые становятся критическим, позволяющим расценивать их как лимитирующий эффект, при концентрации в 10 мг/м³, а наиболее выражено при максимальном уровне экспозиции в данных условиях эксперимента (50 мг/м³).

Хроническая ингаляционная воздействие фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорида отразилась на изменении у экспонированных лабораторных животных цитокинового профиля бронхоальвеолярного лаважа. Установлено повышение ($p < 0,05$) концентрации интерлейкина 6 (IL-6) и фактора некроза опухоли альфа (TNF- α) в опытных группах № 2, 3 по сравнению с контрольной группой (см. табл. 2). В группе № 3 выросло содержание IL-18.

Микроскопические изменения бронхолегочной системы (трахея, бронхи и легкие)

В гистологических срезах у животных контрольной группы в слизистой оболочке и стенке бронхов и трахеи признаков фиброза, некроза и воспалительной инфильтрации не выявлено, отмечен слабо выраженный подслизистый отек (как результат проведенного бронхоальвеолярного лаважа). В легких эпителий мелких бронхов и бронхиол сохранен, местами выявлена десквамация клеток, стенки альвеол малоклеточные, тонкие, представлены капиллярами, альвеолярными макрофагами и альвеолоцитами (см. рис. 3А). Толщина межальвеолярных перегородок варьировала от 12,47 мкм до 28,13 мкм, медиана толщины межальвеолярных перегородок составила 19,45 (15,97;22,33) мкм.

Таблица 2. Концентрация цитокинов в бронхоальвеолярной жидкости подопытных животных
Table 2. Cytokine concentrations in the bronchoalveolar lavage fluid of the experimental animals

Исследуемые показатели, единицы измерения / Indicators, units of measurement	Контрольная группа / Control group	Группа № 1 / Group #1	Группа № 2 / Group #2	Группа № 3 / Group #3
Интерлейкин-6 (IL-6), пг/мл / Interleukin-6 (IL-6), pg/ml	1,65 (0,37–0,47)	1,55 (0,85–1,80)	4,20 (3,00–5,62)*	4,95 (3,25–5,90)*
Фактор некроза опухоли альфа (TNF α), пг/мл / Tumor necrosis factor alpha (TNF α), pg/ml	0,75 (0,00–1,80)	1,00 (0,00–3,58)	14,00 (5,58–23,70)*	20,30 (15,95–24,27)*
Интерлейкин-1 бета (IL-1 β), пг/мл / Interleukin-1 beta (IL-1 β), pg/ml	8,45 (2,95–15,37)	13,20 (7,22–33,05)	15,65 (7,95–36,10)	26,35 (6,30–47,45)*
Интерферон гамма (IFN γ), пг/мл / Interferon gamma (IFN γ), pg/ml	17,55 (15,50–22,60)	24,85 (14,62–33,20)	25,18 (16,16–30,47)	17,10 (11,42–37,70)

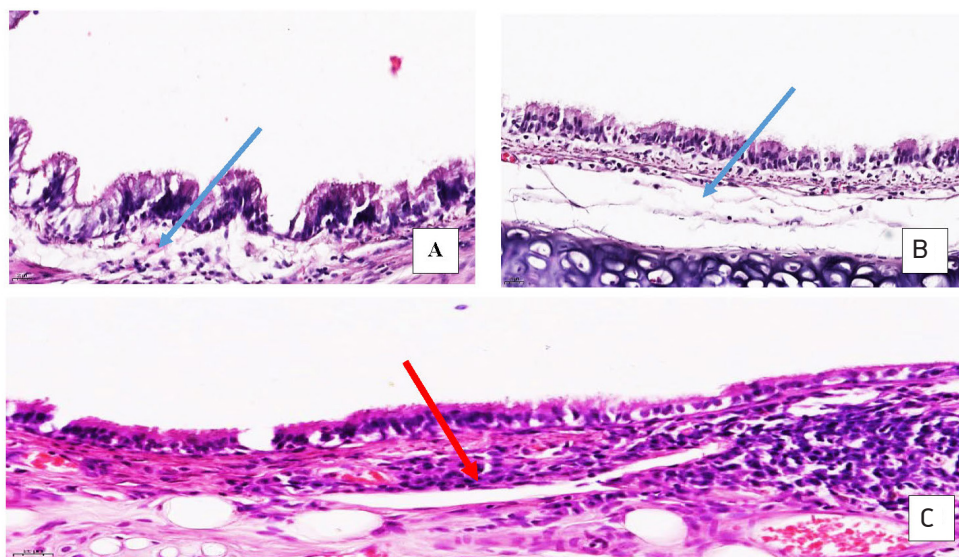
Примечание: * различия от контроля по U-критерию при $p < 0,05$.**Note:** * differences from control according to U-test at $p < 0.05$.

Воспалительной инфильтрации в легочной паренхиме не выявлено.

У животных опытной гр. № 1 (2 мг/м³) в слизистой оболочке трахеи отмечено снижение количества реснитчатых клеток, также отсутствовала воспалительная инфильтрация как в стенке трахеи, бронхов, так и в легочной паренхиме, дополнительно отмечены признаки распространенной панацинарной эмфизематозной трансформации, что может быть следствием выполненного бронхоальвеолярного лаважа (см. рис. 2А). Толщина межальвеолярных перегородок варьировала от 13,54 до 26,92 мкм, медиана толщины межальвеолярных перегородок составила 20,25 (16,91;22,62) мкм. В просвете альвеол – эритроциты (посмертные изменения), единичные макрофаги (см. рис. 3Б).

В слизистой оболочке и стенке бронхов и трахеи в гистологических срезах животных гр. № 2 (10 мг/м³)

отмечено нарастание количества бокаловидных клеток и снижение слоя ресничек реснитчатых клеток, выявлена гиперплазия базальных клеток эпителия, наблюдались умеренно выраженный подслизистый отек и слабовыраженная лимфоцитарная инфильтрация с примесью единичных плазмоцитов (см. рис. 2Б). В одном случае (11,1 %) в воспалительном инфильтрате присутствовали нейтрофилы. При микроскопическом изучении гистологических препаратов ткани легких животных гр. № 2 выявлено утолщение межальвеолярных перегородок. Толщина межальвеолярных перегородок варьировала от 13,54 до 36,92 мкм, медиана толщины межальвеолярных перегородок составила 23,35 (18,96;26,92) мкм. В отдельных случаях отмечена слабовыраженная перибронхиальная лимфоцитарная инфильтрация (2/22,2 %) и слабовыраженная периваскулярная (3/33,3 %) лимфоцитарная инфильтрация в легочной



А – незначительный подслизистый отек трахеи (стрелка) у подопытных животных гр. № 1 (2 мг/м³) / slight submucosal edema of the trachea (arrow) in experimental animals gr. No. 1 (2 mg/m³)

В – умеренно выраженный подслизистый отек трахеи (стрелка) у крыс гр. № 2 (10 мг/м³) / moderately pronounced submucosal edema of the trachea (arrow) in rats gr. No. 2 (10 mg/m³)

С – воспалительная инфильтрация в подслизистом слое слизистой оболочки трахеи (стрелка) у крыс гр. № 3 (50 мг/м³); окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 40,0$ / inflammatory infiltration in the submucosal layer of the tracheal mucosa (arrow) in rats gr. No. 3 (50 mg/m³); hematoxylin and eosin staining, magnification $\times 40.0$

Рис. 2. Гистологическая характеристика трахеи подопытных животных групп исследования

Fig. 2. Exposure group-specific histological images of the trachea of the experimental animals

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-52-60>
Original Research Article

паренхиме крыс. Выявлены признаки панацинарной эмфизематозной трансформации (рис. 3В).

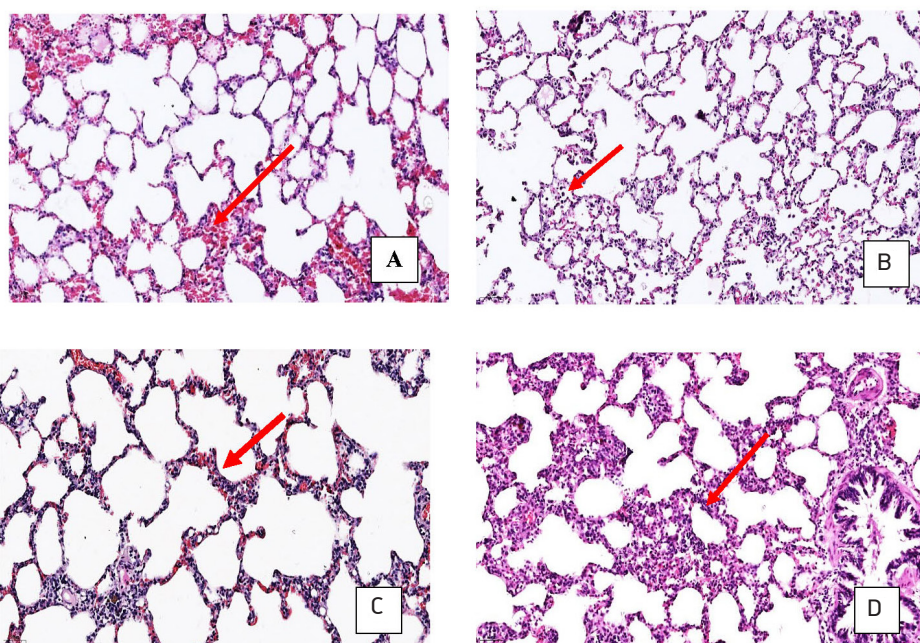
В слизистой оболочке и стенке бронхов и трахеи у животных опытной гр. № 3 (50 мг/м³) отмечены снижение количества бокаловидных клеток и снижение толщины слоя ресничек реснитчатых клеток респираторного эпителия, умеренно выраженная лимфоцитарная инфильтрация подслизистого слоя с примесью плазмочитов (6/66,7 %), в трех случаях (33,3 %) в воспалительном инфильтрате присутствовали нейтрофилы (см. рис. 2В). В легочной паренхиме – стенки альвеол резко и неравномерно утолщены за счет пролиферации альвеолярных макрофагов и скоплений лимфоцитов и плазмочитов (см. рис. 3Г). Толщина межальвеолярных перегородок варьировала от 17,18 мкм до 94,95 мкм, медиана толщины межальвеолярных перегородок составила 37,14 (28,62;45,19) мкм. Во всех случаях (9/100 %) наблюдалась умеренно (5/55,6 %) и выраженная (4/44,4 %) перибронхиальная лимфоцитарная инфильтрация, периваскулярно также отмечена умеренно выраженная (6/66,7 %) и выраженная (3/33,3 %) воспалительная инфильтрация. Отмечены признаки панацинарной эмфизематозной трансформации в верхних долях легких.

При статистической обработке полученных данных установлены значимые ($p < 0,01$) различия с контрольными значениями по следующим морфологическим параметрам: толщина межальвеолярных перегородок легких крыс опытных гр. № 2 и 3, вы-

раженность периваскулярной и перибронхиальной инфильтрации в легких крыс опытной гр. № 3.

Обсуждение. Современные цито- и иммунологические методы изучения БАЛЖ обладают несомненной диагностической ценностью, позволяют выявить определенные изменения жизнеспособности клеток, их функциональной активности и соотношений между отдельными клеточными элементами лаважа для установления наличия, возможной этиологии и степени активности патологического процесса в бронхолегочной системе.

Наблюдаемое увеличение клеточности БАЛЖ, привлечение в дыхательные пути и ткани легких фагоцитирующих клеток с дополнительной мобилизацией нейтрофилов связано с развитием воспалительных изменений в бронхолегочной системе, а появление плазматических клеток и значительное количество в общей структуре лимфоцитов свидетельствует о хронизации ответной воспалительной реакции. Доказанным фактом является взаимная связь между морфологическими и иммунологическими изменениями в верхних дыхательных путях, развивающихся при воздействии промышленных аэрозолей [19, 20]. Так, Панкова В.Б. и соавт. отмечают, что ингаляционное поступление промышленных аэрозолей в организм создает возможности для воздействия сенсибилизирующего химического вещества на весь респираторный тракт, а сам процесс сенсибилизации носит длительный, хронический характер и сопровождается аутоиммунной реакцией [19].



А – внутриальвеолярные кровоизлияния (стрелка) в легочной паренхиме крыс контрольной группы / intraalveolar hemorrhages (arrow) in the pulmonary parenchyma of rats of the control group

В – скопления альвеолярных макрофагов (стрелка) в просвете альвеол легких подопытных животных гр. № 1 (2 мг/м³) / accumulations of alveolar macrophages (arrow) in the lumen of the alveoli of the lungs of experimental animals gr. No. 1 (2 mg/m³)

С – слабовыраженное утолщение межальвеолярных перегородок (стрелка) легких крыс гр. № 2 (10 мг/м³) / weakly expressed thickening of the interalveolar septa (arrow) of the lungs of rats gr. No. 2 (10 mg/m³)

Д – умеренно выраженное утолщение межальвеолярных перегородок легких (стрелка) крыс гр. № 3 (50 мг/м³); окраска гематоксилином и эозином, увеличение ×20,0 / moderately pronounced thickening of the interalveolar septa of the lungs (arrow) of rats gr. No. 3 (50 mg/m³); hematoxylin and eosin staining, magnification ×20.0

Рис. 3. Гистологическая характеристика легочной паренхимы крыс групп исследования

Fig. 3. Exposure group-specific histological images of the trachea of the experimental animals

Обобщенная оценка выявленных изменений БАЛЖ (цитологические особенности и содержание цитокинов) свидетельствует, что пороговым значением для органоспецифического действия артикаина гидрохлорида на бронхолегочную систему лабораторных животных в условиях хронической ингаляционной экспозиции является концентрация субстанции 10 мг/м³, а лимитирующими показателями – абсолютное и относительное содержание клеточных элементов (лимфоциты, нейтрофилы, плазмоциты и макрофаги) и цитокинов (ИЛ-6 и ФНО-α) в БАЛЖ.

Исходя из полученных данных о микроскопической структуре органов бронхолегочной системы подопытных животных после хронической ингаляционной экспозиции фармакологической субстанции артикаина гидрохлорида в различных концентрациях установлено, что ингаляционная экспозиция на протяжении 4 месяцев анализируемой фармакологической субстанции в концентрации 2 мкг/м³ у подопытных животных не приводила к патологическим изменениям в дыхательных путях и легочной паренхиме, при концентрации 10 мкг/м³ сопровождалась минимальными проявлениями раздражающего действия субстанции на слизистую оболочку бронхиального дерева и легочной паренхимы. Ингаляционная экспозиция фармакологической субстанции артикаина гидрохлорида на уровне 50 мкг/м³ характеризовалась значительными структурными изменениями изученных органов и развитием выраженного интерстициального пневмонита.

Выводы

1. Данные о клеточном составе БАЛЖ коррелировали с гистологическими изменениями трахеи, бронхов и легочной паренхимы крыс. Так, увеличение клеточности (лимфоцитов, нейтрофилов и макрофагов), появление в мазках БАЛЖ плазмоцитов, рост концентрации провоспалительных цитокинов (ИЛ-6 и ФНО) и структурные патоморфологические изменения органов были статистически значимыми при экспозиции животных субстанцией на уровне 10 и 50 мг/м³ и носили дозозависимый характер, приобретая большую степень выраженности с увеличением уровня экспозиции.

2. Порогом вредного хронического органоспецифического действия артикаина гидрохлорид на бронхолегочную систему лабораторных животных является уровень экспозиции 10 мг/м³, что необходимо учитывать при обосновании гигиенического норматива безопасного содержания фармсубстанции в воздухе рабочей зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Binks SP. Occupational toxicology and the control of exposure to pharmaceutical agents at work. *Occup Med (Lond)*. 2003;53(6):363–370. doi: 10.1093/occmmed/kqg116
2. Горохова Л.Г., Уланова Е.В., Шавцова Г.М., Ердеева С.В., Блажина О.Н. Состояние здоровья работающих в химико-фармацевтической отрасли // Медицина труда и пром. экология. 2018. № 6. С. 38–42. doi: 10.31089/1026-9428-2018-6-38-42
3. Арабей С.В., Гиндюк А.В. Условия труда и профессиональный риск здоровью работников цеха по производству противоопухолевых лекарственных средств // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2022. Т. 20. № 5. С. 526–530. doi: 10.25298/2221-8785-2022-20-5-526-530
4. Milovanović A, Jakovljević B, Milovanović J, et al. Morbidity patterns of workers employed in pharmaceutical-chemical industry. *Srp Arh Celok Lek*. 2007;135(3-4):184–190. (In Serbian.) doi: 10.2298/sarh0704184m
5. Yu WL, Zhou JJ, Zou JF, et al. Investigation of occupational health status of female workers in pharmaceutical industry of Shandong and Gansu provinces. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2011;29(9):650–652. (In Chinese.) doi: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2011.09.004
6. Гейдан Д.М., Тимофеева С.С. Профессиональные заболевания работников при производстве фармацевтических препаратов // Безопасность-2023. Проблемы техносферной безопасности современного мира. Сборник материалов XXVIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. С. 264–267.
7. Лелюх П. Ю. Причины возникновения профессиональных заболеваний у работников фармацевтического производства и методы их профилактики // Мавлютовские чтения. Сборник материалов XVI Всероссийской молодежной научной конференции: в 6 томах. Т. 4. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. С. 189–191.
8. Василькевич В.М. Богданов Р.В., Дроздова Е.В. Актуальные вопросы гигиенического регламентирования и создания безопасных условий труда на предприятиях по производству фармацевтических препаратов // Медицина труда и пром. экология. 2020. № 10. С. 640–644.
9. Джангозина Д.М. Темиреева К.С., Аманжол И.А. и др. Факторы производственной деятельности, влияющие на условия труда фармацевтических работников // Международный журнал экспериментального образования. 2009. № 3. С. 31–33.
10. Бахонина Е.И., Матузов Г.Л., Фазылова Л.И., Хайбуллина Р.Р. Особенности труда и проявления профессиональных заболеваний работников фармацевтических производств // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2024. № 3. С. 92–105. doi: 10.17122/ogbus-2024-3-92-105
11. Gathuru IM, Buchanich JM, Marsh GM, Dolan DG. Health hazards in the pharmaceutical industry. *Pharmaceut Reg Affairs*. 2015;4(3):145. doi: 10.4172/2167-7689.1000145
12. Goossens A, Hulst KV. Occupational contact dermatitis in the pharmaceutical industry. *Clin Dermatol*. 2011;29(6):662–668. doi: 10.1016/j.clindermatol.2011.08.011
13. Семёнова В.Н., Степанов А.Э., Крашенина Г.И. и др. Гигиеническое нормирование – современное состояние и проблемы. В электронном научном журнале: Универсум: медицина и фармакологии; 2023. №7(100). Доступно по: <https://7universum.com/ru/med/archive/item/15673>. Ссылка активна на 28.08.2024.
14. Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В. Современные подходы к гармонизации гигиенического нормирования химических веществ с международными // В сб.: Республканская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 90-летию НИИИ санитарии, гигиены и профессиональных заболеваний «Инновационные подходы в решении санитарно-гигиенических и медико-биологических проблем здоровья населения». Ташкент, 2024. С. 207–208.
15. Dorne JL, Ragas AM, Frampton GK, Spurgeon DS, Lewis DF. Trends in human risk assessment of pharmaceuticals.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-52-60>

Original Research Article

- Anal Bioanal Chem.* 2007;387(4):1167-1172. doi: 10.1007/s00216-006-0961-9
16. PubChem. Articaine hydrochloride. Accessed September 9, 2023. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Articaine-hydrochloride#datasheet=LCSS>
 17. Василькевич В.М., Евтерева А.А., Чернышова Е.В. О результатах первичной токсикологической оценки фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорид // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2024. Т. 23. № 2. С. 59–68. doi:10.22263/2312-4156.2024.2.59
 18. Матичин А.А., Кательникова А.Е., Крышень К.Л. Особенности отбора бронхоальвеолярного лаважа у лабораторных животных. Лабораторные животные для научных исследований. 2019. № 4. С. 37–43. doi: 10.29296/2618723X-2019-04-06
 19. Панкова В.Б., Федина Я.А., Накатис И.Н., Лавренова Г.В. Заболевания верхних дыхательных путей, вызванные воздействием промышленных аэрозолей // Российская ринология. 2016. Т. 24. № 4. С. 30–36. doi: 10.17116/rosrino201624430-36
 20. Лаврентьева Н.Е. Профессиональные заболевания органов дыхания у фармацевтических работников // Врач-аспирант. 2012. Т. 55. № 6. С. 363–368.
- ### REFERENCES
1. Binks SP. Occupational toxicology and the control of exposure to pharmaceutical agents at work. *Occup Med (Lond)*. 2003;53(6):363–370. doi: 10.1093/ocmed/kqg116
 2. Gorokhova LG, Ulanova EV, Shavtsova GM, Erdeeva SV, Blazhina ON. Health state of workers in chemical and pharmaceutical industry. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2018;(6):38-42. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2018-6-38-42
 3. Arabei SV, Hindziuk AV. Working conditions and occupational health risk of workers in the anticancer drugs production plant. *Zhurnal Grodnenskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta*. 2022;20(5):526-530. (In Russ.) doi: 10.25298/2221-8785-2022-20-5-526-530
 4. Milovanović A, Jakovljević B, Milovanović J, et al. Morbidity patterns of workers employed in pharmaceutical-chemical industry. *Srp Arh Celok Lek*. 2007;135(3-4):184–190. (In Serbian.) doi: 10.2298/sarh0704184m
 5. Yu WL, Zhou JJ, Zou JF, et al. Investigation of occupational health status of female workers in pharmaceutical industry of Shandong and Gansu provinces. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2011;29(9):650-652. (In Chinese.) doi: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2011.09.004
 6. Geydan DM, Timofeeva SS. [Occupational diseases in pharmaceutical workers.] In: *Safety – 2023. Problems of Technosphere Safety of the Modern World: Proceedings of the XXVIII All-Russian Student Scientific and Practical Conference with international participation, Irkutsk, April 19–21, 2023*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2023:264–267. (In Russ.)
 7. Lelyukh PYu, Terpigoreva IV. [Causes of occupational diseases in pharmaceutical workers and methods of their prevention.] In: *Mavlyutov Readings: Proceedings of the XVI All-Russian Youth Scientific Conference, Ufa, October 25–27, 2022*. Ufa: Ufa State Aviation Technical University; 2022:189–191. (In Russ.)
 8. Vasilkevich VM, Bogdanov RV, Drozdova EV. Actual issues of hygienic regulation and creation of safe working conditions at pharmaceutical manufacturing enterprises. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2020;60(10):640-644. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-10-640-644
 9. Dzhangozina DM, Temireeva KS, Amanzhol IA, et al. [Factors of production activities affecting working conditions of pharmaceutical workers.] *Mezhdunarodnyy Zhurnal Eksperimental'nogo Obrazovaniya*. 2009;(3):31-33. (In Russ.)
 10. Bakhonina EI, Matuzov GL, Fazylova LI, Khaybullina RR. Working conditions and occupational diseases of pharmaceutical workers. *Neftegazovoe Delo*. 2024;(3):92-105. (In Russ.) doi: 10.17122/ogbus-2024-3-92-105
 11. Gathuru IM, Buchanich JM, Marsh GM, Dolan DG. Health hazards in the pharmaceutical industry. *Pharmaceut Reg Affairs*. 2015;4(3):145. doi: 10.4172/2167-7689.1000145
 12. Goossens A, Hulst KV. Occupational contact dermatitis in the pharmaceutical industry. *Clin Dermatol*. 2011;29(6):662-668. doi: 10.1016/j.clindermatol.2011.08.011
 13. Semenova VN, Stepanova AE, Krashenina GI, et al. Hygienic regulation – current status and problems. *Universum: Medicine and Pharmacology*. 2023;7(100):28-31. (In Russ.) doi: 10.32743/UniMed.2023.100.7.15673
 14. Khamidulina KhKh, Tarasova EV. [Modern approaches to harmonization of hygienic regulation of chemicals with international requirements.] In: *Innovative Approaches to Solving Sanitary, Hygienic, and Biomedical Problems of Population Health: Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference with international participation dedicated to the 90th Anniversary of the Research Institute of Sanitation, Hygiene and Occupational Diseases, Tashkent, July 16, 2024*. Tashkent; 2024:207-208. (In Russ.)
 15. Dorne JL, Ragas AM, Frampton GK, Spurgeon DS, Lewis DF. Trends in human risk assessment of pharmaceuticals. *Anal Bioanal Chem.* 2007;387(4):1167-1172. doi: 10.1007/s00216-006-0961-9
 16. PubChem. Articaine hydrochloride. Accessed September 9, 2023. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Articaine-hydrochloride#datasheet=LCSS>
 17. Vasilkevich VM, Evtereva AA, Chernyshova EV. On the results of the initial toxicological assessment of the pharmaceutical substance articaine hydrochloride. *Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta*. 2024;23(2):59-68. (In Russ.) doi: 10.22263/2312-4156.2024.2.59
 18. Matchinin AA, Katelnikova AE, Kryshen KL. Specific techniques of bronchoalveolar lavage collecting from laboratory animals. *Laboratory Animals for Science*. 2019;(4):37-43. (In Russ.) doi: 10.29296/2618723X-2019-04-06
 19. Pankova VB, Fedina IN, Nakatis YaA, Lavrenova GV. Upper respiratory tract diseases caused by exposure to industrial aerosols. *Rossiyskaya Rinologiya*. 2016;24(4):30-36. (In Russ.) doi: 10.17116/rosrino201624430-36
 20. Lavrentieva NE. Occupational respiratory disease in pharmaceutical workers. *Vrach-Aspirant*. 2012;55(6.2):363-368. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Евтерева Антонина Александровна – научный сотрудник лаборатории промышленной токсикологии, Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии, эпидемиологии и вирусологии ГУ РЦГЭОЗ Министерства здравоохранения Республики Беларусь; e-mail: evatropinkina@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1777-8972>.

✉ **Василькевич** Вадим Михайлович – ведущий научный сотрудник лаборатории промышленной токсикологии, канд. мед. наук, Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии, эпидемиологии и вирусологии ГУ РЦГЭОЗ Министерства здравоохранения Республики Беларусь; e-mail: sabas2004@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6461-0655>.

Сычик Сергей Иванович – директор, канд. мед. наук, доцент, Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии, эпидемиологии и вирусологии ГУ РЦГЭОЗ Министерства здравоохранения Республики Беларусь; e-mail: rspch@rspch.by; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5493-9799>.

Рябцева Светлана Николаевна – заведующий лабораторией Центра морфологических исследований, канд. мед. наук, доцент, Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси; e-mail: sveta.rjabceva@tut.by; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5960-3656>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Василькевич В.М., Рябцева С.Н.*; литературный обзор, сбор данных: *Евтерева А.А.*; выполнение эксперимента: *Евтерева А.А., Василькевич В.М., Рябцева С.Н.*; анализ и интерпретация результатов: *Евтерева А.А., Василькевич В.М., Сычик С.И., Рябцева С.Н.*; подготовка рукописи: *Евтерева А.А.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: обращение с животными (содержание, уход, выведение из эксперимента) соответствовали общепринятым требованиям гуманного отношения к экспериментальным животным (European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123), Strasbourg, 1986), имеется положительное заключение локальной комиссии по биоэтике Научно-исследовательского института гигиены, токсикологии, эпидемиологии и вирусологии ГУ РЦГЭОЗ (протокол заседания № 4 от 21.08.2023).

Финансирование: исследование проведено в рамках выполнения ГНТП «Разработка фармацевтических субстанций, лекарственных средств и нормативно-правового обеспечения фармацевтической отрасли», задание 2.25 «Разработать и обосновать предельно допустимую концентрацию (ПДК) и методики измерений фармацевтической субстанции артикаина гидрохлорида в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе». (Рег. № НИОКТР 20231384)»

Конфликт интересов: Сычик Сергей Иванович является членом международного редакционного совета журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 10.09.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

Antonina A. **Evtтерева**, Researcher, Laboratory of Industrial Toxicology, Research Institute of Hygiene, Toxicology, Epidemiology and Virology, Republican Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health; e-mail: evatropinkina@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1777-8972>.

✉ Vadim M. **Vasilkevich**, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Industrial Toxicology, Research Institute of Hygiene, Toxicology, Epidemiology and Virology, Republican Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health; e-mail: sabas2004@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6461-0655>.

Sergey I. **Sychik**, Cand. Sci. (Med.), docent; Director, Research Institute of Hygiene, Toxicology, Epidemiology and Virology, Republican Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health; e-mail: rspch@rspch.by; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5493-9799>.

Svetlana N. **Ryabtseva**, Cand. Sci. (Med.), docent; Head of Laboratory, Center for Morphological Research, Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus; e-mail: sveta.rjabceva@tut.by; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5960-3656>.

Author contributions: study conception and design: *Vasilkevich V.M., Ryabtseva S.N.*; data collection, bibliography compilation and referencing: *Evtтерева А.А.*; experiment: *Evtтерева А.А., Vasilkevich V.M., Ryabtseva S.N.*; analysis and interpretation of results: *Evtтерева А.А., Vasilkevich V.M., Sychik S.I., Ryabtseva S.N.*; draft manuscript preparation: *Evtтерева А.А.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with the rules of bioethics: Treatment of animals (keeping, care, removal from the experiment) complied with generally accepted requirements for humane treatment of experimental animals (European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123), Strasbourg, 1986). Ethics approval was provided by the Local Bioethics Committee of the Research Institute of Hygiene, Toxicology, Epidemiology, Virology and Microbiology of the State Institution Republican Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health (protocol No. 4 of August 21, 2023).

Funding: The study was carried out within the framework of the State Scientific and Technical Program “Development of pharmaceutical substances, medicines, and regulatory support for the pharmaceutical industry”, Task 2.25 “Develop and justify the maximum permissible concentration (MPC) and measurement methods for the pharmaceutical substance articaine hydrochloride in the air of the working area and atmospheric air” (Registration No. NIOKTR 20231384).

Conflict of interest: Sergey I. Sychik is a member of the Foreign Editorial Council of the journal *Public Health and Life Environment*; other authors have no conflicts of interest to declare.

Received: September 10, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Совершенствование методов оценки экспозиции глубокоподземных физических факторов (обзор литературы)

А.М. Егорова

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,
ул. Семашко, д. 2, Мытищи Московской обл., 141014, Российская Федерация

Резюме

Введение. Добыча полезных ископаемых ведется на все большей глубине. Однако мало данных о влиянии физических факторов в зависимости от глубины шахт. Heping Xie предложила новый термин – подземная медицина, которая изучает влияние на человека глубокоподземных факторов.

Цель исследования. Изучить по данным отечественных и зарубежных литературных источников глубокоподземные физические факторы и методы оценки экспозиции в зависимости от глубины шахты.

Материалы и методы. Проведен поиск литературы с использованием соответствующих ключевых слов в поисковых системах PubMed, по базам данных Scopus, Web of Science, Medline, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, РИНЦ и другим. Были включены проспективные исследования условий труда и состояния здоровья работающих в глубоких шахтах за период 2000–2024 гг. Из 200 первоначально выявленных статей были отобраны 27 полнотекстовых материалов, удовлетворяющих вышеуказанным критериям. Не учитывались статьи, изучающие работу на поверхности шахт, а также обзорные статьи.

Результаты. В ходе проведенного обобщения и систематизации результатов научных исследований у работающих в добыче полезных ископаемых выявлен высокий риск возникновения теплового стресса у работающих, возрастающий с увеличением глубины шахты. Обсуждается необходимость изучения глубокоподземных факторов, которые могут повлиять на здоровье людей, работающих в глубоких шахтах: температура воздуха, тепловое излучение от горных пород, радиация, давление воздуха. Показаны методы оценки экспозиции физических факторов и необходимость их совершенствования.

Выводы. Отмечается необходимость совершенствования методов оценки экспозиции глубокоподземных физических факторов, так как при работе в шахтах с увеличением глубины увеличивается температура воздуха и горных пород, влажность воздуха, атмосферное давление, уменьшается мощность дозы γ -излучения. В целях предупреждения заболеваний, обусловленных воздействием глубокоподземных факторов, необходим дифференцированный подход к медико-профилактическим мероприятиям в зависимости от глубины подземных шахт.

Ключевые слова: подземная медицина, нагревающий микроклимат, физические факторы, глубокоподземные факторы, обзор.

Для цитирования: Егорова А.М. Совершенствование методов оценки экспозиции глубокоподземных физических факторов (обзор литературы) // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 61–65. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-61-65

Improvement of Methods for Assessing the Exposure to Deep Underground Physical Factors: A Literature Review

Anna M. Egorova

F.F. Erisman Federal Research Center for Hygiene, 2 Semashko Street,
Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

Summary

Introduction: Mining is carried out at ever greater depths. However, there is little data on the influence of depth-related physical factors. Heping Xie has proposed the notion of “deep underground medicine”, which studies human health effects of deep underground factors.

Objective: To examine deep underground physical factors and methods for assessing exposure by depth of the mine based on domestic and foreign sources.

Materials and methods: A literature search was conducted using relevant keywords in the PubMed search engines, in the Scopus, Web of Science, Medline, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, RCSI, and other databases. Prospective studies of working conditions and health status of workers in deep underground mines for 2000–2024 were included. Of 200 search results, 27 full-text articles were eligible for inclusion in the review. The articles discussing works on the surface of mines were discarded, as well as review articles.

Results: A high risk of heat stress in miners that increases with the depth of the mine was revealed in the course of generalization and systematization of published data. The necessity of studying deep underground factors that can affect human health, including air temperature, heat generated within rocks, radiation, and air pressure is discussed. Methods for assessing exposure to physical factors and the need to improve them are demonstrated.

Conclusions: The necessity of improving methods for assessing exposures to deep underground physical factors is noted as the air and rock temperature, air humidity, and atmospheric pressure increase while the γ -radiation dose rate decreases with the depth. In order to prevent diseases caused by exposure to deep underground factors, a differentiated approach to depth-related preventive health measures is essential.

Keywords: deep underground medicine, heating microclimate, physical factors, deep underground factors, review.

Cite as: Egorova AM. Improvement of methods for assessing the exposure to deep underground physical factors: A literature review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):61–65. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-61-65

Введение. Добыча полезных ископаемых ведется на все большей глубине. Однако мало известно о дифференцированном влиянии физических факторов в зависимости от глубины шахт. Heping Xie [1] сформулировала концепцию подземной медицины, изучающую влияние на человека глубокоподземных факторов. Целью концепции подземной медицины является изучение здоровья человека при работе на различных подземных глубинах [2]. В мире созданы подземные лаборатории, которые изучают подземную среду на разной глубине в зависимости от параметров температуры, радиации, давления воздуха, а также влияние этих факторов на здоровье человека, в том числе психологических изменений, гомеостаза и биоритмов организма на больших глубинах; изучение связи между психологическим здоровьем человека и глубиной, факторами среды и временем работы в подземном пространстве, изучение физиологических особенностей организма в зависимости от подземной среды.

Мало изучены глубокоподземные факторы (радиация, давление воздуха), которые могут повлиять на здоровье людей, работающих в глубоких шахтах [3]. Некоторые исследования [4] показали, что клетки прокариот и эукариот, находящиеся в условиях низких уровней фонового излучения, проявляют реакцию на стресс, которая проявляется в изменениях роста клеток, активности ферментов и чувствительности к факторам, вызывающим генетические повреждения; однако лежащие в основе механизмы не ясны.

Актуальной задачей в современных условиях является изучение условий труда в глубоких шахтах, так как при работе в шахтах с увеличением глубины шахты происходит увеличение температуры воздуха и горных пород, влажности воздуха, атмосферного давления, снижение дозы γ -излучения.

Необходимо совершенствование методов оценки экспозиции физических факторов в глубоких шахтах, разработка и научно-гигиеническое обоснование комплекса медико-профилактических мероприятий в зависимости от глубины подземных шахт.

Цель исследования. Изучить по данным отечественных и зарубежных литературных источников глубокоподземные физические факторы и методы оценки экспозиции физических факторов у подземных рабочих в зависимости от глубины шахты.

Материалы и методы. Проведен поиск литературы с использованием соответствующих ключевых слов, в поисковых системах PubMed, по базам данных Scopus, Web of Science, Medline, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, РИНЦ за период 2000–2024 гг. Поиск осуществлялся по ключевым словам: подземная медицина, нагревающий микроклимат, физические факторы, глубокоподземные факторы. В основу исследования легли работы отечественных и зарубежных авторов. Применен метод аналитического обзора публикаций. Были включены проспективные исследования условий труда и состояния здоровья работающих в глубоких шахтах. Из 200 первоначально выявленных статей были отобраны 27 полнотекстовых материалов, удовлетворяющих вышеуказанным критериям. Не

учитывались статьи, изучающие работу на поверхности шахт, а также обзорные статьи.

Результаты. Мало изучены факторы окружающей среды, влияющие на здоровье людей, которые работают в глубоких шахтах. При гигиеническом анализе параметров микроклимата на подземных рабочих местах показана целесообразность учета величины геотермической ступени и глубины разработки шахты [5]. В работе [6] были изучены параметры окружающей среды: давление воздуха, относительная влажность, температура, суммарная мощность дозы гамма-излучения и концентрация CO₂. Давление воздуха, относительная влажность, концентрация CO₂ и температура повышались с увеличением глубины шахты, в то время как суммарная мощность дозы гамма-излучения снижалась. Основными источниками тепла в металлургических шахтах являются автокомпрессия воздуха, теплота породы (геотермальный градиент), тепло от техники, притока воды, взрывных работ, трения обрушающейся породы, трубопроводов и др. [7].

Концентрация кислорода в глубоких шахтах не изменяется благодаря вентилированию воздуха [8].

Низкий фоновый уровень радиации может вызывать реакцию на стресс и повлиять на органеллы клеток, вызвать окислительный стресс, изменить защитные способности и метаболизм клеток. Исследования показывают, что работа на большой глубине оказывает вредное воздействие на здоровье человека. Сотрудники, работающие в глубоких шахтах, испытывают дискомфорт, вызванный высокой температурой и влажностью, эти показатели увеличиваются с глубиной. У работников выявлены усталость и нарушения сна. Негативное воздействие подземных факторов (DUGE) на здоровье человека авторы связывают с изменениями в метаболизме определенных аминокислот, возникновении окислительного стресса [9].

С увеличением глубины шахты отмечается снижение дозы γ -излучения более чем в 2 раза и увеличение концентрации радона в глубоких шахтах [10].

В настоящее время угольные шахты достигли глубины 1500 м, рудные шахты 2500 м, золотые рудники до 4350 м, а глубина разработки нефти и газа составляет около 7500 м. При изучении психического состояния работающих под землей установлено, что факторы нагревающего микроклимата (повышенная температура и влажность) были наиболее часто воспринимаемыми неблагоприятными факторами в глубоких подземных пространствах [11]. Курение усиливало негативное воздействие производственных факторов. Более половины шахтеров, работающих под землей, курят [12].

В условиях теплового стресса важное значение имеет совершенствование методов оценки экспозиции нагревающего микроклимата. В исследовании [13] изучалось влияние многократного кратковременного периодического воздействия тепла на шахтеров. Было показано, что у шахтеров температура тела часто меняется и превышает предельный уровень в 38 °C несколько раз за смену. Авторы исследования отметили, что температура тела превышала 38 °C

5 раз за смену в среднем на 26 минут. Методология в данном исследовании включала: анкетирование, проводимое для оценки симптомов теплового напряжения, взятие образцов мочи до и после смены для оценки состояния обезвоживания, путем измерения удельного веса мочи с помощью рефрактометра, измерения температуры тела с помощью датчиков, используемых при приеме внутрь. Испытуемым вводили проглатываемые датчики примерно за 1 час до спуска под землю. Измерения частоты сердечных сокращений анализировали с помощью программируемых нагрудных устройств, относительную влажность определяли с помощью портативных датчиков, которые крепились к каске испытуемых. Все физиологические показатели измерялись с интервалом в 20 секунд, а условия окружающей среды – с интервалом от 20 до 30 секунд в течение всей смены испытуемого. Обнаружение одного симптома, свидетельствующего о тепловом напряжении, было выявлено за 67 % рабочих смен, два симптома обнаружены за 33 % смен, три или более симптома – за 22 % смен. Испытуемые сообщали о наличии заболеваний, связанных с нагревающим микроклиматом, а также о различных сочетаниях проявлений теплового стресса: теплового удара, теплового истощения, судорог, обмороков. Из проб мочи до и после смены 62,5 % проб мочи до смены имели удельный вес выше 1,020, характеризующего обезвоживание организма. По мнению авторов, необходимы дальнейшие исследования, чтобы оценить, влияют ли длительные повышенные температуры тела по сравнению с прерывистыми, повторяющимися повышениями температуры на здоровье и производительность работников одинаковым образом, а также влияет ли кратковременное воздействие температур, значительно превышающих порог температуры тела 38 °C, на здоровье работников.

Различия в частоте теплового истощения в зависимости от глубины залегания шахты представлены в статье [14]. Случаи теплового истощения у шахтеров, работающих на глубине ниже 1200 м, по сравнению с шахтерами, работающими на глубине выше 1200 м, были в 3,17 раза чаще. Частота тепловых ударов увеличивалась в теплый период и на большой глубине.

У работников, занятых в глубоких шахтах, вследствие теплового истощения отмечается повышенный травматизм [15].

При работе в условиях нагревающего микроклимата важное значение имеют управленческие решения: работодатели должны информировать работников о рисках работы в таких условиях, устраивать регулярные перерывы, знакомить сотрудников с методами самоконтроля уровня обезвоживания [16].

При изучении труда операторов горнодобывающих машин, работающих в глубоких медных шахтах, было установлено, что средние значения ЧСС в подгруппе без кондиционеров были значительно выше, чем в подгруппе с кондиционерами. Были выявлены преимущества использования горнодобывающих машин с кондиционированием воздуха для снижения воздействия нагревающего микроклимата на работающих [17].

В техническом отчете Всемирной организации здравоохранения отмечается, что при длительном ежедневном воздействии тяжелой работы и / или жары температура тела не должна превышать 38 °C¹.

Американская конференция государственных специалистов по промышленной гигиене (ACGIH) сформулировала пороговое значение термического напряжения, предназначенное для предотвращения достижения температуры тела большинства рабочих составляющее 38 °C².

Международная организация по стандартизации (ISO) разработала стандарты измерения и мониторинга теплового воздействия с целью предотвращения превышения температуры тела выше 38 °C³.

В исследовании теплового стресса у проходчиков на рудных шахтах установлены физиологические признаки теплового перенапряжения, при этом у 51 % работников средняя температура тела в течение 10 минут подряд превышала 38 °C [18].

По данным [19], температура выше 26 °C, влажность от 85 до 98 %, повышенное барометрическое давление от 800 до 850 мм рт. ст., характерные для глубоких рудных шахт, ухудшают условия труда работников и снижают производительность труда. Кроме того, неблагоприятные метеорологические условия в горных выработках приводят к перегреву организма работающих, нарушению функционирования органов дыхания и снижению иммунитета. Показатели, характеризующие тепловой стресс у работников при добыче золота, были установлены в работе [20].

При работе в глубоких шахтах с увеличением глубины шахт возрастает риск возникновения профессионального заболевания, связанного с интенсивным тепловым воздействием нагревающего производственного микроклимата (тепловой удар, тепловой обморок, тепловая судорога, тепловое обезвоживание) [21, 22], изменения психофизиологических реакций у работников [23–25].

У работающих глубоко под землей шахтеров установлены специфические процессы метаболизма аминокислот, выработка возбуждающих нейромедиаторов нарушения сна и бодрствования. Разница в качестве сна у работников в зависимости от глубины шахты может быть связана с усилением метаболизма, повышением уровня возбуждающих нейромедиаторов и активацией провоспалительных

¹ World Health Organization. Technical Report Series No. 412. Health factors involved in working under conditions of heat stress. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 1969.

² American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. Cincinnati, OH: ACGIH; 2016.

³ International Organization for Standardization. ISO 7933, Ergonomics of the thermal environment – analytical determination and interpretation for heat stress using calculation of the predicted heat strain. 2nd ed. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2004.

процессов. Установлены биомаркеры нарушений: L-фенилаланин, L-тирозин и L-глутамин и другие [26].

Обсуждение. В результате анализа статей, соответствующим критериям отбора было установлено, что источниками тепла в подземных шахтах являются: автокомпрессия воздуха, теплота породы (геотермальный градиент), тепло от техники, притока воды, взрывных работ, трения обрушающейся породы, трубопроводов и др. Повышенная температура воздуха и горных пород могут стать причиной теплового стресса у работающих, риск возникновения которого возрастает с увеличением глубины шахты. Случаи теплового истощения у шахтеров, работающих на глубине ниже 1200 м, по сравнению с шахтерами, работающими на глубине выше 1200 м, были в 3,17 раз чаще. Показана необходимость комплексного изучения параметров окружающей среды в шахтах, которые могут оказать неблагоприятное влияние на работающих: давление воздуха, относительная влажность, температура, суммарная мощность дозы гамма-излучения и др. Анализ статей показал, что работа на большой глубине оказывает вредное воздействие на здоровье человека. Сотрудники, работающие в глубоких шахтах, испытывают дискомфорт, вызванный высокой температурой и влажностью, эти показатели увеличиваются с глубиной. У работников выявлены усталость и нарушения сна.

Для предупреждения теплового истощения работающих рекомендован физиологический мониторинг, включающий контроль внутренней температуры тела, частоту сердечных сокращений^{4,5,6,7}, а также измерение удельного веса мочи до и после смены [13, 18].

Нагревающий микроклимат обуславливает напряжение различных функциональных систем человека и приводит к нарушению состояния здоровья, снижению работоспособности и производительности труда [27].

Заключение. При работе в шахтах с увеличением глубины увеличивается температура воздуха и горных пород, влажность воздуха, атмосферное давление, уменьшается мощность дозы γ -излучения. В отечественной и зарубежной научной литературе достаточно убедительных доказательств того, что риск возникновения теплового стресса у работающих возрастает с увеличением глубины шахты. Мало изучены глубокоподземные факторы (радиация, давление воздуха), которые могут повлиять на здоровье людей, работающих в глубоких шахтах.

В целях предупреждения заболеваний, обусловленных воздействием глубокоподземных факторов, необходимо совершенствование методов оценки экспозиции физических факторов, дифференцированный подход к медико-профилактическим

мероприятиям в зависимости от глубины подземных шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Zou Y, Wang L, Wen J, et al. Progress in biological and medical research in the deep underground: An update. *Front Public Health*. 2023;11:1249742. doi: 10.3389/fpubh.2023.1249742
2. Xie HP, Liu JF, Gao MZ, et al. The research advancement and conception of the deep-underground medicine. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2018;49(2):163-168. (In Chinese.)
3. Smith GB, Grof Y, Navarrette A, Guilmette RA. Exploring biological effects of low level radiation from the other side of background. *Health Phys*. 2011;100(3):263-265. doi: 10.1097/hp.0b013e318208cd44
4. Xie H, Gao F, Ju Y, Ru Z, Gao M, Deng J. Novel idea and disruptive technologies for the exploration and research of deep earth. *Advanced Engineering Sciences*. 2017;49(1):1-8. doi: 10.15961/j.jsuese.2017.01.001
5. Ластков Д.О., Партас О.В. Особенности гигиенической оценки микроклимата на подземных рабочих местах в глубоких угольных шахтах // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2022. Т. 26. № 2. С. 130-136. Lastkov DO, Partas OV. Features of hygienic assessment of microclimate in underground workplaces in deep coal mines. *Vestnik Gигiены i Epidemiologii*. 2022;26(2):130-136. (In Russ.)
6. Xie H, Liu J, Gao M, et al. Physical symptoms and mental health status in deep underground miners: A cross-sectional study. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(9):e19294. doi: 10.1097/MD.00000000000019294
7. Roghanci P, Kocsis KC, Sunkpal M. Sensitivity analysis of the effect of airflow velocity on the thermal comfort in underground mines. *J Sustain Min*. 2016;15(4):175-180. doi: 10.1016/j.jsm.2017.03.005
8. Strzemecka J, Goździewska M, Skrodziuk J, Galińska EM, Lachowski S. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the 'Bogdanka' coal mine. *Ann Agric Environ Med*. 2019;26(3):409-414. doi: 10.26444/aaem/106224
9. Yu H, Gao Y, Zhou R. Oxidative stress from exposure to the underground space environment. *Front Public Health*. 2020;8:579634. doi: 10.3389/fpubh.2020.579634
10. Elío J, Crowley Q, Scanlon R, Hodgson J, Zgaga L. Estimation of residential radon exposure and definition of Radon Priority Areas based on expected lung cancer incidence. *Environ Int*. 2018;114:69-76. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.025
11. Liu J, Liu Y, Ma T, et al. Subjective perceptions and psychological distress associated with the deep underground: A cross-sectional study in a deep gold mine in China. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(22):e15571. doi: 10.1097/md.00000000000015571
12. Liu L, Xu X, Wu H, Yang Y, Wang L. Associations of psychological capital, demographic and occupational factors with cigarette smoking among Chinese underground coal miners. *BMC Public Health*. 2015;15:20. doi: 10.1186/s12889-015-1349-6

⁴ МР 2.2.8.0017–10 Режимы труда и отдыха, работающих в нагревающем микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период времени года. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 19 с.

⁵ МУК 4.3.1895–04 Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания. М.: Минздрав России, 2004. 19 с. (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 03.03.2004)

⁶ СП 2.2.3670–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 60 с.

⁷ Методические указания МУК 4.3.2755–10 «Интегральная оценка нагревающего микроклимата». М.: Роспотребнадзор, 2011. 12 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-61-65>

Review Article

13. Yeoman K, DuBose W, Bauerle T, Victoroff T, Finley S, Poplin G. Patterns of heat strain among a sample of US underground miners. *J Occup Environ Med*. 2019;61(3):212-218. doi: 10.1097/JOM.0000000000001518
14. Donoghue AM, Sinclair MJ, Bates GP. Heat exhaustion in a deep underground metalliferous mine. *Occup Environ Med*. 2000;57(3):165-174. doi: 10.1136/oem.57.3.165
15. Taggart SM, Girard O, Landers GJ, Wallman KE. Heat exposure as a cause of injury and illness in mine industry workers. *Ann Work Expo Health*. 2024;68(3):325-331. doi: 10.1093/annweh/wxae011
16. Taggart SM, Girard O, Landers GJ, Wallman KE. Symptoms of heat illness and water consumption habits in mine industry workers over the summer months in Australia. *Ind Health*. 2024;62(4):259-264. doi: 10.2486/indhealth.2023-0139
17. Tumińska A, Borodulin-Nadzieja L, Pietraszkiewicz T, et al. Analysis of the holter records in miners working at the deepest located work stations in copper mines of the Legnica-Głogow copper mining district. *Med Pr*. 2010;61(1):43-54. (In Polish.)
18. Lutz EA, Reed RJ, Turner D, Littau SR. Occupational heat strain in a hot underground metal mine. *J Occup Environ Med*. 2014;56(4):388-396. doi: 10.1097/JOM.000000000000107
19. Лапшин А. А., Лапшин А. Е., Ляшенко В. И. Повышение безопасности и улучшение охраны труда в глубоких шахтах при камерных системах с твердеющей закладкой выработанного пространства // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 6. С. 29-34. Lapshin AA, Lapshin AE, Lyashenko VI. [Increasing safety and improving labor protection in deep mines with chamber systems with hardening of the developed space.] *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2016;(6):29-34. (In Russ.)
20. Meshi EB, Kishinhi SS, Mamuya SH, Rusibamayila MG. Thermal exposure and heat illness symptoms among workers in Mara Gold Mine, Tanzania. *Ann Glob Health*. 2018;84(3):360-368. doi: 10.29024/aogh.2318
21. Sunkpal M, Roghanchi P, Kocsis KC. A method to protect mine workers in hot and humid environments. *Saf Health Work*. 2018;9(2):149-158. doi: 10.1016/j.shaw.2017.06.011
22. Brearley MB, Norton I, Rush D, et al. Influence of chronic heat acclimatization on occupational thermal strain in tropical field conditions. *J Occup Environ Med*. 2016;58(12):1250-1256. doi: 10.1097/JOM.0000000000000902
23. Winifred AD, Jane RL, Brian K, Amponsah-Tawiah K, Carole J. Mental health and workplace factors: Comparison of the Ghanaian and Australian mining industry. *BMC Health Serv Res*. 2022;22(1):322. doi: 10.1186/s12913-022-07712-0
24. Li X, Long Y, Zhang S, Yang C, Xing M, Zhang S. Experimental study on emergency psychophysiological and behavioral reactions to coal mining accidents. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2024 Jun 28. doi: 10.1007/s10484-024-09651-4
25. Fa Z, Li X, Liu Q, Qiu Z, Zhai Z. Correlation in causality: A progressive study of hierarchical relations within human and organizational factors in coal mine accidents. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(9):5020. doi: 10.3390/ijerph18095020
26. Wen Q, Zhou J, Sun X, et al. Urine metabolomics analysis of sleep quality in deep-underground miners: A pilot study. *Front Public Health*. 2022;10:969113. doi: 10.3389/fpubh.2022.969113
27. Валуцина В. М., Ткаченко Л. Н., Ладария Е. Г. Частота тепловых поражений у горнорабочих глубоких угольных шахт // Санитарный врач. 2009. № 1. С. 42-45. Valutsina VM, Tkachenko LN, Ladaria EG, Tokarev GN, Salova OV, Mirnaya EV. [Frequency of heat illnesses in deep-underground coal miners.] *Sanitarnyy Vrach*. 2009;(1):42-45. (In Russ.)

Сведения об авторе:

✉ **Егорова Анна Михайловна** – д-р мед. наук, зав. отделом медицины труда; e-mail: egorova.am@fncg.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7929-9441>.

Информация о вкладе автора: автор подтверждает единоличную ответственность за написание рукописи, концепцию, дизайн исследования, анализ, интерпретация данных, подготовку окончательного варианта рукописи.

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

Финансирование: работа выполнена в рамках НИР Рег. № НИОКТР 124030700014-4.

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

Статья получена: 01.09.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

✉ **Anna M. Egorova**, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Occupational Medicine; e-mail: egorova.am@fncg.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7929-9441>.

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: The review is part of the research work No. 124030700014-4.

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

Received: September 1, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Изучение влияния кипячения питьевой воды на состав органических веществ

И.А. Хлыстов, П.К. Харьков, И.А. Минигалиева, А.В. Бугаева

ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, 620014, Российская Федерация

Резюме

Введение. Антропогенная деятельность приводит к появлению в окружающей среде новых органических соединений с малоизученными физико-химическими и токсическими свойствами. Ввиду несовершенства технологий водоподготовки присутствие данных соединений в питьевых водоисточниках создает угрозу здоровью человека. Некоторые из органических компонентов способны вызывать негативные биологические эффекты в крайне низких концентрациях. Имеется недостаточное количество данных об изменении состава воды при бытовом кипячении. В связи с этим существует необходимость изучения состава органических веществ в разных типах вод.

Цель исследования: анализ изменения состава органических веществ при кипячении (бытовом варианте водопользования) питьевой воды методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

Материалы и методы. В образцах питьевой воды перед подачей в распределительную сеть крупного промышленного города Свердловской области, отобранной в разные сезоны года, а также в воде после кипячения проведена идентификация органических веществ методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии. Определен перечень веществ, обладающих негативным воздействием на организм.

Результаты. В питьевой воде из 65 идентифицированных органических веществ за весь период исследования обнаружено 23 вещества, оказывающих общетоксическое, раздражающее, органоспецифическое, мутагенное и канцерогенное действие на человека, что составляет 35,4 % от общего количества идентифицированных. В воде после кипячения из 53 соединений обнаружено 14 веществ, обладающих доказанным негативным действием на организм, что составляет 26,4 % от общего количества идентифицированных. В результате кипячения сохраняется около 10 % органических веществ от общего первоначального состава.

Заключение. Проведена идентификация органических соединений в питьевой воде и воде после кипячения. Выявлена сезонная закономерность изменения состава органических веществ в питьевой воде, обнаружены вещества, обладающие опасными для человека свойствами, установлен факт изменения состава идентифицированных органических веществ в воде после кипячения.

Ключевые слова: органические вещества, идентификация, питьевая вода, водопользование, опасность для здоровья.

Для цитирования: Хлыстов И.А., Харьков П.К., Минигалиева И.А., Бугаева А.В. Изучение влияния кипячения питьевой воды на состав органических веществ // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10. С. 66–72. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-66-72

Effect of Boiling on the Composition of Organic Substances in Tap Water

Ivan A. Khlystov, Polina K. Kharkova, Ilzira A. Minigalieva, Alexandra V. Bugaeva

Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers,
30 Popov Street, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

Summary

Introduction: Anthropogenic activities cause the emergence of new organic compounds with poorly studied physicochemical and toxic properties in the environment. Due to the shortcomings of water treatment technologies, the presence of these compounds in drinking water sources poses a threat to human health. Even extremely low concentrations of some of the organic components can have adverse biological effects. Data on changes in the composition of water during household boiling are scarce, which makes studies of organic substances in different types of water particularly relevant.

Objective: To analyze changes in the composition of organic substances following tap water boiling using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) techniques.

Materials and methods: We used GC–MS to identify organic substances in tap water samples collected at a water supply treatment plant of a large industrial city in the Sverdlovsk Region in different seasons of the year before and after boiling and to compile the list of substances having adverse human health effects.

Results: Of 65 organic substances identified in tap water over the study period, 23 (35.4 %) had toxic, irritating, organ-specific and/or carcinogenic effects on humans. Of 53 compounds found in boiled tap water, 14 (26.4 %) had a proven negative effect on the organism. About 10 % of organic substances originally identified in tap water retained after boiling.

Conclusion: We identified organic compounds in tap water before and after boiling, revealed a seasonal pattern of changes in the composition of organic substances, found substances with toxic and carcinogenic properties, and established changes in the composition of identified organic substances after boiling.

Keywords: organic substances, identification, tap water, water use, toxicity.

Cite as: Khlystov IA, Kharkova PK, Minigalieva IA, Bugaeva AV. Effect of boiling on the composition of organic substances in tap water. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):66–72. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-66-72

Введение. Развитие человечества сопровождается появлением различных технологий, вовлечением в производственные процессы большого количества соединений и материалов. В период с 1800 по 2015 год ежегодный темп появления новых химических соединений составил 4,4 % [1]. На сегодняшний день зарегистрировано более 256 миллионов химических соединений, в том числе 187 миллионов органических и неорганических веществ, включая сплавы, координационные соединения, минералы, смеси, полимеры и соли, около 70 миллионов последовательностей белков и нуклеиновых кислот¹. Процессы миграции и трансформации поллютантов в окружающей среде приводят в том числе к контаминации открытых источников питьевого водоснабжения, снижению качества питьевой воды при отсутствии должного контроля за водоподготовкой. В настоящее время в качестве основного международного принципа нормирования веществ в воде выбрано установление толерантного суточного потребления, то есть количество вещества, поступающего в организм человека с питьевой водой и продуктами питания, выраженное в мг (мкг) на 1 кг массы тела, которое может потребляться ежедневно в течение всей жизни без риска для здоровья. При этом доля вещества, поступающего с водой, может быть различной, но в большинстве случаев она не превышает 20 % [2].

При воздействии некоторых веществ возникает риск возникновения неблагоприятных эффектов в концентрациях, значительно меньших по сравнению с установленными нормативными значениями. Так, существует серьезная опасность здоровью от воздействия эндокринных деструкторов, эффекты от которых возникают при поступлении с питьевой водой при уровне концентраций в нг/л [3]. Пристальное внимание следует уделять поллютантам, способным аккумулироваться в тканях и органах человека, в том числе обладающим синергическими свойствами – усилением эффекта при совместном воздействии [4, 5], а также компонентам, продукты метаболизма которых более опасны для организма, по сравнению с исходными. Например, отдельные продукты микросомального окисления полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) могут быть более токсичными, генотоксичными и/или канцерогенными, чем исходное вещество [6].

Международными организациями был разработан ряд директив в области водной политики и контроля за загрязнением, куда вошли опасные органические соединения^{2,3,4,5}. Эти соединения нужно учитывать при проведении скрининговых исследований, хотя далеко не для всех из них доказаны общетоксические, органоспецифические,

мутагенные и канцерогенные свойства при водных путях экспозиции. В связи с введением в Российской Федерации нового норматива по общему органическому углероду в воде [7] возникает необходимость расшифровки органических соединений, входящих в этот показатель. Для этих целей применяют ряд методов: жидкостная, газовая и пиролиз-газовая хроматография в сочетании с масс-спектрометрией [8–10], спектрометрия ионной подвижности и квадруполь-времяпролётная масс-спектрометрия (IM Q-TOF LC/MS), тандемная квадруполь-времяпролётная масс-спектрометрия (IM Q-TOF LC/MS/MS) [11, 12]. Зачастую подобные исследования становятся невозможными ввиду отсутствия инструментальной базы и высокой стоимости. В природных условиях соединения подвергаются процессам химической и биохимической трансформации, взаимодействию с другими компонентами, что также затрудняет обнаружение веществ. Большинство исследований, посвященных изучению формирования химического состава воды при бытовом водопользовании, ограничиваются представлением данных о содержании органических контаминантов в бытовых сточных водах [13, 14]. При этом уделяется мало внимания изучению трансформации соединений непосредственно в процессе различных вариантов хозяйственно-бытового использования воды человеком, например при кипячении.

Цель исследования: анализ изменения состава органических веществ при кипячении (бытовом варианте водопользования) питьевой воды методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

Материалы и методы. С сентября 2020 по август 2021 г. проводился ежемесячный отбор проб воды после водоочистки (питьевая вода) перед подачей в распределительную сеть крупного промышленного города Свердловской области. Для исследований брали образцы питьевой воды и после процедуры ее кипячения (по 12 образцов каждого типа воды). Кипячение проводилось в стеклянных лабораторных стаканах в течение 30 секунд. Дальнейшая пробоподготовка заключалась в двукратной последовательной обработке 50 мл гексана 500 мл образца, объединении экстрактов и выпаривании в токе теплого воздуха до конечного объема 1 мл. Остаток экстракта растворяли в 0,5 мл гексана, откуда часть его объема использовалась для анализа. Идентификация органических веществ осуществлялась методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии (ГХ-МС) на газовом хроматографе МАЭСТРО ГХ 7820 с масс-селективным детектором (Reg. № в Реестре 40134-11), библиотека масс-спектров NIST 2011 г. За достоверные результаты идентификации принимался коэффициент

¹ CAS Common Chemistry. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cas.org> (дата обращения: 24.09.2024).

² Toxic and Priority Pollutants Under the Clean Water Act. U.S. Environmental Protection Agency. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.epa.gov/eg/toxic-and-priority-pollutants-under-clean-water-act> (дата обращения: 24.09.2024).

³ Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/105/oj> (дата обращения: 24.09.2024).

⁴ Priority Pollutant List. United States Environmental Protection Agency. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf> (дата обращения: 24.09.2024).

⁵ Endocrine Disruptor Screening Program: Final Second List of Chemicals and Substances for Tier 1 Screening. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPPT-2009-0477-0074> (дата обращения: 24.09.2024).

совпадения анализа с масс-спектральными библиотечками от 80 до 100 %; вносилась поправка на содержание примесей в холостых пробах.

На основании информации из российских, международных баз данных ECHA, HMDB, IARC^{6,7,8,9}, составлены перечни веществ (таблицы 2 и 3) из общего числа идентифицированных в питьевой воде и после ее кипячения, обладающих доказанным негативным воздействием на различные органы и системы человеческого организма.

Результаты. Максимальное количество органических соединений в пробах питьевой воды обнаружено осенью и зимой, минимальное – весной (таблица 1). В течение исследуемого периода снижается от максимального до минимального (с осени до весны), летом вновь увеличивается. В каждом сезоне, с осени до весны, после кипячения количество идентифицированных соединений снижалось. Общее количество идентифицированных соединений в питьевой воде было выше по сравнению с кипяченной.

Вещества, обнаруженные одновременно в пробах и кипяченой питьевой воды: (R)-(+)-3-метилциклопентанон (осень 2020 г.); диизооктилфталат, 2,5-циклогександиен-1,4-дион, 2,6-бис(1,1-диметилэтил), сквален, лимонен (зима 2020–2021 гг.); триаконтан, гексатриаконтан, октадекаметил-циклононасилоксан, пентатриаконтан (лето 2021 г.).

Определены химические вещества, обладающие опасными свойствами, на основании данных из Руководства по оценке риска для здоровья населения⁶ (таблица 2). Среди 65 идентифицированных органических веществ в питьевой воде обнаружено 2 вещества, оказывающих негативное действие на организм человека при питьевом поступлении, что составляет 3,1 % от общего количества идентифицированных веществ. В кипяченой питьевой воде обнаружено 1 вещество с установленным общетоксическим эффектом, что составляет 1,9 % от общего количества идентифицированных (53 вещества).

Таблица 1. Количество идентифицированных органических веществ по сезонам до и после кипячения (коэффициент совпадения с масс-спектральными библиотечками от 80 до 100 %)

Table 1. The number of organic substances identified in water before and after boiling by season (coefficient of coincidence with mass spectral libraries ranging from 80 to 100 %)

Сезон / Season	Количество органических соединений, ед. / Organic compounds, n	
	до кипячения / before boiling	после кипячения / after boiling
Осень 2020 г. / Autumn 2020	29	13*
Зима 2020–2021 гг. / Winter 2020/2021	21	17
Весна 2021 г. / Spring 2021	7	3
Лето 2021 г. / Summer 2021	13	24
Всего наименований веществ за период исследований / Total compounds over the study period	65**	53**

Примечания: * – в осенний период исследования воды после кипячения проводили за два месяца: октябрь и ноябрь; ** – органическое вещество, обнаруженное в разные сезоны, учитывалось однократно.

Notes: * in autumn, boiled water was tested in October and November; ** organic matter detected in different seasons was taken into account once.

Таблица 2. Идентифицированные органические соединения с прогнозируемым негативным эффектом на здоровье человека, обнаруженные в питьевой и кипяченой воде

Table 2. Organic compounds with predicted negative effects on human health identified in tap and boiled tap water

Соединение / Compound	CAS №	Класс соединений / Class of compounds	RfD, мг/кг / mg/kg	SFo	Прогнозируемые эффекты (орган-мишень) / Predicted effects (target organ)
Питьевая вода перед подачей в городскую распределительную сеть / Tap water before supply to the urban water supply network					
Нафталин / Naphthalene	91-20-3	Ароматические соединения / Aromatic compounds	0,02	0,12	Системное / Systemic
Трихлорэтилен / Trichloroethylene	79-01-6	Алкены (галогензамещенные) / Alkenes (halogenated)	0,0005	0,011	Развитие, иммунная система / Development, immune system
Вода после кипячения / Boiled tap water					
Диэтилфталат / Diethyl phthalate	84-66-2	Сложные эфиры (производное фталевой кислоты) / Esters (phthalic acid derivative)	0,8	–	Системное / Systemic

Примечания: RfD – референтная доза при хроническом пероральном поступлении; SFo – фактор наклона (фактор канцерогенного потенциала) при пероральном поступлении.

Notes: RfD, reference dose for chronic oral exposure; SFo, oral cancer slope factor.

⁶ Р 2.1.10.3968–23 Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания

⁷ European Chemicals Agency (ECHA). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://echa.europa.eu/> (дата обращения: 24.09.2024).

⁸ The Human Metabolome Database (HMDB). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hmdb.ca/> (дата обращения: 24.09.2024).

⁹ The International Agency for Research on Cancer (IARC). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iarc.who.int/> (дата обращения: 24.09.2024).

В соответствии с международными базами данных (ЕСНА, HMDB, IARC) из 65 идентифицированных органических веществ в питьевой воде выявлено 23 вещества, оказывающих общетоксическое, раздражающее, органоспецифическое и канцерогенное действие на человека, что составляет 35,4 % от общего количества идентифицированных (таблица 3). Из 53 идентифицированных органических веществ в кипяченой питьевой воде обнаружено 14 веществ, обладающих негативным действием на организм, что составляет 26,4 % от общего количества идентифицированных. В воде после кипячения сохраняется около 10 % органических веществ по сравнению с общим количеством обнаруженных в питьевой воде.

Молекулярные массы идентифицированных соединений в некипяченой воде находятся в интервале от 102 (3-гексанол) до 998 (нонагексакантановая кислота) г/моль, а в воде после кипячения – от 98 ((R)-(+)-3-метилциклопентанон) до 998 (нонагексакантановая кислота) г/моль. Медианное значение молекулярной массы веществ среди идентифицированных в питьевой воде составляет 306 г/моль, а в воде после кипячения – 390 г/моль.

Обсуждение. Согласно действующей в Российской Федерации методике¹⁰ качественного и количественного химического анализа различных видов вод для измерения массовых концентраций органических соединений средней летучести, экстракция веществ пробы проводится хлористым метилом, а минимальный коэффициент совпадения с библиотечным спектром составляет 70 %. Использование в исследовании экстрагента гексана, изменение минимального порога совпадения анализа с масс-спектральными библиотеками до 80 % было обусловлено качеством химреагентов и необходимостью повышения точности исследований.

В зарубежных информационных источниках было обнаружено большее количество сведений об установленных токсических эффектах обнаруженных соединений на организм человека, по сравнению с российскими. Однако влияние на организм человека большей части соединений не изучено, также не установлены референтные и пороговые дозы воздействия. Из всего перечня веществ, обнаруженных в питьевой воде, только два вещества обладают канцерогенными свойствами.

Таблица 3. Перечень идентифицированных органических соединений, оказывающих неблагоприятные эффекты на здоровье человека

Table 3. The list of identified organic compounds with proven adverse human health effects

№	Воздействие на организм человека / Health effect	Органическое вещество, вызывающее воздействие / Organic substance
1	Раздражение кожи / Skin irritation	1-бромодокосан; 1-деканол; 1-докозен; 1-нональ; 1,4-диметилциклогексан; 2-хлорпропионовая кислота; 2,6-бис(1,1-диметилметил)-2,5-циклогексадиен-1,4-дион; 3-гексанол; 3-метил-гептан; 7,9-ди-трет-бутил-1-оксапиран(4,5)дека-6,9-диен-2,8-дион; п-тетраоксано-1; гексакосан; гексатриаконтан; диэтилфталат; дотриаконтан; лимонен; миристиновая кислота; оксиран; октадекаметилциклонасилосан; олеамид; пальмитиновая кислота; стеариловый спирт; триаконтан; трихлорэтилен; фталевая кислота / 1-bromodocosane; 1-decanol; 1-docosene; 1-nonanal; 1,4-dimethylcyclohexane; 2-chloropropionic acid; 2,6-bis(1,1-dimethylmethyl)-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione; 3-hexanol; 3-methyl-heptane; 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione; n-tetracosanol-1; hexacosane; hexatriacontane; diethyl phthalate; dotriacontane; limonene; myristic acid; oxirane; octadecamethylcyclonasiloxane; oleamide; palmitic acid; stearyl alcohol; triacontane; trichloroethylene; phthalic acid
2	Раздражение глаз / Eye irritation	1-бромодокосан; 1-деканол; 1-докозен; 2-хлорпропионовая кислота; 2,6-бис(1,1-диметилметил)-2,5-циклогексадиен-1,4-дион; 3-гексанол; 7,9-ди-трет-бутил-1-оксапиран(4,5)дека-6,9-диен-2,8-дион; гексатриаконтан; диэтилфталат; дотриаконтан; лимонен; миристиновая кислота; оксиран; октадекаметилциклонасилосан; олеамид; пальмитиновая кислота; стеариловый спирт; триаконтан; трихлорэтилен; фталевая кислота / 1-bromodocosane; 1-decanol; 1-docosene; 2-chloropropionic acid; 2,6-bis(1,1-dimethylmethyl)-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione; 3-hexanol; 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione; hexatriacontane; diethyl phthalate; dotriacontane; limonene; myristic acid; oxirane; octadecamethylcyclonasiloxane; oleamide; palmitic acid; stearyl alcohol; triacontane; trichloroethylene; phthalic acid
3	Раздражение желудочно-кишечного тракта / Gastrointestinal irritation	Лимонен / Limonene
4	Центральная нервная система (наркотический эффект; судороги) / Central nervous system (narcotic effect; convulsions)	1-нональ; 3-метил-гептан (наркотический эффект); п-тетраоксано-1; миристиновая кислота; пальмитиновая кислота; трихлорэтилен / 1-nonanal; 3-methylheptane (narcotic effect); n-tetracosanol-1; myristic acid; palmitic acid; trichloroethylene
5	Эндокринная система / Endocrine system	5-альфа-14-бета-андростан / 5-alpha-14-beta-androstane
6	Репродуктивная система / Reproductive system	Бис(2-этилгексил)изофталат; диизоактилфталат; диэтилфталат / Bis(2-ethylhexyl) isophthalate; diisoactyl phthalate; diethyl phthalate
7	Мутагенное воздействие / Mutagenic effect	Сквален; трихлорэтилен / Squalene; trichloroethylene

¹⁰ НДП 30.1.2.3.68-2009 (ФР.1.31.2001.00368). Методика измерения массовых концентраций органических соединений в питьевых, природных и сточных водах методом хромато-масс-спектрометрии. Москва: Аналитический центр ЗАО «РОСА», Отдел физико-химических методов анализа, Сектор хроматографии, 2011. 33 с.

С одной стороны, повышение температуры способствует высвобождению из воды летучих органических соединений [15]. В то же время можно предположить, что повышение температуры и физико-химический состав воды будет способствовать прохождению реакций, способствующих образованию новых компонентов с другими молекулярными массами.

Фталаты, включая диэтилфталат, повсеместно используются в качестве растворителей и пластификаторов в промышленных и потребительских товарах¹¹. Лимонен является одним из наиболее распространенных соединений, содержащихся в эфирных маслах ароматических растений. Данное вещество применяется в качестве ароматизаторов пищевых продуктов, входит в состав медицинских и косметических препаратов [16]. Трихлорэтилен применяется для обезжиривания металлов, кожи, тканей, для экстракции жиров и масел из природного сырья, в производстве хладагентов, различных кислот, гербицидов, в качестве растворителя, а также может образовываться в результате хлорирования питьевой воды. Алканы применяются в химическом синтезе и в качестве растворителей¹². Предельные углеводороды и их производные, а также моноциклические ароматические углеводороды относят к люминесцирующей фракции нефтепродуктов. Появление этих соединений в воде является индикатором загрязнения экосистемы [17]. Вещество 7,9-ди-трет-бутил-1-оксапиридо(4,5)дека-6,9-диен-2,8-дион представляет собой один из продуктов распада полиуретанового клея в многослойных упаковочных материалах, контейнеров для хранения пищевых продуктов из полипропилена, оберток для конфет на основе пластиковых и бумажных материалов [18]. Также данный компонент мигрирует в воду из труб, состоящих из сшитого полиэтилена [19].

Органические вещества в воде представляют собой динамическую систему, которая характеризуется непрерывно протекающими процессами трансформации и перехода веществ в растворенное, коллоидное и/или взвешенное состояние под воздействием физических, химических и биологических факторов¹³. Количество идентифицированных органических соединений в питьевой воде напрямую связано с качеством водоподготовки и химическим составом исходной воды в хозяйственно-питьевых источниках. Анализируя полученные данные, можно предположить, что наиболее высокое разнообразие органических веществ зимой связано с процессами их концентрирования под ледяным покровом водоема. Так, было установлено, что в процессе образования озерного льда растворенные вещества могут вытесняться из твердой ледяной матрицы и переходить в водную фазу [20]. Поскольку многие

водоемы Свердловской области находятся под влиянием различных промышленных загрязнений, вероятно присутствие в воде трудноокисляемых органических соединений. В зимнее время происходит подавление процессов жизнедеятельности организмов (фитопланктон, водная растительность) – важнейшего фактора самоочищения водоемов¹⁴, в связи с чем прекращается процесс деструкции органических соединений. В свою очередь, увеличение числа органических соединений в летнее время может быть обусловлено повышением температуры воды и растворимостью веществ, а также наличием дополнительных источников привноса веществ в водоемы. Выделяют аллохтонные источники поступления веществ в водоемы (привнос с почвой, растительным опадом, атмосферными осадками, хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами) и автохтонные (процессы, происходящие в самом водоеме – деструкция, эвтрофикация) [21–23]¹⁵.

В Свердловской области ранее проводили исследования по идентификации органических соединений в природных и сточных водах, по результатам которых было установлено присутствие ацетильных производных фенолов и хлорфенолов, а также о- и п-крезол¹⁵. В настоящее время к числу потенциальных загрязнителей воды также относят фармацевтические препараты, перфторалкиловые кислоты, активные компоненты продуктов личной гигиены, лекарства и биологически активные препараты, ароматизаторы, солнцезащитные средства [24, 25]. Эти соединения и их биоактивные метаболиты могут поступать в воду различными путями. Но приоритетным является путь поступления со сточными водами [24]. В настоящее время обозначена проблема поступления в окружающую среду и водоемы стероидных гормонов, таких как эстрогены, прогестагены и их синтетические аналоги, в частности содержащиеся в оральных контрацептивах. Токсические эффекты для теплокровных животных и человека от распространения данных соединений в водном путем пока не установлены [26]. В США проводили исследования 25 подземных и 49 поверхностных водоемов, служащих источниками питьевой воды 8 миллионам человек. Наиболее часто встречаемые органические загрязнители в поверхностных источниках: холестерин (натуральный стерол; обнаружен в 59 % проб), метолахлор (гербицид; в 53 % проб), котинин (метаболит никотина; в 51 % проб), β-ситостерин (натуральный растительный стерол; в 37 % проб), и 1,7-диметилксантин (метаболит кофеина; в 27 % проб). В подземных водах обнаружены: тетрахлорэтилен (растворитель; в 24 % проб), карбамазепин (фармацевтический препарат; в 20 % проб), бисфенол-А (пластификатор; в 20 % проб), 1,7-диметилксантин (метаболит кофеина; в 16 %

¹¹ Diethyl Phthalate. Priority Existing Chemical Assessment Report No. 33 Доступно по: <https://www.industrialchemicals.gov.au/sites/default/files/PEC33-Diethyl-phthalate-DEP.pdf>. Ссылка активна на 24.09.2024.

¹² PubChem - open chemistry database at the National Institutes of Health Доступно по: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> Ссылка активна на 24.09.2024.

¹³ Логинова ЕВ, Лопух ПС. Гидроэкология: курс лекций: Минск: БГУ, 2011. 300 с.

¹⁴ Алексеевнина МС, Поздеев ИВ. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии: учеб. пособие: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 205 с. ISBN 978-5-7944-2769-1.

¹⁵ Кириченко ВЕ, Первова МГ, Пашкевич КИ, Назаров АС. Определение фенолов в воде методами газовой хроматографии в виде ацетильных производных // Аналитика и контроль. 2001. № 5(1). С. 70–74.

проб) и три (2-хлорэтил) фосфат (антипирен; в 12 % проб) [27]. Установлена опасность от присутствия в воде ретиноидных соединений. Ретиноидные соединения образуются в поверхностных водоемах естественным образом при цветении цианобактерий, попадают в поверхностные воды через сброс сточных вод, где они представляют потенциальную угрозу для окружающей среды и здоровья человека. Негативные последствия для человека от воздействия ретиноидов заключаются в развитии неврологических расстройств, аффективных расстройств, шизофрении. Проблема с загрязнением данными веществами может усугубиться наряду с нехваткой воды, вызванной изменением климата и ростом населения [28].

Полученные в ходе данного исследования результаты свидетельствуют о присутствии различных органических веществ в питьевой воде. При этом свойства большинства веществ малоизучены. В условиях отсутствия научной информации об их влиянии на организм человека для оценки вреда здоровью необходимо проведение количественных химических и токсикологических исследований. Справедливо отметить, что эффекты для здоровья человека при воздействии компонентов питьевой и кипяченой воды будут различными. Однако при отсутствии данных о количественном содержании этих веществ в воде, развитии негативных эффектов при их совместном поступлении, а также различных предпочтениях людей относительно вариантов бытового водопользования, можно лишь делать вывод о наличии потенциальной угрозы здоровью от содержащихся в питьевой воде органических веществ. В связи с этим существует острая необходимость совершенствования методологии идентификации органических соединений в воде, проведения их количественных исследований, изучения дозозависимых эффектов и персонализированной оценки экспозиции при различных вариантах бытового водопользования. Преимущество примененного метода заключается в его скорости и воспроизводимости, что особо важно в случаях необходимости проведения быстрого скрининга воды. Но вместе с тем для более детального анализа органических соединений нужно применять специальные методы пробоподготовки, специфичные для каждого класса веществ, а также расширять базу хроматографического оборудования.

Заключение. По итогам всесезонного изучения питьевой воды крупного промышленного города установлено, что наибольшее число органических соединений было идентифицировано летом и зимой. В питьевой воде из 65 идентифицированных органических веществ за весь период исследований обнаружено 23 вещества, оказывающих доказанное общетоксическое, раздражающее, органоспецифическое, мутагенное и канцерогенное действие на человека, что составляет 35,4 % от общего количества идентифицированных. В питьевой воде после кипячения из 53 соединений обнаружено 14 веществ, обладающих негативным действием на организм, что составляет 26,4 % от общего количества идентифицированных. В воде после кипячения не выявлено веществ, обладающих кан-

церогенным действием, тогда как в питьевой воде, подаваемой в городскую распределительную сеть, обнаружены два канцерогеноопасных вещества – трихлорэтилен и нафталин. В результате кипячения сохраняется около 10 % органических веществ от общего первоначального состава. Метод можно использовать для скрининговых исследований и оперативной расшифровки состава содержащихся в воде среднетлетучих органических соединений.

Благодарности. Авторы выражают благодарность коллективу отдела физико-химических методов исследования, в том числе заведующей отделом канд. хим. наук Т.Н. Штин за организацию проведения исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Llanos EJ, Leal W, Luu DH, Jost J, Stadler PF, Restrepo G. Exploration of the chemical space and its three historical regimes. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019;116(26):12660-12665. doi: pnas.1816039116.
2. *Trace Elements in Human Nutrition and Health*. Geneva: World Health Organization; 1996. Accessed October 14, 2024. <https://www.who.int/publications/i/item/9241561734>
3. Pironti C, Ricciardi M, Proto A, Bianco PM, Montano L, Motta O. Endocrine-disrupting compounds: An overview on their occurrence in the aquatic environment and human exposure. *Water*. 2021;13(10):1347. doi: 10.3390/w13101347
4. Кацнельсон Б.А., Вараксин А.Н., Панов В.Г., Привалова Л.И. и др. Экспериментальное моделирование и математическое описание хронической комбинированной токсичности как основа анализа многофакторных химических рисков для здоровья // Токсикологический вестник. 2015. № 5(134). С. 37–45. EDN: XQJLBR.
Katsnelson BA, Varaksin AN, Panov VG, Privalova LI, Minigalieva IA, Kireyeva EP. Experimental modeling and mathematical description of the chronic combined toxicity as a basis of multi-factor chemical health risks analysis. *Toksikologicheskii Vestnik*. 2015;(5(134)):37-45. (In Russ.)
5. Minigalieva IA, Shtin TN, Makeyev OH, et al. Some outcomes and a hypothetical mechanism of combined lead and benzo(a)pyrene intoxication, and its alleviation with a complex of bioprotectors. *Toxicol Rep*. 2020;7:986-994. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.08.004
6. Katsnelson BA, Minigaliyeva IA, Degtyareva TD, Privalova LI, Beresneva TA. Does a concomitant exposure to lead influence unfavorably the naphthalene subchronic toxicity and toxicokinetics? *Environ Toxicol Chem*. 2014;33(1):152-157. doi: 10.1002/etc.2405
7. Хлыстов И.А., Щукина Д.А., Кузьмина Е.А., Плотко Э.Г., Брусницына Л.А. Подходы к нормированию органического углерода и необходимость его обязательного контроля в питьевой воде // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 9(330). С. 61–66. doi: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-61-66
Khlystov IA, Shchukina DA, Kuzmina EA, Plotko EG, Brusnicyna LA. Approaches to regulating organic carbon and the necessity of its obligatory monitoring in drinking water. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(9(330)):61-66. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-61-66
8. Rivera J, Fraisse D, Ventura F, Caixach J, Figueras A. Identification of non-volatile organic compounds in GAC filters and in raw and drinking water extracts by FAB and FAB-CID-MIKE spectrometry. *Fresenius J Anal Chem*. 1987;328(7):577-582. doi: 10.1007/BF00468972
9. Watts CD, Crathorne B, Fielding M, Killops SD. Nonvolatile organic compounds in treated waters. *Environ Health Perspect*. 1982;46:87-99. doi: 10.1289/ehp.824687
10. Zhang Y, Yang K, Dong Y, Nie Z, Li W. Chemical characterization of non-volatile dissolved organic matter from oilfield-produced brines in the Nanyishan area of the western Qaidam Basin, China. *Chemosphere*. 2021;268:128804. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128804
11. He D, Li P, He C, Wang Y, Shi Q. Eutrophication and watershed characteristics shape changes in dissolved organic matter

- chemistry along two river-estuarine transects. *Water Res.* 2022;214:118196. doi: 10.1016/j.watres.2022.118196
12. Lu K, Li X, Chen H, Liu Z. Constraints on isomers of dissolved organic matter in aquatic environments: Insights from ion mobility mass spectrometry. *Geochim Cosmochim Acta.* 2021;308:353-372. doi: 10.1016/j.gca.2021.05.007
 13. Koul B, Yadav D, Singh S, Kumar M, Song M. Insights into the domestic wastewater treatment (DWWT) regimes: A review. *Water.* 2022;14(21):3542. doi: 10.3390/w14213542
 14. Huang MH, Li YM, Gu GW. Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. *Desalination.* 2010;262(1-3):36-42. doi: 10.1016/j.desal.2010.05.037
 15. Ma JX, Xu Y, Sun FY, Chen XD, Wang W. Perspective for removing volatile organic compounds during solar-driven water evaporation toward water production. *Ecomat.* 2021;3(6):e12147. doi: 10.1002/eom2.12147
 16. Erasto P, Viljoen AM. Limonene – a review: Biosynthetic, ecological and pharmacological relevance. *Nat Prod Commun.* 2008;3(7):1193-1202. doi: 10.1177/1934578X0800300728
 17. Темердашев З.А., Павленко Л.Ф., Корпакова И.Г., Ермакова Я.С., Экилик В.С. О некоторых методических аспектах оценки нефтяного загрязнения водных объектов с учетом деградации нефтепродуктов во времени // Аналитика и контроль. 2016. № 20(3). С. 225–235. doi: 10.15826/analitika.2016.20.3.006
 18. Temerdashev ZA, Pavlenko LPh, Karpokova IG, Ermakova YaS, Ekilik VS. Some methodological aspects of oil pollution evaluation of water bodies based on the degradation of petroleum products over time. *Analitika i Kontrol'.* 2016;20(3):225-235. (In Russ.) doi: 10.15826/analitika.2016.20.3.006
 19. Kato LS, Conte-Junior CA. Safety of plastic food packaging: The challenges about non-intentionally added substances (NIAS) discovery, identification and risk assessment. *Polymers (Basel).* 2021;13(13):2077. doi: 10.3390/polym13132077
 20. Song K, Wen Z, Jacinthe PA, Zhao Y, Du J. Dissolved carbon and CDOM in lake ice and underlying waters along a salinity gradient in shallow lakes of Northeast China. *J Hydrol.* 2019;571:545-558. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.02.012
 21. Lozovik PA, Morozov AK, Zobkov MB, Dukhovicheva TA, Osipova LA. Allochthonous and autochthonous organic matter in surface waters in Karelia. *Water Resour.* 2007;34(2):204-216. doi: 10.1134/S009780780702011X
 22. Töming K, Tuvikene L, Vilbaste S, et al. Contributions of autochthonous and allochthonous sources to dissolved organic matter in a large, shallow, eutrophic lake with a highly calcareous catchment. *Limnol Oceanogr.* 2013;58(4):1259-1270. doi: 10.4319/lo.2013.58.4.1259
 23. Mostafa KMG, Yoshioka T, Mottaleb A, Vione D, eds. *Photobiogeochemistry of Organic Matter: Principles and Practices in Water Environments.* Springer Berlin Heidelberg; 2012. doi: 10.1007/978-3-642-32223-5
 24. Daughton CG, Ternes TA. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change? *Environ Health Perspect.* 1999;107(Suppl 6):907-938. doi: 10.1289/ehp.99107s6907
 25. Tsuchiya Y. Organic chemicals as contaminants of water bodies and drinking water. In: Kubota S, Tsuchiya Y, eds. *Water Quality and Standards.* EOLSS Publications; 2010;2:150-171.
 26. Svgruha R, Fodor I, Györi J, Schmidt J, Padisák J, Pirger Z. Effects of chronic sublethal progesterone exposure on development, reproduction, and detoxification system of water flea, *Daphnia magna*. *Sci Total Environ.* 2021;784:147113. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147113
 27. Focazio MJ, Kolpin DW, Barnes KK, et al. A national reconnaissance for pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants in the United States – II) Untreated drinking water sources. *Sci Total Environ.* 2008;402(2-3):201-216. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.021
 28. Kubickova B, Ramwell C, Hilscherova K, Jacobs MN. Highlighting the gaps in hazard and risk assessment of unregulated Endocrine Active Substances in surface waters: Retinoids as a European case study. *Environ Sci Eur.* 2021;33:20. doi: 10.1186/s12302-020-00428-0

Сведения об авторах:

✉ **Хлыстов Иван Андреевич** – к.б.н., научный сотрудник, заведующий лабораторией гигиены окружающей среды и экологии человека отдела комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения; e-mail: hlistovia@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4632-6060>.

Харькова Полина Константиновна – младший научный сотрудник лаборатории гигиены окружающей среды и экологии человека отдела комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения; e-mail: harkovapk@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7927-0246>.

Минигалиева Ильзира Амировна – д.б.н., ведущий научный сотрудник, заведующая отделом токсикологии и биопрофилактики; e-mail: ilzira@ymrc.ru; ORCID: <https://www.orcid.org/0000-0002-0097-7845>.

Бугаева Александра Владиславовна – младший научный сотрудник лаборатории гигиены окружающей среды и экологии человека отдела комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения; e-mail: bugaeva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6562-2842>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Хлыстов И.А.; сбор и анализ данных: Хлыстов И.А., Бугаева А.В., Харьков П.К.; интерпретация результатов, подготовка проекта рукописи: Хлыстов И.А., Минигалиева И.А. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 24.08.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

✉ **Ivan A. Khlystov**, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Head of the Laboratory of Environmental Hygiene and Human Ecology, Department of Complex Problems of Hygiene and Disease Prevention; e-mail: hlistovia@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4632-6060>.

Polina K. Kharkova, Junior Researcher, Laboratory of Environmental Hygiene and Human Ecology, Department of Complex Problems of Hygiene and Disease Prevention; e-mail: harkovapk@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7927-0246>.

Ilzira A. Minigalieva, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Head of the Department of Toxicology and Bioprophylaxis; e-mail: ilzira@ymrc.ru; ORCID: <https://www.orcid.org/0000-0002-0097-7845>.

Alexandra V. Bugayeva, Junior Researcher, Laboratory of Environmental Hygiene and Human Ecology, Department of Complex Problems of Hygiene and Disease Prevention; e-mail: bugaeva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6562-2842>.

Author contributions: study conception and design: Khlystov I.A.; data collection and analysis: Khlystov I.A., Bugaeva A.V., Kharkova P.K.; interpretation of results, draft manuscript preparation: Khlystov I.A., Minigalieva I.A. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

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

Received: August 24, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024



Подходы к идентификации маркеров воздействия окружающей среды и питания на организм дошкольников

Т.В. Мажаева^{1,2}, В.Б. Гурвич¹, М.П. Сутункова^{1,2}, Ю.С. Чернова¹, С.В. Ярушин¹,
С.А. Чеботарькова⁴, И.А. Минигалиева¹, Т.В. Бушуева¹, Т.Н. Штин¹

¹ ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, 620014, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет Минздрава России»,
ул. Репина, д. 3, г. Екатеринбург, 620028, Российская Федерация

³ Нижнетагильский филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области»,
ул. Октябрьской революции, д. 86, г. Нижний Тагил, 622036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Идентификация маркеров воздействия окружающей среды и питания на организм человека с учетом взаимных влияний остается актуальным направлением для оценки риска здоровью населения.

Цель исследования – идентификация маркеров воздействия на организм детей окружающей среды и питания с учетом взаимных влияний.

Материалы и методы. Для исследования выбраны дети дошкольного возраста двух территорий с различными условиями среды обитания Свердловской области ($n = 197$). В период с января 2022 по июнь 2024 г. у детей определялась массовая концентрация 19 металлов, цитогенетические показатели буккального эпителия, интерлейкины (IL-1, IL-4), глутатион-S-трансфераза, 60 органических кислот в моче. Оценивалось меню ДОУ и питание вне ДОУ, антропометрические показатели, заболеваемость по амбулаторным картам, состояние здоровья анкетным методом. Для статистической обработки данных использован пакет Microsoft Excel и программа IBM SPSS.

Результаты исследования. Выявлено, что у детей территории с высоким аэрогенным риском экспозиция 7 металлов превышает референтные значения, особенно по алюминию в 3,9 раза, марганцу в 2,5 раза. У них чаще встречаются цитогенетические повреждения клеток буккального эпителия ($p < 0,001$), более высокие показатели маркеров аллергических реакций (IL 4), выше значения глутатион-S-трансферазы и органических кислот, маркеров детоксикации. Питание детей дефицитно по витаминам B₁, C, кальцию, а по маркерам органических кислот – по незаменимым аминокислотам и витаминам B₉, B₁₂. У детей основной группы чаще выявляются пониженная масса тела. Дети территории сравнения отличаются от основной группы по высокой экспозиции к мышьяку, ртути, меди, большому количеству (85 %) детей, имеющих клетки с микроядрами и ядрами атипичной формы, высокими концентрациями воспалительных цитокинов (IL-1), дефицитом энергии, белка, избытком сахаров в питании, маркерами нарушения энергетического обмена.

Заключение: Идентифицированные маркеры двух неадаптивных метаболитов на воздействие окружающей среды и фенотипов питания позволят дифференцированно подойти к разработке рационов питания.

Ключевые слова: дошкольники, экспозиция, цитогенетические изменения, маркеры аллергии и воспаления, маркеры питания, органические кислоты

Для цитирования: Мажаева Т.В., Гурвич В.Б., Сутункова М.П., Чернова Ю.С., Ярушин С.В., Чеботарькова С.А., Минигалиева И.А., Бушуева Т.В., Штин Т.Н. Подходы к идентификации маркеров воздействия окружающей среды и питания на организм дошкольников // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 10 С. 73–80. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-73-80

Approaches to Identifying Markers of Effect of Environment and Nutrition in Preschoolers

Tatyana V. Mazhaeva,^{1,2} Vladimir B. Gurvich,¹ Marina P. Sutunkova,^{1,2} Julia S. Chernova,¹ Sergey V. Yarushin,¹
Svetlana A. Chebotarkova,³ Ilzira A. Minigalieva,¹ Tatiana V. Bushueva,¹ Tatyana N. Shtin¹

¹ Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers,
30 Popov Street, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

² Ural State Medical University, 3 Repin Street, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation

³ Nizhny Tagil Branch of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Sverdlovsk Region,
86 October Revolution Street, Nizhny Tagil, 622036, Russian Federation

Summary

Background: Identification of the markers of effect of environment and nutrition on the human body, given their interplay, remains relevant for health risk assessment.

Objective: To identify markers of children's health effects of environmental exposures and nutrition with account for their mutual influences.

Materials and methods: The study involved 197 preschool children living in two towns of the Sverdlovsk Region with different levels of environmental pollution. In January 2022 to June 2024, we tested mass concentrations of 19 metals, cytogenetic parameters of buccal epithelium, interleukins (IL-1, IL-4), glutathione-S-transferase, and 60 organic acids in urine of the subjects. We also evaluated the preschool menu and off-school nutrition, anthropometric parameters, morbidity based on outpatient cards, and health status using a questionnaire-based survey. Microsoft Excel and IBM SPSS were used for statistical data analysis.

Results: We established that in the children living in the territory with high airborne risks, the levels of exposure to seven chemicals exceeded the reference values, especially those of aluminum and manganese by 3.9 and 2.5 times, respectively. Cytogenetic damage to buccal epithelial cells, higher values of markers of allergic reactions (IL 4), higher values of glutathione-S-transfer and organic acids, and markers of detoxification were also more frequent in this group ($p < 0.001$). We noted that the diet of children was deficient in vitamins B₁ and C, calcium, and, judging by the markers

of organic acids, essential amino acids and vitamins B₉ and B₁₂. The exposed children differed from the controls in high exposure to arsenic, mercury, and copper; there was also a larger proportion (85 %) of children with cells with micronuclei and atypical nuclei, high concentrations of inflammatory cytokines (IL 1), energy and protein deficiencies, excess sugars in the diet, and markers of energy metabolism disorders among them.

Conclusions: The identified markers of two non-adaptive metabolotypes to environmental exposure and nutritional phenotypes will allow a differentiated approach to developing diets.

Keywords: preschool children, exposure, cytogenetic changes, markers of allergy and inflammation, dietary biomarkers, organic acids.

Cite as: Mazhaeva TV, Gurvich VB, Sutunkova MP, Chernova JS, Yarushin SV, Chebotarkova SA, Minigalieva IA, Bushueva TV, Shtin TN. Approaches to identifying markers of effect of environment and nutrition in preschoolers. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(10):73–80. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-10-73-80

Введение. Растущий интерес в области экспозиции позволяет использовать целостный подход к обнаружению этиологических факторов заболеваний и дает преимущество по сравнению с традиционными подходами [1, 2]. Результаты эпидемиологических исследований свидетельствуют о том, что проживание в неблагоприятных условиях окружающей среды, повышенной экспозиции к химическим веществам и соединениям приводят к нарушению регуляторных и адаптивных систем организма, вызывая воспалительный, сенсибилизирующий, цитотоксический, генотоксический и другие эффекты [3, 4]. Однако ответ организма человека на негативное воздействие окружающей среды может быть неодинаковым, а фенотипы людей могут быть адаптивными или неадаптивными. Адаптации к окружающей среде способствуют многие нутриенты, участвующие в метаболизме ксенобиотиков, а также являясь лигандами различных транскрипционных факторов, они оказывают противовоспалительное и антиоксидантное действия [5, 6].

Роль питания в адаптивных и неадаптивных процессах требует дальнейшего изучения для улучшения понимания механизмов взаимосвязей между пищевой модуляцией экологических токсинов и восприимчивостью к развитию заболеваний [7, 8].

Цель исследования – идентификация маркеров воздействия на организм детей окружающей среды и питания с учетом взаимных влияний.

Методы исследования. Сравнительная оценка маркеров воздействия на организм детей окружающей среды и питания была проведена в дошкольных организациях (ДОУ) двух территорий Свердловской области. В качестве основной территории был выбран г. Нижний Тагил, который, по данным Государственного доклада¹ (далее – Государственный доклад), отнесен к территории с крайне неблагоприятной санитарно-эпидемиологической обстановкой. ДОУ (основная группа) расположено в зоне высокого суммарного канцерогенного риска ($2,5 \times 10^{-4}$ – $7,7 \times 10^{-4}$) и превышения гигиенических нормативов бензола в 1,5 ПДКс.²

Город Красноуфимск, где санитарно-эпидемиологическая обстановка была более благоприятная (при ранжировании территорий Свердловской области по интегральному показателю) выбран как территория сравнения. По данным Роспотребнадзора, за последние 3 года в г. Красноуфимск средняя концентрация металлов в почве и воде не превышала предельно допустимых концентраций, источники выбросов тяжелых металлов в атмосферный воздух за последние 5 лет не оценивались.

В исследования были включены 98 детей основной группы в возрасте 3–7 лет ($4,8 \pm 0,1$), из них 66,7 % мальчиков и 33,2 % девочек. В группе сравнения – 99 детей в возрасте 3–7 лет ($4,7 \pm 0,1$), из них 53,8 % мальчиков, 46,2 % девочек. Родители всех детей дали добровольное информированное согласие на обследование. Всем детям определена массовая концентрация 19 металлов в цельной крови (Al, As, Ba, Ti, Cd, Cr, Cu, Hg, Mg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, St, V, W, Zn). Полученные данные сравнивались с референтными значениями³. Цитогенетические показатели исследованы с целью оценки воздействия окружающей среды на ядра клеток и процессы пролиферации⁴. Оценку медиаторов воспаления и аллергических реакций было принято проводить по количеству циркулирующих в крови цитокинов (IL-1, IL-4), способность организма к детоксикации – по ферменту II фазы детоксикации глутатион-S-трансферазе методом иммуноферментного анализа с применением коммерческих тест-систем, результаты анализировали по референтным значениям, указанным в литературных источниках⁵. Обработка и анализ данных циклического двухнедельного меню ДОУ и питание вне ДОУ проводилось с помощью компьютерной программы «Система расчетов для общественного питания»⁶. Данные по продуктовому набору и пищевой ценности меню сравнивались с нормами, установленными требованиями санитарного законодательства и методических рекомендаций⁷. Питание детей вне ДОУ оценивалось по анкетным данным полуколичественным частотным методом с помощью программного продукта Института

¹ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2022 году» [Электронный ресурс.] Режим доступа: [https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=656010] (дата обращения: 24.09.2024)

² get_file (rospotrebnadzor.ru).

³ Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЭОТАР-медиа, 2008. Р. 960.

⁴ Калаев В.Н., Артюхов В.Г., Нечаева М.С. Микроядерный тест буккального эпителия ротовой полости человека: проблемы, достижения, перспективы // Цитология и генетика. 2014;48(6):62–80. doi: 10.3103/S0095452714060061

⁵ Симбирцев А.С. Цитокины в патогенезе инфекционных и неинфекционных заболеваний человека // Медицинский академический журнал. 2013. № 13(3). С. 18–41.

⁶ Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Система расчетов для предприятий общественного питания» / Л.И. Николаева, Д.В. Гращенков; заявитель и правообладатель Л.И. Николаева, Д.В. Гращенков № 2002610284; заявка 27.12.2001. М., 2002. 1 с.

⁷ СанПиН 2.3/2.4.3590–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения» [Электронный ресурс.] Режим доступа: https://sh-celinnaya-oosh-r56.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/32/315/sanpin_2.3.2.4.3590_20.pdf (дата обращения: 15.04.2024).

питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»⁸. Использованы современные методы определения циркулирующих метаболитов, связанных с питанием [9, 10]. Для этого методом случайных чисел из двух ДОУ выбрано по 30 детей в возрасте 3–7 лет, из них 49,8 % мальчиков и 50,2 % девочек, у которых была проведена оценка содержания органических кислот в моче ($n = 60$) для выявления маркеров воздействия окружающей среды, нарушения метаболизма макро- и микронутриентов. В соответствии с требованиями стандарта проведена подготовка к сбору мочи, исследования проводились методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии [11]. Морфофункциональный статус оценен по росту-весовым показателям, анализ проводился с помощью региональных оценочных таблиц⁹ [12]. Для статистической обработки данных использован пакет Microsoft Excel и программа IBM SPSS Statistics 20. Анализ независимых и связанных выборок проведен непараметрическим методом Манна – Уитни, χ^2 Пирсона для сравнения различий между категориальными переменными. Связь между параметрами считалась значимой при уровне $p < 0,05$. Анализ парных корреляционных связей для переменных проведен с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты. По результатам оценки экспозиции к тяжелым металлам двух включенных в исследование территорий выявлено, что у дошкольников основной группы содержание металлов в крови достоверно выше ($p < 0,001$), чем у детей группы сравнения, а именно: титана на 36,2 мкг/л, кадмия на 1,1 мкг/л, марганца в 2,5 раза, свинца на 15,4 мкг/л, олова на 13,1 мкг/л, алюминия в 3,9 раза, вольфрама на 217 %. В то же время у детей группы сравнения концентрации мышьяка, меди и ртути на 20,8, 21,2 и 70,5 % больше чем в основной группе ($p < 0,001$) соответственно.

Оценка цитогенетических нарушений среды обследованных дошкольников показала, что наибольшее количество детей, имеющих цитогенетические повреждения клеток буккального эпителия, наблюдается в основной группе (73,6 %), а клеток с микроядрами и ядрами атипичной формы – в группе сравнения (84,8 %). У детей основной группы отмечаются больше протрузий ($10,70 \pm 0,10$ %о против $0,84 \pm 0,1$ %о), показателей деструкции ядра клеток по кариорексису ($8,63 \pm 0,67$ %о против $5,09 \pm 0,46$ %о), чем у группы сравнения. В буккальном эпителии группы сравнения чаще встречаются ранняя деструкция ядра ($93,55 \pm 2,68$ %о против $69,60 \pm 1,55$ %о), кариопикноз ($93,82 \pm 3,07$ %о против $55,67 \pm 1,17$ %о) и апоптозные тела ($3,15 \pm 0,58$ %о против $0,87 \pm 0,12$ %о). Корреляционный анализ показал прямую слабую зависимость: концентрации мышьяка в крови детей с наличием ядер атипичной формы ($r = 0,34$, $p < 0,01$); марганца с количеством апоптозных тел ($r = 0,46$, $p < 0,01$), кариопикнозом

($r = 0,38$, $p < 0,01$) и ядер атипичной формы ($r = 0,31$, $p < 0,05$); никеля с наличием кариопикноза ($r = 0,52$, $p < 0,01$); свинца – с двух-, многоядерными клетками ($r = 0,39$, $p < 0,01$).

При оценке медиаторов воспалительной и аллергической реакции – интерлейкин-1 (IL-1) и интерлейкин-4 (IL-4) установлено, что содержание IL-1 у детей группы сравнения достоверно ($p < 0,001$) превышало показатели детей основной группы в 2,8 раза ($0,47 \pm 0,08$ против $0,17 \pm 0,043$), а значения IL-4 достоверно ($p < 0,001$) выше на 42 % у детей основной группы ($0,78 \pm 0,047$ против $0,55 \pm 0,05$). Выявлена прямая слабая зависимость между уровнем содержания в крови IL-1 ($r = 0,223$, $p = 0,000$) и меди, а также содержания IL-4 и концентрацией алюминия ($r = 0,287$, $p < 0,01$), кадмия ($r = 0,264$, $p < 0,01$), марганца ($r = 0,261$, $p < 0,01$).

У детей основной группы содержание фермента глутатион-S-трансферазы выше в 1,6 раза, чем у детей группы сравнения. Результатами корреляционного анализа выявлено наличие положительных связей между содержанием фермента глутатион-S-трансферазы и содержанием в крови у детей алюминия ($r = 0,256$, $p = 0,001$), титана ($r = 0,319$, $p = 0,000$), кадмия ($r = 0,229$, $p = 0,002$), марганца ($r = 0,280$, $p = 0,000$), свинца ($r = 0,153$, $p = 0,049$).

Оценка питания детей по двухнедельному циклическому меню ДОУ показала, что в меню двух ДОУ были низкие значения по молочным продуктам – в среднем на 11,5 %. Мясных продуктов было недостаточно в группе сравнения, где не выполнена норма почти в 2 раза, по рыбе на 29,2 %, по овощам и фруктам на 25 %. В то же время у детей в ДОУ группы сравнения было избыточно продуктов, содержащих свободные сахара, в среднем в 2 раза. В соответствии с нерациональным продуктовым набором меню ДОУ группы сравнения имело недостаточный уровень содержания необходимых для нормального метаболизма макронутриентов: белков на 1,7 %, жиров растительного происхождения на 22 %, ПНЖК на 1,9 %, пищевых волокон на 10,9 %, а также микронутриентов витамина С на 44,2 %, В₁ на 15 %, кальция на 38,8 %, магния на 5,1 %. У детей основной группы выявлен недостаток витамина С на 21,5 %, витамина В₁ – на 36,6 %, кальция – на 50,1 %, магния – на 11,8 %. Количество детей с дефицитом железа и витамина А в группе сравнения больше на 35 % ($p = 0,002$), а витамина С – на 21 % ($p = 0,002$). Наибольшее количество корреляционных связей ($r = -3,1 \dots -5,3$; $p < 0,05$) концентрации макро- и микронутриентов (общий жир, ПНЖК, моно- и дисахариды, общие углеводы, пищевые волокна, витамины А, В₁, РР, С, минералы Na, K, Mg, Fe) отмечается с концентрацией 3-гидрокси-3-метилглутаровой кислоты (ГМК), метаболита катаболизма L-лейцина (при низких значениях) и маркера достаточности коэнзима Q10 (при завышенных значениях)¹⁰. Различий

⁸ МР 2.3.1.0253–21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021) (далее – МР 2.3.1.0253–21).

⁹ Бабина Р.Т., Насыбуллина Г.М., Кочева Н.О. и др. Оценка физического развития детей Свердловской области от 0 до 16 лет: Методические рекомендации. Екатеринбург, 2001. 83 с.

¹⁰ Valine, leucine and isoleucine degradation - Homo sapiens (human) [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.genome.jp/pathway/hsa00280> (дата обращения: 15.04.2024).

между группами сравнения не выявлено. Однако количество детей, имеющих низкие значения (ГМК) в моче, в группе сравнения больше, чем у детей основной группы, – 36,4 и 6,5 % соответственно. Отмечается прямая связь концентрации пироглутаминовой кислоты и ПНЖК, $n(\omega)$ -6 ПНЖК, $n(\omega)$ -3 ПНЖК, витамин А ($r = 4,0 - 5,3$; $p < 0,05$), обратная связь между концентрацией суммарных значений метилглутаровых кислот и энергетической ценностью, добавленным сахаром, общими углеводами ($r = -3,1...-3,3$; $p < 0,05$), аналогично (обратная) между концентрацией пара-метилглутаровой кислоты и крахмалом ($r = -3,0$; $p < 0,05$). Различия в маркерах углеводного обмена¹¹ выявлено по таким органическим кислотам, как пировиноградная ($p = 0,02$) и молочная (0,00), их значения выше у детей группы сравнения. По высоким титрам нескольких органических кислот, маркеров достаточности витаминов можно судить о дефиците витаминов B₉, B₁₂ [13, 14]. Так, по форминоглутаминовой кислоте, маркеру достаточности фолиевой кислоты, возможен дефицит у 47 % детей основной группы и у 33 % детей группы сравнения, а по метилмалоновой кислоте – маркеру дефицита витамина B₁₂ – у 10 и 20 % детей основной группы и группы сравнения соответственно. У детей основной группы выявлены высокие концентрации маркеров интоксикации органическими соединениями бензольного ряда. Показатели метаболита этилбензола (миндальная кислота) выше, чем в группе сравнения, в 2,0 раза ($p = 0,02$), а суммарные значения метилглутаровых кислот – метаболита ксилы – в 1,5 раза ($p = 0,01$) [15].

Пироглутаминовой кислоты ($p = 0,00$), маркера активности 2-й фазы детоксикации¹², выявлено в 1,4 раза больше у детей группы сравнения. При анализе реализованных фенотипических признаков по данным роста-весовых показателей установлен дефицит массы тела у детей основной группы – у каждого третьего ребенка (14,7 %), в т. ч. выраженный дефицит отмечен в 5,5 % наблюдений, что в 5 раз чаще, чем в основной группе (1,0 %). В то же время у детей группы сравнения повышенная масса тела выявлена у каждого пятого ребенка, а избыточная масса тела встречается почти в 3 раза чаще (11 % случаев против 3,3 %). Наблюдалась обратная сильная связь концентрации кадмия в крови с массой тела ребенка ($r = -0,91$; $p < 0,05$).

Обсуждение. В результате наших исследований показано, что в основной группе детей, проживающих на территории с высоким аэрогенным риском, содержание 6 металлов (свинца, кадмия, алюминия, марганца, олова, титана) в крови достоверно больше. При этом наибольшее количество детей, имеющих превышение референтных значений, отмечается по олову – 79,8 %, алюминию – 52,4 % и свинцу – 8,4 %. В то же время у детей группы сравнения, проживающих в относительно благополучной по содержанию металлов окружающей среде, более высокая концентрация мышьяка, меди и ртути,

но количество детей, имеющих высокие значения незначительно. Выявленная корреляционная связь между цитогенетическими показателями буккального эпителия и металлами свидетельствует о негативном влиянии факторов окружающей среды на детей двух групп сравнения, при этом цитогенетические повреждения встречаются чаще у детей основной группы, а деструкции ядра – у группы сравнения. Полученные положительные ассоциации между содержанием IL-4 и концентрацией алюминия, кадмия, марганца у детей основной группы подтверждаются литературными данными о развитии сенсibiliзирующих эффектов, связанных с повышением уровня специфической чувствительности организма к металлам и медиаторов межклеточной цитокиновой регуляции [16, 17].

Чувствительность организма к воздействию ксенобиотиков, идентифицированная по наличию цитогенетических повреждений клеток буккального эпителия, может указывать на потребность в поддержании функций детоксикационной и антиоксидантной систем. Так, нами показана связь высоких концентраций фермента глутатион-S-трансферазы с повышенным содержанием в крови алюминия, титана, кадмия, марганца, свинца, которые в наибольшем количестве выявлены у детей основной группы [18, 19].

Рацион питания группы сравнения не обеспечен в полной мере мясными продуктами, рыбой, овощами и фруктами, при этом наблюдается избыточное потребление продуктов, содержащих свободные сахара. Недостаток необходимых для нормального метаболизма белков, жиров растительного происхождения, в том числе ПНЖК, пищевых волокон, а также витаминов B₁, PP и кальция в питании детей группы сравнения является следствием их нерационального продуктового набора меню. В рационе питания детей основной группы также отмечалось недостаточное количество растительных жиров, витамина B₁ и кальция. Нарушения баланса кальция, магния и фосфора у детей двух территорий может свидетельствовать об ухудшении биодоступности кальция, который является антагонистом многих металлов [20].

На несбалансированный рацион питания детей двух групп сравнения указывает наличие обратной связи между количеством потребляемых нутриентов (общий жир, ПНЖК, ω -6 ПНЖК, моно- и дисахариды, общие углеводы, пищевые волокна, витамины: A, B₁, Ниацин, C, минералы: Na, K, Mg, Fe) и концентрацией ГМК. Расщепление 3-гидроксис-3-метилглутарил-коэнзима А (производного ГМК) до ацетоацетата и ацетил-CoA происходит в присутствии коэнзима Q10, и в случае завышенных значений ГМК можно предположить о дефиците коэнзима Q10. Корреляционная зависимость между высокими значениями ГМК и многими нутриентами показывает, что рацион с низкими значениями макронутриентов может приводить к дефициту Коэнзима Q10, поступающего из рациона, и как

¹¹ Glycolysis / Gluconeogenesis – Homo sapiens (human) [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.genome.jp/pathway/hsa00010+M00002> (дата обращения: 15.04.2024).

¹² Glutathione metabolism – Homo sapiens (human) [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.genome.jp/pathway/hsa00480+M00118> (дата обращения: 15.04.2024).

следствие к митохондриальной дисфункции. Стоит отметить в группе сравнения выявлен наибольший дефицит пищевых продуктов, содержащих коэнзим Q10, что может способствовать снижению выработки энергии в митохондриях [21, 22].

По маркерам углеводного обмена (пировиноградной и молочной кислот) отклонений от референсных показателей не выявлено, однако в группе сравнения они приближены к границе высоких значений. У детей группы сравнения наблюдается избыточное потребление продукции, содержащей свободные сахара (по данным продуктового набора меню ДОУ), и наибольшее количество детей, имеющих избыточную массу тела, то есть риски развития метаболических нарушений, связанных с углеводным обменом, у них выше.

На наличие интоксикации ксенобиотиками детей основной группы указывает концентрация пироглутаминовой кислоты, метилгиппуровой, миндальной кислот. По высокой концентрации метилгиппуровой кислоты, выявленной у детей основной группы, можно судить об интоксикации изомерами ксилы (орто-, мета-, пара-), которые выводятся путем конъюгации с глицином, поэтому потребность в глицине для выведения ксенобиотиков у детей основной группы выше [15, 23].

Высокие титры органических кислот (форминоглутаминовая и метилмалоновая) – маркеров достаточности витаминов B₉, B₁₂ свидетельствуют об их дефиците в рационе двух групп, но больше у дошкольников основной группы [14]. Активные формы витаминов B₉ и B₁₂, метилфолат и метилкобаламин, взаимодействуют друг с другом через фолатный цикл и взаимозависимы [24], и могут поставлять метильные группы для детоксикации и метилирования [25, 26¹³, 27].

В предыдущих публикациях мы показали зависимость дефицита массы тела у детей и концентрации кадмия в крови, а также некоторые клинические проявления, ассоциированные с воздействием окружающей среды на детей в г. Нижнем Тагиле [8]. В настоящих исследованиях мы также подтвердили наличие обратной связи между массой тела и концентрацией кадмия в крови, мы также выявили, что дети основной группы чаще болеют острыми заболеваниями верхних дыхательных путей, в том числе аллергоринитом.

Заключение. По результатам нашего исследования можно предположить, что сложное взаимодействие экотоксикантов и органических соединений, поступающих с пищей у детей двух исследуемых групп, дает различный ответ организма на комплексное воздействие изучаемых факторов. По содержанию в крови токсичных металлов, распространенности присутствия аберрантных клеток всех типов базального эпителия, интерлейкинов (IL-1, IL-4), глутатион-S-трансферы, органических кислот мы идентифицировали маркеры нарушения энергетического, углеводного и витаминного обменов, интоксикации и функции детоксикации. По маркерам питания детей двух групп сравнения определяется

два неадаптивных фенотипа. Детей основной группы можно отнести к низкому адаптивному метаболитическому на воздействие окружающей среды и фенотипу питания для поддержания функций детоксикации, а детей группы сравнения – к низкому адаптивному метаболитическому на воздействие окружающей среды для выработки энергии в митохондриях и противодействия воспалительным процессам. Комплекс изученных факторов с дополнительным изучением микробиоты позволит разработать дифференцированный подход к моделированию рационов питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maitre L, Guimbaud JB, Warembourg C, *et al.*, Exposome Data Challenge Participant Consortium. State-of-the-art methods for exposure–health studies: Results from the exposome data challenge event. *Environ Int.* 2022;168:107422. doi: 10.1016/j.envint.2022.107422
2. Lucock MD. A brief introduction to the exposome and human health. *ERHM.* 2021;6(1):18–23. doi: 10.14218/ERHM.2020.00070
3. Zahedi A, Hassanvand MS, Jaafarzadeh N, Ghadiri A, Shamsipour M, Dehcheshmeh MG. Effect of ambient air PM_{2.5}-bound heavy metals on blood metal(loid)s and children's asthma and allergy pro-inflammatory (IgE, IL-4 and IL-13) biomarkers. *J Trace Elem Med Biol.* 2021;68:126826. doi: 10.1016/j.jtemb.2021.126826
4. Wang J, Yin J, Hong X, Liu R. Exposure to heavy metals and allergic outcomes in children: A systematic review and meta-analysis. *Biol Trace Elem Res.* 2022;200(1):4615–4631. doi: 10.1007/s12011-021-03070-w
5. Wu D, Lewis ED, Pae M, Meydani SN. Nutritional modulation of immune function: Analysis of evidence, mechanisms, and clinical relevance. *Front Immunol.* 2019;9:3160. doi: 10.3389/fimmu.2018.03160
6. Nakov R, Velikova T. Chemical metabolism of xenobiotics by gut microbiota. *Curr Drug Metab.* 2020;21(4):260–269. doi: 10.2174/1389200221666200303113830
7. Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Штин Т.Н., Ярушин С.В., Чеботарькова С.А. Признаки фенотипических изменений у детей, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 9. С. 77–83. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-9-77-83
8. Бушуева Т.В., Минигалиева И.А., Клинова С.В. и др. Иммунохимические, цитогенетические изменения и генетический полиморфизм у детей, проживающих в условиях воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. №12. С. 1555–1561. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1555-1561
9. Мирошина Т.А., Резниченко И.Ю. Значение нутригеномики и нутригенетики в пищевой науке // Индустрия питания. 2023. Т. 8. №2. С. 105–115. doi: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-11
10. Карцова Л.А., Соловьёва С.А. Применение хроматографических и электрофоретических методов в метаболомных исследованиях // Журнал аналитической химии. 2019. Т. 74. № 4. С. 243–253. doi: 10.1134/S1061934819040051
11. Мамедов И.С., Сухоруков В.С., Золкина И.В., Савина М.И., Николаева Е.А. Оценка масс-спектрометрических показателей для дифференциальной диагностики наследственных нарушений обмена органических

¹³ Glycine, serine and threonine metabolism - Homo sapiens (human) [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.genome.jp/pathway/hsa00260+M00621> (дата обращения: 15.04.2024).

- кислот у детей // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2019. Т. 64. №1. С. 61–67. doi: 10.21508/1027-4065-2019-64-1-61-67. EDN: YZDVSP
12. Бауэр П.С., Бородина Г.Н., Требушина Т.Г., Федина И.Ю., Субботин ЕА. Оценка физического развития школьников 7–8 лет, проживающих в республике Алтай // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2020. № 3 (75). С. 132–137. doi: 10.19163/1994-9480-2020-3(75)-132-137. EDN OWEQJE.
 13. Бицадзе В.О., Самбунова Н.В., Мацакария Н.А., Мищенко А.Л. Фолатдефицитные состояния в акушерской практике и проблема их коррекции // Акушерство, гинекология и репродукция. 2016. Т. 10. №1. С. 38–48. doi: 10.17749/2313-7347.2015.10.1.038-048. EDN: VZTTSN
 14. Soleimani E. Benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene: Current analytical techniques and approaches for biological monitoring. *Rev Anal Chem*. 2020; 39(1):168–187. doi: 10.1515/revac-2020-0116
 15. Botella J, Motanova ES, Bishop DJ. Muscle contraction and mitochondrial biogenesis – A brief historical reappraisal. *Acta Physiol (Oxf.)*. 2022;235(1):e13813. doi: 10.1111/apha.13813
 16. Старкова К.Г., Долгих О.В., Эйфельд Д.А., Аликина И.Н., Никоношина Н.А., Челакова Ю.А. Индикаторные показатели особенностей иммунной регуляции у детей в условиях загрязнения среды обитания металлами // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. №2. С. 178–182. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-178-182
 17. Rahbar MH, Samms-Vaughan M, Zhao Y, et al. Interactions between environmental factors and glutathione S-transferase (GST) genes with respect to detectable blood aluminum concentrations in Jamaican children. *Genes (Basel)*. 2022;13(10):1907. doi: 10.3390/genes13101907
 18. Dobritsch D, Grancharov K, Hermsen C, Krauss GJ, Schaumlöffel D. Inhibitory effect of metals on animal and plant glutathione transferases. *J Trace Elem Med Biol*. 2020;57:48–56. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.09.007
 19. Антонович Н., Мануйлова А.А. Взаимосвязь рационального питания и экологии // Всемирный день охраны окружающей среды (экологические чтения – 2015) : Материалы Международной научно-практической конференции, Омск, 05 июня 2015 года / Под редакцией О.Ю. Мельниковой. Омск: Омский экономический институт, 2015. С. 120–130. EDN VRJPMF.
 20. da Rosa MS, da Rosa-Junior NT, Parmeggiani B, et al. 3-hydroxy-3-methylglutaric acid impairs redox and energy homeostasis, mitochondrial dynamics, and endoplasmic reticulum-mitochondria crosstalk in rat brain. *Neurotox Res*. 2020;37(2):314–325. doi: 10.1007/s12640-019-00122-x
 21. Thompson S, Hertzog A, Selvanathan A, et al. Treatment of HMG-CoA lyase deficiency—Longitudinal data on clinical and nutritional management of 10 Australian cases. *Nutrients*. 2023;15(3):531. doi: 10.3390/nu15030531
 22. Du Q, Chen H, Shi Z, Zhou H. Case report: Long segmental lesions of the spinal cord caused by exposure to xylene. *Front Neurol*. 2023;14:1121421. doi: 10.3389/fneur.2023.1121421
 23. Duncan A, McDermott H, Corcoran S, Devine C, Barry C. Pyroglutamic acidosis caused by the combination of two common medicines prescribed in everyday practice. *Oxf Med Case Rep*. 2023;2023(5):omad048. doi: 10.1093/omcr/omad048
 24. Eom S, Lee S, Lee J, et al. Molecular mechanism of L-pyroglutamic acid interaction with the human sour receptor. *J Microbiol Biotechnol*. 2023;33(2):203–210. doi: 10.4014/jmb.2212.12007
 25. Aiello A, Pepe E, de Luca L, Pizzolongo F, Romano R. Preliminary study on kinetics of pyroglutamic acid formation in fermented milk. *Int Dairy J*. 2022;126:105233. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105233
 26. Mascarenhas R, Gouda H, Ruetz M, Banerjee R. Human B12-dependent enzymes: Methionine synthase and Methylmalonyl-CoA mutase. *Methods Enzymol*. 2022;668:309–326. doi: 10.1016/bs.mie.2021.12.012
 27. Jamerson LE, Bradshaw PC. The roles of white adipose tissue and liver NADPH in dietary restriction-induced longevity. *Antioxidants (Basel)*. 2024;13(7):820. doi: 10.3390/antiox13070820

REFERENCES

1. Maitre L, Guimbaud JB, Warembourg C, et al., Exposome Data Challenge Participant Consortium. State-of-the-art methods for exposure–health studies: Results from the exposome data challenge event. *Environ Int*. 2022;168:107422. doi: 10.1016/j.envint.2022.107422
2. Lucock MD. A brief introduction to the exposome and human health. *ERHM*. 2021;6(1):18–23. doi: 10.14218/ERHM.2020.00070
3. Zahedi A, Hassanvand MS, Jaafarzadeh N, Ghadiri A, Shamsipour M, Dehcheshmeh MG. Effect of ambient air PM2.5-bound heavy metals on blood metal(loid)s and children's asthma and allergy pro-inflammatory (IgE, IL-4 and IL-13) biomarkers. *J Trace Elem Med Biol*. 2021;68:126826. doi: 10.1016/j.jtemb.2021.126826
4. Wang J, Yin J, Hong X, Liu R. Exposure to heavy metals and allergic outcomes in children: A systematic review and meta-analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(11):4615–4631. doi: 10.1007/s12011-021-03070-w
5. Wu D, Lewis ED, Pae M, Meydani SN. Nutritional modulation of immune function: Analysis of evidence, mechanisms, and clinical relevance. *Front Immunol*. 2019;9:3160. doi: 10.3389/fimmu.2018.03160
6. Nakov R, Velikova T. Chemical metabolism of xenobiotics by gut microbiota. *Curr Drug Metab*. 2020;21(4):260–269. doi: 10.2174/1389200221666200303113830
7. Mazhaeva TV, Dubenko SE, Shtin TN, Yarushin SV, Chebotarkova SA. Signs of phenotypic changes in children constantly exposed to elevated environmental levels of chemical pollutants in the city of Nizhny Tagil. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(9):77–83. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-9-77-83
8. Bushueva TV, Minigalieva IA, Klinova SV, et al. Immunochemical, cytogenetic changes and genetic polymorphism in children living under the exposure to unfavourable environmental factors. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(12):1555–1561. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1555-1561
9. Miroshina TA, Reznichenko IYu. Nutrigenomics and nutrigenetics importance in the food science. *Industriya Pitaniya*. 2023;8(2):105–115. (In Russ.) doi: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-11
10. Kartsova LA, Solov'eva SA. Application of chromatographic and electrophoretic techniques to metabolomic studies. *J Anal Chem*. 2019;74(4):307–315. doi: 10.1134/S1061934819040051
11. Mamedov IS, Sukhorukov VS, Zolkina IV, Savina MI, Nikolaeva EA. Evaluation of mass spectrometric indicators for the differential diagnosis of inherited disorders of organic acid metabolism in children. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii*. 2019;64(1):61–67. (In Russ.) doi: 10.21508/1027-4065-2019-64-1-61-67
12. Bauer PS, Borodina GN, Trebushinina TG, Fedina IYu, Subbotin EA. Assessment of the physical development of schoolchildren aged 7–8 living in Altai Republic. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Meditsins-*

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-10-73-80>
Original Research Article

- kogo Universiteta*. 2020;(3(75)):132–137. (In Russ.) doi: 10.19163/1994-9480-2020-3(75)-132-137
13. Bitsadze VO, Samburova NV, Makatsariya NA, Mishchenko AL. Folate deficiency in obstetrics and the problem of its correction. *Akusherstvo, Ginekologiya i Reproduktsiya*. 2016;10(1):38–48. (In Russ.) doi: 10.17749/2313-7347.2015.10.1.038-048
 14. Soleimani E. Benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene: Current analytical techniques and approaches for biological monitoring. *Rev Anal Chem*. 2020;39(1):168–187. doi: 10.1515/revac-2020-0116
 15. Botella J, Motanova ES, Bishop DJ. Muscle contraction and mitochondrial biogenesis – A brief historical reappraisal. *Acta Physiol (Oxf)*. 2022;235(1):e13813. doi: 10.1111/apha.13813
 16. Starkova KG, Dolgikh OV, Eisfeld DA, Alikina IN, Nikonoshina NA, Chelakova YuA. Indices of peculiarities of immune regulation detected in children exposed to environmental contamination with metals. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(2):178–182. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-178-182
 17. Rahbar MH, Samms-Vaughan M, Zhao Y, et al. Interactions between environmental factors and glutathione S-transferase (GST) genes with respect to detectable blood aluminum concentrations in Jamaican children. *Genes (Basel)*. 2022;13(10):1907. doi: 10.3390/genes13101907
 18. Dobritzsch D, Grancharov K, Hermesen C, Krauss GJ, Schaumlöffel D. Inhibitory effect of metals on animal and plant glutathione transferases. *J Trace Elem Med Biol*. 2020;57:48–56. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.09.007
 19. Antonovich N, Manuylova AA. Relationship management food and environment. In: Melnikova OYu, ed. *World Environment Day (Environmental Readings – 2015): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Omsk, June 5, 2015*. Omsk: Omsk Economic Institute Publ.; 2015:120–130. (In Russ.)
 20. da Rosa MS, da Rosa-Junior NT, Parmeggiani B, et al. 3-hydroxy-3-methylglututaric acid impairs redox and energy homeostasis, mitochondrial dynamics, and endoplasmic reticulum-mitochondria crosstalk in rat brain. *Neurotox Res*. 2020;37(2):314–325. doi: 10.1007/s12640-019-00122-x
 21. Thompson S, Hertzog A, Selvanathan A, et al. Treatment of HMG-CoA lyase deficiency—Longitudinal data on clinical and nutritional management of 10 Australian cases. *Nutrients*. 2023;15(3):531. doi: 10.3390/nu15030531
 22. Du Q, Chen H, Shi Z, Zhou H. Case report: Long segmental lesions of the spinal cord caused by exposure to xylene. *Front Neurol*. 2023;14:1121421. doi: 10.3389/fneur.2023.1121421
 23. Duncan A, McDermott H, Corcoran S, Devine C, Barry C. Pyroglutamic acidosis caused by the combination of two common medicines prescribed in everyday practice. *Oxf Med Case Rep*. 2023;2023(5):omad048. doi: 10.1093/omcr/omad048
 24. Eom S, Lee S, Lee J, et al. Molecular mechanism of L-pyroglutamic acid interaction with the human sour receptor. *J Microbiol Biotechnol*. 2023;33(2):203–210. doi: 10.4014/jmb.2212.12007
 25. Aiello A, Pepe E, de Luca L, Pizzolongo F, Romano R. Preliminary study on kinetics of pyroglutamic acid formation in fermented milk. *Int Dairy J*. 2022;126:105233. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105233
 26. Mascarenhas R, Gouda H, Ruetz M, Banerjee R. Human B12-dependent enzymes: Methionine synthase and Methylmalonyl-CoA mutase. *Methods Enzymol*. 2022;668:309–326. doi: 10.1016/bs.mie.2021.12.012
 27. Jamerson LE, Bradshaw PC. The roles of white adipose tissue and liver NADPH in dietary restriction-induced longevity. *Antioxidants (Basel)*. 2024;13(7):820. doi: 10.3390/antiox13070820

Сведения об авторах:

✉ **Мажеева** Татьяна Васильевна – к.м.н., ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гигиены питания, качества и безопасности продукции ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; доцент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы, ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет Минздрава России»; e-mail: mazhaeva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>.

Гурвич Владимир Борисович – д.м.н., научный руководитель ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: gurvich@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>.

Сутункова Марина Петровна – д.м.н., директор ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; доцент, заведующий кафедрой гигиены и медицины труда, ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: sutunkova@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-7642>.

Чернова Юлия Савастьяновна – младший научный сотрудник отдела гигиены питания, качества и безопасности продукции ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: chernovaus@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4248-8118>.

Ярушин Сергей Владимирович – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией социально-гигиенического мониторинга ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: sergeyy@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8215-9944>.

Чеботарькова Светлана Александровна – к.м.н., доцент, врач по общей гигиене отдела социально-гигиенического мониторинга Нижнетагильского филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области»; e-mail: titulas@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8271-9742>.

Минигалиева Ильзира Амировна – д.м.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом токсикологии и биопрофилактики ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: ilzira@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0097-7845>.

Бушueva Татьяна Викторовна – к.м.н., заведующий НПО лабораторно-диагностических технологий ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: bushueva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5872-2001>.

Штин Татьяна Николаевна – к.х.н., заведующий отделом физико-химических методов исследования ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: shtintn@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8846-8016>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Мажеева Т.В., Гурвич В.Б., Сутункова М.П.*; сбор данных: *Чернова Ю.С., Чеботарькова С.А., Штин Т.Н., Бушueva Т.В., Ярушин С.В., Минигалиева И.А.*; анализ и интерпретация результатов: *Мажеева Т.В., Чернова Ю.С., Чеботарькова С.А., Штин Т.Н., Бушueva Т.В., Ярушин С.В., Минигалиева И.А.*; обзор литературы, подготовка рукописи: *Мажеева Т.В., Чернова Ю.С.* Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено на заседании Локального этического комитета ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (протокол № 5 от 27.12.2021).

Финансирование: работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Гурвич Владимир Борисович является членом редакционного совета научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 04.09.24 / Принята к публикации: 10.10.24 / Опубликовано: 31.10.24

Author information:

✉ Tatyana V. Mazhaeva, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Head of the Department of Nutrition Hygiene, Food Quality and Safety, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; Assoc. Prof., Department of Epidemiology, Social Hygiene and Organization of the State Sanitary and Epidemiological Service, Ural State Medical University; e-mail: mazhaeva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8566-2446>.

Vladimir B. Gurvich, Dr. Sci. (Med.), Scientific Director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: gurvich@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>.

Marina P. Sutunkova, Dr. Sci. (Med.), Director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; Assoc. Prof., Head of the Department of Occupational Health and Medicine, Ural State Medical University; e-mail: sutunkova@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-7642>.

Julia S. Chernova, Junior Researcher, Department of Nutrition Hygiene, Food Quality and Safety, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: chernovaus@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4248-8118>.

Sergey V. Yarushin, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Public Health Monitoring, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: sergeyy@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8215-9944>.

Svetlana A. Chebotarkova, Cand. Sci. (Med.), docent; hygienist, Department of Public Health Monitoring, Nizhny Tagil Branch of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Sverdlovsk Region; e-mail: titulas@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8271-9742>.

Ilzira A. Minigalieva, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher, Head of the Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: ilzira@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0097-7845>.

Tatiana V. Bushueva, Cand. Sci. (Med.), Head of the Research and Production Department "Laboratory and Diagnostic Technologies", Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: bushueva@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5872-2001>.

Tatyana N. Shtin, Cand. Sci. (Chem.), Head of the Department of Physical and Chemical Research Methods, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: shtintn@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8846-8016>.

Author contributions: study conception and design: Mazhaeva T.V., Gurvich V.B., Sutunkova M.P.; data collection: Chernova J.S., Chebotarkova S.A., Shtin T.N., Bushueva T.V., Yarushin S.V., Minigalieva I.A.; analysis and interpretation of results: Mazhaeva T.V., Chernova J.S., Chebotarkova S.A., Shtin T.N., Bushueva T.V., Yarushin S.V., Minigalieva I.A.; bibliography compilation and referencing, draft manuscript preparation: Mazhaeva T.V., Chernova J.S. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Study approval was provided by the Local Ethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers (protocol No. 5 of December 27, 2021).

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: Vladimir B. Gurvich 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: September 4, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: October 31, 2024

95 лет на страже профессионального долголетия

**ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора,
г. Екатеринбург**



История Екатеринбургского медицинского научного центра началась в 1989 г. после объединения двух институтов – Свердловского НИИ гигиены труда и профзаболеваний и Свердловского НИИ курортологии и физиотерапии, которые были созданы в 1929 году с целью решения задач здравоохранения в годы первых пятилеток, – в связи с необходимостью организации и развития медицинской службы, специализированной по гигиене труда, профессиональной патологии, а также различным видам физиотерапии, включая использование в целях лечения, профилактики и медицинской реабилитации богатейших местных природных ресурсов – минеральных вод, грязей и климата.

С первых лет своего существования Центр занял в этой области одну из лидирующих позиций в стране и сохраняет ее по настоящее время, решая задачи обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей, экологической безопасности, сохранения здоровья и трудовой активности работающих Российской Федерации.

Формирование и развитие основных научных исследований коллектива Центра было направлено на изучение условий труда на предприятиях металлургической и горнодобывающей промышленности, машиностроения, производства строительных материалов всего Советского Союза, на разработку современных методов оценки состояния окружающей и производственной среды, методов диагностики, лечения и реабилитации работающих и населения в целом, изучение профессиональной заболеваемости.

Благодаря завершённому в 2018 году техническому перевооружению Центра внедряются современные технологии фундаментальных и прикладных исследований, разрабатываются методы предиктивной медицины на молекулярно-генетическом уровне с использованием «омик»-технологий, новые способы оценки экспозиции физических и химических факторов среды обитания и изучаются их комбинированное и сочетанное влияние на организм, активно развивается нанотоксикология, разрабатываются современные подходы к организации питания различных групп населения, что способствует повышению научного авторитета и перспектив Российской Федерации на мировом уровне.

В формирование и развитие основных направлений исследований, научно-методической и материальной базы Центра большой вклад внесли ученые, отдавшие десятки лет своей жизни делу развития профилактической и восстановительной медицины: М.С. Садилова, Ф.М. Коган, А.Г. Гольдельман, Д.М. Зислин, Е.Я. Гирская, А.Л. Юделес, С.В. Миллер, В.В. Розенблат, С.В. Щербаков, С.И. Серов, К.В. Хилевский, С.С. Магазанник, Р.В. Овечкин, И.А. Балабанова, Б.Т. Величковский, С.Г. Домнин, Б.А. Кацнельсон, Т.Д. Дегтярева, Л.И. Привалова, Л.Я. Тартаковская, Э.Г. Плотко, К.П. Селянкина, Е.А. Борзунова, О.Ф. Рослый, Е.И. Лихачева, Л.Н. Будкарь, Р.Г. Образцова, И.Е. Оранский, В.Б. Гурвич, С.В. Кузьмин, В.Ю. Курочкин, В.А. Широков и многие другие.

В настоящее время сформировалось поколение высококвалифицированных кадров, изучающих и разрешающих насущные проблемы гигиены, медицины труда, экологической эпидемиологии, профпатологии, физиотерапии и курортологии (М.П. Сутункова, А.А. Федорук, Т.В. Мажаева, В.Г. Газимова, Т.В. Бушуева, Е.В. Бахтерева, А.В. Потатурко, И.А. Минигалиева, Т.Ю. Обухова, Е.Л. Лейдерман и др.).

За годы существования институтов и Центра разработаны и вошли в санитарное законодательство более 50 санитарных правил и 140 гигиенических нормативов (ПДК и ОБУВ) содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе и воде водоемов, более 500 методических рекомендаций и пособий для врачей, издано более 90 монографий и руководств, 190 тематических сборников, получено около 260 патентов на изобретения и промышленные образцы, разработаны бальнеологические заключения по применению минеральных вод и лечебных грязей на 700 объектах Уральского региона.

Екатеринбургский медицинский-научный центр осуществляет научно-исследовательские работы совместно с Управлением Роспотребнадзора по Свердловской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области», некоторыми промышленными предприятиями как Уральского федерального округа, так и других субъектов Российской Федерации.

Сегодня в структуре Екатеринбургского медицинского-научного центра 7 научных и 4 научно-производственных отдела, в состав которых входит 18 лабораторий и отделений.

Сотрудниками Екатеринбургского медицинского научного центра проводятся комплексные санитарно-гигиенические обследования, исследования и испытания по изучению условий труда и функционального состояния организма непосредственно на рабочих местах. Определяются коллективные и персональные экспозиции факторов трудового процесса, уровни риска для здоровья и разрабатываются адресные целевые профилактические мероприятия.

ЕМНЦ более 30 лет сотрудничает с ведущими горно-металлургическими предприятиями, решая задачи сохранения здоровья работающих во вредных условиях труда, а также населения, проживающего в условиях негативного воздействия факторов окружающей среды, в зонах влияния промышленных предприятий. Соглашения о совместной деятельности по управлению риском для здоровья населения и работающих в связи с хозяйственной деятельностью промышленных предприятий металлургической отрасли являются примером практической реализации, эффективности и результативности устанавливаемых партнерских отношений.

Центр проводит большую работу по подготовке высококвалифицированных научных и врачебных кадров (ординатура, аспирантура, соискательство). Начиная с 1933 года выполнено и защищено 80 докторских и 356 кандидатских диссертаций, подготовлено более 120 ординаторов. В 1998 году Центр получил лицензию на право ведения образовательной деятельности в сфере дополнительного профессионального образования, за это время на курсах повышения квалификации обучено более 12 тысяч человек. Центр является учебной базой трех кафедр Уральского государственного медицинского университета.

ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора сегодня – это одно из крупнейших и уникальных многопрофильных учреждений профилактической и восстановительной медицины в стране, сохранившее и развивающее лучшие традиции уральской школы гигиенистов, токсикологов, профпатологов, физиологов, курортологов и физиотерапевтов.

Все достижения и перемены, происходящие в Центре, способствуют реализации приоритетных направлений по охране здоровья населения Урала, ориентированы на сохранение демографического потенциала, обеспечивающего необходимые темпы развития экономики и безопасность государства.

Сердечно поздравляем коллектив ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора со знаменательным юбилеем. От всей души желаем инновационного подхода в решении научных задач, новых побед и открытий, успехов во всех сферах деятельности, крепкого здоровья и долголетия!

*С уважением,
руководство ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП
Роспотребнадзора*



1930-е гг.



1930-е гг.