

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



ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И СРЕДА ОБИТАНИЯ

Том 30 · 2022

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya – ZNISO

Volume 30 · 2022

№ 5

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Основан в 1993 г.

16+

Учредитель

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

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 Ульрихском международном каталоге периодики (Urich'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, РГБ, Dimensions, LENS.ORG;

полные тексты научных публикаций журнала индексируются
в поисковой системе Академия Google (Google Scholar).

Москва · 2022

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

Учредитель: Федеральное
бюджетное учреждение здраво-
охранения «Федеральный центр
гигиены и эпидемиологии» Фе-
деральной службы по надзору в
сфере защиты прав потребите-
лей и благополучия человека

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

Задачи журнала:

- Расширять свою издатель-
скую деятельность путем повы-
шения географического охвата
публикуемых материалов (в том
числе, с помощью большего
вовлечения представителей
международного научного
сообщества).
- Неукоснительно следовать
принципам исследовательской
и издательской этики, беспри-
страсно оценивать и тщательно
отбирать публикации, для
исключения неэтических действий
или плагиата со стороны
авторов, нарушения общепри-
нятых принципов проведения
исследований.
- Обеспечить свободу контен-
та, редакколегии и редсовета
журнала от коммерческого, фи-
нансового или иного давления,
дискредитирующего его беспри-
страсность или снижающего
доверие к нему.

Для публикации в журнале:

статьи в электронном виде должны
быть отправлены через личный
кабинет автора на сайте
<https://zniso.fcgie.ru/>

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 В.Ю. Ананьев

К.м.н.; Главный врач ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора; доцент кафедры организации санитарно-эпидемиологической службы ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (г. Москва, Российская Федерация)

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

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

Ответственный секретарь Н.А. Горбачева

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

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

Е.В. Ануфриева д.м.н., доц.; заместитель директора по научной работе ГАУ ДПО «Уральский институт 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. Больщаков д.м.н., проф. (г. Москва, Российская Федерация)

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

А.Н. Покида к.социол.н.; директор Научно-исследовательского центра социально-политического мониторинга Института общественных наук ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации) (г. Москва, Российская Федерация)

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 30 № 5 2022

Основан в 1993 г.

Все права защищены.

Перепечатка и любое воспроизведение материалов и иллюстраций в печатном или электронном виде из журнала ЗНиСО допускается только с письменного разрешения учредителя и издателя – ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора.

При использовании материалов ссылка на журнал ЗНиСО обязательна.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов. Ответственность за достоверность информации, содержащейся в рекламных материалах, несет рекламодатели.

Контакты редакции:

Адрес редакции:
117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 19А
ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора
E-mail: znis@fcgie.ru
Сайт журнала: <https://znisof.fcgie.ru>
Тел.: (495) 633-1817 доб. 240
факс: (495) 954-0310

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: znis@fcgie.ru, тел.: (495) 633-1817

Опубликовано 31.05.2022
Формат издания 60x84/8
Печ. л. 11,75
Периодичность – 12 раз в год
Плановый тираж 1000 экз.
Цена свободная

Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5.
С. 7–94.

Статьи индексируются с помощью идентификатора цифрового объекта (DOI).

Префикс DOI: 10.35627

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

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.

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

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

Vasiliy Yu. Ananyev, Deputy Editor-in-Chief

Cand. Sci. (Med.); Head Doctor of the Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Assoc. Prof. of the Department for Organization of Sanitary and Epidemiological Service, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

Galina M. Trukhina, Deputy Editor-in-Chief (Scientific Editor)

Dr. Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Head of the Department of Microbiological Methods of Environmental Research, Institute of Complex Problems of Hygiene, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russian Federation

Nataliya A. Gorbacheva, Executive Secretary

Cand. Sci. (Med.); Deputy Head of the Department for Educational and Editorial Activities, Federal Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russian Federation

Vasiliy G. Akimkin

Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Doctor of the Russian Federation; Director of the Central Research Institute of Epidemiology; Head of the Department of Disinfectology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

**Elena V. Anufrieva
(Scientific Editor)**

Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Deputy Director for Research, A.B. Blokhin Ural Institute of Health Care Management; Chief Freelance Specialist in Medical Care in Educational Institutions of the Russian Ministry of Health in the Ural Federal District, Yekaterinburg, Russian Federation

**Alexey M. Bolshakov
Nina V. Zaitseva**

Dr. Sci. (Med.), Professor, Moscow, Russian Federation

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 Natural Sciences; Director of the Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

Olga E. Trotsenko

Dr. Sci. (Med.), Director of the Khabarovsk Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Khabarovsk, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

Vladimir A. Aleshkin

Dr. Sci. (Biol.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; Scientific Director of Gabrichesky Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, Russian Federation

Alexander V. Alekhnovich

Dr. Sci. (Med.), Professor; Deputy Head for Research and Scientific Work, Vishnevsky Third Central Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

Sergey A. Balakhnov

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; 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 Geoecology 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-Neshevra

Dr. Sci. (Sociol.), Assoc. Prof.; Head of the Laboratory of Social Risk Analysis Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russian Federation

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

FOREIGN EDITORIAL COUNCIL

Meiram K. Amrin	Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof.; Head of the Department of Medical Programs, Branch Office of RSE "Infrakos" of the Aerospace Committee, Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, in Almaty, Almaty, Republic of Kazakhstan
Ksenia Bazhdarich	PhD, Senior Researcher, Medical Informatics Department, Faculty of Medicine, University of Rijeka, Rijeka, Croatia
Askhat T. Doshmukhametov	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, Belarus
Jon Øyvind Odland	MD, PhD, Professor of Global Health, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway; Chair of AMAP Human Health Assessment Group, Tromsø University, Tromsø, Norway
Helmut Hahn	MD, PhD, Professor, President of the R. Koch Medical Society, Berlin, Germany
Feng-Min Zhang	Dr. Sci. (Med.), Chairman of the Department of Microbiology, Director of the China-Russia Institute of Infection and Immunology, Harbin Medical University; Vice President of Heilongjiang Academy of Medical Sciences, Harbin, China

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya – ZNISO
Public Health and Life Environment – PH&LE
Russian monthly peer-reviewed scientific and practical journal

Volume 30, Issue 5, 2022

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

Address of the editorial office:
 19A Varshavskoe Shosse, Moscow,
 117105, Russian Federation
 FBHI Federal Center for Hygiene and Epidemiology
 E-mail: zniso@fcgie.ru
Website: <https://zniso.fcgie.ru/>
 Tel.: +7 495 633-1817 Ext. 240
 Fax: +7 495 954-0310

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

The journal is distributed by subscription.
 "Ural-Press" Agency Catalog
 subscription
 index – 40682
 Articles are available at <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: May 31, 2022
 Publication format: 60x84/8
 Printed sheets: 11.75
 Planned circulation: 1,000 copies
 Publication frequency: 12 issues per year
 Free price

Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.
 2022;30(5):7–94.
 Articles are assigned digital object identifiers (DOI numbers).
 DOI prefix: 10.35627

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

КОММУНАЛЬНАЯ ГИГИЕНА

Моргунов Б.А., Чашин В.П., Гудков А.Б., Чашин М.В., Попова О.Н., Никанов А.Н., Томассен Ю. Факторы риска нарушений здоровья от транспортных выбросов двигателей внутреннего сгорания: современное состояние проблемы	7
Копытенкова О.И., Ганичев П.А., Маркова О.Л. К вопросу о контроле атмосферного воздуха при использовании технологии сжигания осадков сточных вод. Краткий обзор	15
Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Крутикова Н.Н. Оценка риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе	23
Сладкова Ю.Н., Крийт В.Е., Волчкова О.В., Скляр Д.Н., Плеханов В.П. Освещение жилых и общественных зданий: основные проблемы и совершенствование методов контроля	32
ГИГИЕНА ПИТАНИЯ	
Федоров В.Н., Кизеев А.Н., Новикова Ю.А., Тихонова Н.А., Ковшов А.А. Оценка воздействия на здоровье населения Мурманской области тяжелых металлов, содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков	41
МЕДИЦИНА ТРУДА	
Малькова Н.Ю., Петрова М.Д. Результаты внедрения лечебно-профилактических мероприятий в некоторых профессиях судостроительной промышленности	51
ГИГИЕНА ТРУДА	
Сюрин С.А. Особенности развития вибрационной болезни у работников предприятий в российской Арктике	57
Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Мельнов С.Б., Рейнюк В.Л., Пятибрат А.О. Результаты исследований генотоксических эффектов диоксинов в зависимости от полиморфизмов генов детоксикации ксенобиотиков и стажа работы пожарных	65
Кизеев А.Н., Сюрин С.А. Общая и профессиональная патология при производстве чернового никеля и меди	76
Глушкова А.В., Карелин А.О., Еремин Г.Б. Гигиеническая оценка средств индивидуальной защиты работников от воздействия технических наночастиц (систематический обзор)	86
ЮБИЛЕИ	
К 70-летию со дня рождения Савельева Станислава Ивановича	94

COMMUNAL HYGIENE

Morgunov B.A., Chashchin V.P., Gudkov A.B., Chashchin M.V., Popova O.N., Nikanov A.N., Thomassen Y. Health risk factors of emissions from internal combustion engine vehicles: An up-to-date status of the problem	7
Kopytenkova O.I., Ganichev P.A., Markova O.L. On the issue of air emissions control for sewage sludge incinerators: A short review	15
Isaev D.S., Mozzhukhina N.A., Yeremin G.B., Krutikova N.N. Health risk assessment in towns based on background long-term concentrations of ambient air pollutants	23
Sladkova Yu.N., Kriyt V.E., Volchkova O.V., Sklyar D.N., Plekhanov V.P. Lighting in residential and public buildings: Major challenges and improvement of control methods	32
FOOD HYGIENE	
Fedorov V.N., Kizeev A.N., Novikova Yu.A., Tikhonova N.A., Kovshov A.A. Assessment of health impact of heavy metals contained in wild berries of shrubs for the population of the Murmansk Region	41
OCCUPATIONAL MEDICINE	
Mal'kova N.Yu., Petrova M.D. Results of implementing preventive health measures for workers of certain occupations in the shipbuilding industry	51
OCCUPATIONAL HEALTH	
Syurin S.A. Trends in vibration disease rates among industrial workers in the Russian Arctic	57
Kriyt V.E., Sladkova Y.N., Melnov S.B., Reiniuk V.L., Pyatibrat A.O. Results of studying genotoxic effects of dioxins depending on polymorphisms of xenobiotic detoxification genes and the length of service of firefighters	65
Kizeev A.N., Syurin S.A. General medical conditions and occupational diseases in workers engaged in crude nickel and copper production	76
Glushkova A.V., Karelina A.O., Yeremin G.B. Hygienic assessment of personal protective equipment for workers exposed to engineering nanoparticles: A systematic review	86
ANNIVERSARIES	
To the 70 th Anniversary of Prof. Stanislav I. Savelyev	94



Check for updates

Health Risk Factors of Emissions from Internal Combustion Engine Vehicles: An Up-to-Date Status of the Problem

Boris A. Morgunov,¹ Valerii P. Chashchin,^{1,2,4} Andrei B. Gudkov,³ Maxim V. Chashchin,^{1,4} Olga N. Popova,³ Aleksandr N. Nikanov,² Yngvar Thomassen^{1,5}

¹Institute of Ecology, Higher School of Economics,
11 Pokrovsky Boulevard, Moscow, 101000, Russian Federation

²North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street,
Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

³Northern State Medical University, 51 Troitsky Avenue, Arkhangelsk, 163061, Russian Federation

⁴I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, 41 Kirochnaya Street,
Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

⁵National Institute of Occupational Health (STAMI), Pb 5330 Majorstuen, 0304, Oslo, Norway

Summary

Introduction: Motor transport with internal combustion engines powered by diesel fuel and gasoline is one of the main sources of ambient air pollution since its emissions pose an urgent medical and environmental challenge.

The objective of the study was to identify priority types of pollutants from emissions of motor vehicles powered by internal combustion engines based on the results of a systematic review in order to substantiate the main preventive strategy to mitigate the associated public health adverse effects.

Methods: We did keyword search for relevant publications in several electronic databases, such as the Russian Science Citation Index, CyberLeninka, Scopus, and WoS. Research papers published in 2000–2021 were selected for the analysis. Out of 103 topical full-text publications, 59 works met the criteria for inclusion in the systematic review.

Results: We observed that atmospheric emissions of internal combustion engines represent a complex agglomeration of gases, vapors, and particulate matter. The chemicals present in the emissions impair the oxygen transport function by inhibiting cellular respiration, cause irritation of mucous membranes, have mutagenic and carcinogenic effects, contribute to the occurrence of acid rains and to global warming. The biological effect of airborne particles largely depends on their size. It has been established that an increase in the number of airborne particles with an aerodynamic diameter less than 10 μm is associated with the risk of endothelial inflammation, thrombosis, increased cell permeability, and DNA methylation. It has been also demonstrated that a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increment in ambient concentrations of fine particles ($< 2.5 \mu\text{m}$) causes a 7 % increase in the mortality rate. At the same time, $\text{PM}_{2.5}$ exposure-related risks of excess deaths from cardiovascular diseases are twice as high as those posed by exposure to PM_{10} .

Conclusions: Diesel and gasoline engine exhausts are a significant risk factor for human health. An effective preventive strategy should be aimed at replacing heavy hydrocarbon motor fuels by compressed gas using hydrogen cells and electric motors.

Keywords: road transport, internal combustion engine exhausts, air pollution, health risk.

For citation: Morgunov BA, Chashchin VP, Gudkov AB, Chashchin MV, Popova ON, Nikanov AN, Thomassen Y. Health risk factors of emissions from internal combustion engine vehicles: An up-to-date status of the problem. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):7-14. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-7-14>

Author information:

Boris A. **Morgunov**, Dr. Sci. (Geog.), Director, Institute of Ecology, Higher School of Economics; e-mail: bmorgunov@hse.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1687-2244>.

✉ Valerii P. **Chashchin**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Institute of Ecology, Higher School of Economics; Chief Researcher, North-West Public Health Research Center; Professor, Department of Preventive Medicine, I.I. Mechnikov North-Western State Medical University; e-mail: valerych05@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2600-0522>.

Andrei B. **Gudkov**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Human Ecology, Northern State Medical University, Arkhangelsk; e-mail: gudkovab@nsmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>.

Maxim V. **Chashchin**, Dr. Sci. (Med.), Senior Research Fellow, Institute of Ecology, Higher School of Economics; Head of the Research Laboratory of Arctic Medicine, I.I. Mechnikov North-Western State Medical University; e-mail: max.chashchin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>.

Olga N. **Popova**, Dr. Sci. (Tech.), Dr. Sci. (Med.); Professor, Department of Human Ecology, Northern State Medical University; e-mail: popova_nsmu@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>.

Aleksandr N. **Nikanov**, Cand. Sci. (Med.), Head of Occupational Disease Clinic, North-West Public Health Research Center; e-mail: a.nikanov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3335-4721>.

Yngvar **Thomassen**, PhD (Chem.), Senior Adviser, Department of Chemical and Biological Work Environment, National Institute of Occupational Health (STAMI); e-mail: yngvar.thomassen@stami.no; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7334-6385>.

Author contributions: study conception and design: *Morgunov B.A.*; data collection: *Thomassen Y., Chashchin M.V., and Nikanov A.N.*; data systematization: *Thomassen Y., Chashchin M.V., and Nikanov A.N.*; data summarization and analysis: *Chashchin V.P., Gudkov A.B., and Popova O.N.*; manuscript preparation: *Thomassen Y., Chashchin M.V., and Nikanov A.N.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this systematic review.

Funding: The article was prepared within the framework of a research grant funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Grant ID: 075-15-2020-978).

Conflict of interest: The co-authors of the article Yngvar Thomassen and Valerii P. Chashchin are members of the Editorial Council of the journal *Public Health and Life Environment*; other authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 15, 2022 / Accepted: April 4, 2022 / Published: May 31, 2022

Факторы риска нарушений здоровья от транспортных выбросов двигателей внутреннего сгорания: современное состояние проблемы

Б.А. Моргунов¹, В.П. Чащин^{1,2,4}, А.Б. Гудков³, М.В. Чащин^{1,4},
О.Н. Попова³, А.Н. Никанов², Ю. Томассен⁵

¹Институт экологии НИУ ВШЭ, Покровский бульвар, д. 11, стр. 2-Е, г. Москва, 101000, Российской Федерации

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

³ ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России, Троицкий пр., д. 51, г. Архангельск, 163061, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, ул. Кирочная, д. 41, г. Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация

⁵ Национальный институт гигиены труда, Pb 5330 Majorstuen, 0304 Осло, Норвегия

Резюме

Введение. Автомобильный транспорт с дизельными и бензиновыми двигателями внутреннего сгорания (ДВС), выбросы которых представляют актуальную медико-экологическую проблему, является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха.

Целью исследования является выявление по результатам систематического обзора приоритетных видов загрязняющих веществ в выбросах автотранспорта с двигателями внутреннего сгорания с целью определения общей стратегии по снижению связанных с ними неблагоприятных последствий для здоровья населения.

Методы. Поиск релевантных публикаций осуществлялся по ключевым словам, размещенным в базах данных и информационных системах, в том числе таких электронных базах данных, как РИНЦ, КиберЛенинка, Scopus, WoS. Для анализа были выбраны научные работы, опубликованные за период 2000–2021 гг. По результатам целевого поиска выявлено 103 полнотекстовые публикации, из них 59 полностью соответствуют критериям включения в систематический обзор.

Результаты. Показано, что выбросы ДВС в атмосферу представляют собой сложную агломерацию газов, паров и взвешенных частиц. Химические вещества, присутствующие в выбросах, нарушают кислородтранспортную функцию, подавляя тканевое дыхание, вызывают раздражение слизистых оболочек, проявляют мутагенное и канцерогенное действие, способствуют возникновению кислотных дождей и глобальному потеплению. Биологическое действие взвешенных в воздухе частиц во многом зависит от их размера. Установлено, что увеличение количества частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм в воздухе связано с риском воспаления эндотелия, тромбоза, повышения проницаемости клеток, метилирования ДНК. Показано, что увеличение концентрации в воздухе частиц размером менее 2,5 мкм на каждые 5 мкг/м³ приводит к увеличению смертности на 7 %. При этом риски дополнительных случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний при воздействии этих частиц в 2 раза выше по сравнению с частицами большего размера (PM₁₀).

Заключение. Выбросы автомобилей с дизельными и бензиновыми двигателями внутреннего сгорания являются значительным фактором риска для здоровья населения. Эффективная стратегия предотвращения их неблагоприятного воздействия должна быть направлена на замену тяжелых углеводородных моторных топлив сжатым газом с использованием водородных элементов и электродвигателей для транспортных средств.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, выбросы двигателей внутреннего сгорания, загрязнение воздуха, риск для здоровья.

Для цитирования: Моргунов Б.А., Чашин В.П., Гудков А.Б., Чашин М.В., Попова О.Н., Никанов А.Н., Томассен Ю. Факторы риска нарушений здоровья от транспортных выбросов двигателей внутреннего сгорания: современное состояние проблемы // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 7–14. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-7-14>

Сведения об авторах:

Моргунов Борис Алексеевич – д.г.н., директор Института экологии НИУ ВШЭ; e-mail: bmorgunov@hse.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1687-2244>.

Чашин Валерий Петрович – д.м.н., профессор Института экологии НИУ ВШЭ; главный научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; профессор кафедры профилактической медицины ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: valerych05@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2600-0522>.

Гудков Андрей Борисович – д.м.н., профессор, зав. кафедрой экологии человека ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: gudkovab@nsmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>.

Чашин Максим Валерьевич – д.м.н., старший научный сотрудник Института экологии НИУ ВШЭ; заведующий НИЛ арктической медицины ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: max.chashchin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>.

Попова Ольга Николаевна – д.т.н., д.м.н., профессор кафедры экологии человека ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: popova_nsmu@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>.

Никанов Александр Николаевич – к.м.н., руководитель клиники профессиональных заболеваний ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: a.nikanov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3335-4721>.

Томассен Ингвар – к.х.н., старший советник отдела химической и биологической рабочей среды, Национальный институт гигиены труда; e-mail: yngvar.thomassen@stami.no; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7334-6385>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн обзорно-аналитического исследования: Моргунов Б.А.; сбор данных литературы: Томассен И., Чашин М.В., Никанов А.Н.; систематизация данных литературы: Томассен И., Чашин М.В., Никанов А.Н.; анализ и обобщение данных литературы: Чашин В.П., Гудков А.Б. и Попова О.Н.; подготовка рукописи: Томассен И., Чашин М.В., Никанов А.Н. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: для данного систематического обзора не требуется одобрение этического комитета.

Финансирование: статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках исследовательского гранта (ID гранта: 075-15-2020-978).

Конфликт интересов: соавторы статьи Томассен И., Чашин В.П., являются членами редакционного совета научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 15.03.22 / Принята к публикации: 04.04.22 / Опубликована: 31.05.22

The use of mineral fuel in internal combustion engines (ICE) of motor vehicles is the largest source of air pollution [1–3], which is a major public health concern worldwide [4–8]. Emissions from road transport account for at least 60 % of the total air pollution in the United States, Germany and France. Annual combustion of 31.2 billion tons of motor fuel in 106 billion tons of atmospheric oxygen generates 137.2 billion tons of additional waste [9]. Cars and trucks contribute major percent to road transport exhaust [10].

Exhaust fumes contain from 200 to 300 pollutants and their compounds [11, 12]. At the same time, the

term “exhaust fumes” cannot be considered completely correct, since engine emissions include both gases (gas phase) and fine particulate matter (particulate phase).

The objective of the study was to identify, based on the results of a systematic review, priority types of pollutants from emissions of motor vehicles powered by internal combustion engines in order to substantiate the main preventive strategy to mitigate the associated public health adverse effects

Methods. We searched for publications on emissions from internal combustion engine vehicles in several electronic databases, such as the Russian Science Citation Index, CyberLeninka, Scopus, and WoS using

the following keywords and phrases: "road transport", "internal combustion engines", "air pollution", and "health risks".

The main criteria for including the results of published works into the systematic analysis were:

- a detailed description of research objects and methods, a quantitative assessment of exposure to the key components of hazardous emissions of internal combustion engine vehicles;

- compliance of the study design and findings to our research objective, and

- statistical significance of values showing the intensity of exposure to certain ICE exhaust pollutants and distribution of related harmful effects.

Research papers published in 2000–2021 were selected for the analysis, and 59 of 103 topical full-text publications met the criteria of inclusion in the systematic review.

Results. Emissions produced by internal combustion engines powered by hydrocarbon fuels, such as gasoline,

diesel, and fuel oil, are a complex mixture of gas-, vapor-, and fine particulate-phase materials. Their major pollutants include carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons, fine, ultrafine and nano-sized carbonaceous particulate matter (PM), hydrofluorocarbon-134a (HFC-134a), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), ozone (O_3), and other chemicals classified as "hazardous air pollutants" [13, 14].

To date, characteristics of the major types of airborne contaminants coming from internal combustion engines utilizing fuels produced from heavy hydrocarbon raw materials, products of their transformation in atmospheric air, and types of exposure-related adverse human health effects have been established (see Table).

Judging by the results of recent national and international research, special attention is paid to aerosol particulate matter (PM) when analyzing ICE emissions [15, 16]. This is due to the fact that numerous

Table. Components of internal combustion engine emissions and their potential adverse human health effects

Таблица. Эмиссионные компоненты двигателей внутреннего сгорания и их возможные вредные эффекты на организм человека

Exhaust pollutants / Эмиссионные компоненты	Products of their transformation in the atmosphere / Продукты их превращения в атмосфере	Adverse human health effects / Вредное воздействие на организм человека
<i>Gaseous phase / Газовая фаза</i>		
Carbon monoxide / Монооксид углерода, CO	—	Highly toxic to humans: blocks oxygen saturation of hemoglobin, thus preventing its transport; affects cytochrome oxidase, thus impeding tissue respiration; as part of Haldane effect, hampers oxygen release by hemoglobin in tissues / Сильно токсичен для человека: блокирует насыщение гемоглобина кислородом, препятствуя его переносу; воздействует на цитохромоксидазу, затрудняя тканевое дыхание; в рамках феномена Холдена нарушает отдачу кислорода гемоглобином в тканях
Nitrogen oxides / Оксиды азота, NO_x	Nitric acid, ozone / Азотная кислота, озон	Nitrogen dioxide is an airway irritant and a major precursor to ozone. Nitric acid contributes to acidification of air and precipitation (acid rains) / Диоксид азота является раздражителем дыхательных путей и основным предшественником озона. Азотная кислота способствует закислению атмосферных осадков (кислотные дожди)
Sulfur dioxide / Диоксид серы, SO_2	Sulfuric acid / Серная кислота	Sulfur dioxide is an airway irritant. Sulfur acid contributes to acidification of air and precipitation (acid rains) / Диоксид серы является раздражителем дыхательных путей. Серная кислота способствует закислению атмосферных осадков (кислотные дожди)
Carbon dioxide / Углекислый газ	—	Major factor of global warming / Главный фактор глобального потепления
Saturated hydrocarbons (alkanes, $< \text{C}19$) / Насыщенные углеводороды (алканы, $< \text{C}19$)	Aldehydes, alkyl nitrates, ketones / Альдегиды, алкилнитраты, кетоны	Respiratory tract irritation; reaction products are ozone precursors (in the presence of NO_x) / Раздражение дыхательных путей. Продукты реакции – предшественники озона (в присутствии NO_x)
Unsaturated hydrocarbons (Alkenes, $< \text{C}5$) / Ненасыщенные углеводороды (Алкены, $< \text{C}5$)	Aldehydes, ketones / Альдегиды, кетоны	Respiratory tract irritation; some alkenes are mutagenic and carcinogenic; reaction products are ozone precursors (in the presence of NO_x) / Раздражение дыхательных путей. Некоторые алкены обладают мутагенными и канцерогенными свойствами. Продукты реакции – предшественники озона (в присутствии NO_x)
Formaldehyde / Формальдегид	Carbon monoxide, hydroperoxyl radicals / Окись углерода, гидропероксильные радикалы	Formaldehyde is a probable human carcinogen and ozone precursor (in the presence of NO_x) / Формальдегид является вероятным канцерогеном для человека и предшественником озона (в присутствии NO_x)
Higher aldehydes (e.g. acrolein) / Высшие альдегиды (напр., акролеин)	Peroxyacetyl nitrates / Пероксиацилнитраты	Respiratory tract and eye irritation; impairs immunity / Раздражение дыхательных путей и глаз; снижение иммунитета
Monocyclic aromatic compounds (e.g. benzene, toluene) / Моноциклические аромати- ческие соединения (напр., бензол, толуол)	Hydroxylated nitro derivatives / Гидроксилированные нитропроизводные	Benzene is toxic and carcinogenic to humans; some reaction products are mutagenic for bacteria (Ames test) / Бензол токсичен и канцероген для человека. Некоторые продукты реакции являются мутагенными для бактерий (анализ Эймса)

Exhaust pollutants / Эмиссионные компоненты	Products of their transformation in the atmosphere / Продукты их превращения в атмосфере	Adverse human health effects / Вредное воздействие на организм человека
PAHs (< 5 rings) e.g. phenanthrene, fluoranthene) / ПАУ (< 5 колец) (например, фенантрен, фторантен)	Nitro-PAHs (< 5 rings) / Нитро-ПАУ (< 5 колец)	Some of these PAHs and nitro-PAHs are mutagenic and carcinogenic to humans / Некоторые из этих ПАУ и нитро-ПАУ являются доказанными мутагенами и канцерогенами
Nitro-PAHs (2 and 3 rings) (e.g. nitronaphthalene) / Нитро-ПАУ (2 и 3 кольца) (напр., нитронафталины)	Quinones and hydroxylated nitro- derivatives / Хиноны и гидроксилированные нитропроизводные	Some reaction products are mutagenic (Ames test) / Некоторые продукты реакции обладают мутагенными свойства- ми (анализ Эймса)
<i>Solid phase / Фаза твёрдых частиц</i>		
Elemental carbon / Элементарный углерод	—	Nuclei absorb organic compounds; the aerodynamic size of less than 1 micrometer allows deep penetration of particles into the lungs (alveoli), while the size of < 100 nm allows penetration through the walls of blood vessels directly into the blood flow / Ядра адсорбируют органические соединения; аэродинамиче- ский размер частиц менее 1 мкм позволяет проникать глубоко в легкие (альвеолы), а при размере менее 100 нм проникают через стенки сосудов непосредственно в кровоток
Magnetite / Магнетит	—	Plays a role in the development of Alzheimer's disease / Влияет на развитие болезни Альцгеймера
Inorganic sulfates / Неорганические сульфаты	—	Respiratory tract irritation / Раздражение дыхательных путей
Aliphatic hydrocarbons / Алифатические углеводоро- ды (C14–C35)	They are oxidized in the air as a result of photochemical reactions in the presence of nitrogen dioxide, forming toxic oxygen- containing compounds; possibly aldehydes, ketones and alkyl nitrates. They are the components contributing to smog / Окисляются в воздухе в результате фотохимических реакций в присутст- вии двуокиси азота, образуя ядовитые кислородсодержащие соединения; возможно, альдегиды, кетоны и алкилнитраты. Являются одним из компонентов, участвующим в образо- вании смога	Narcotic, possible mutagenic effects. General toxic effects are not well understood / Наркотическое действие, возможно мутагенное действие. Общетоксические эффекты изучены недостаточно
PAHs (≥ 4 rings; e.g. pyrene, benzo(a)pyrene) / ПАУ (4 кольца и более; например, пирен, бенз(а) пирен)	Nitro-PAHs (≥ 4 rings), nitro-PAH lactones / Нитро-ПАУ (4 кольца и более), нитро-ПАУ-лактоны	Larger PAHs are major causes of carcinogenic effect of combustion products. Many nitro-PAHs are strong mutagens and carcinogens / Более крупные ПАУ являются основными источниками канцерогенного эффекта в выбросах при сжигании. Многие нитро-ПАУ являются сильнодействующими мутагенами и канцерогенами
Nitro-PAHs (≥ 3 rings; e.g. nitropurenes) / Нитро-ПАУ (3 кольца и бо- лее; например нитропирены)	Hydroxylated nitro derivatives / Гидроксилированные нитропроиз- водные	Many nitro-PAHs are strong mutagens and carcinogens / Многие нитро-ПАУ являются сильнодействующими мутагена- ми и канцерогенами

Abbreviation: PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons.

Аббревиатура: ПАУ, полициклические ароматические углеводороды.

studies have proven a negative impact of fine particle on human health, including the incidence [17–20] and mortality [21, 22] from diseases of cardiovascular and respiratory systems. Contained fine particles include nickel, vanadium, sulfates, nitrates, and silicon compounds [23]. The proportion of nickel in particulate matter is a marker of air pollution with ICE vehicle emissions [24]. Fine PM consists of various airborne objects, such as dust, dirt, soot, smoke, and liquid droplets [25, 26].

It has been demonstrated that human health effects of fine particles are largely determined by their aerodynamic diameter: particles smaller than 10 micrometers (PM_{10}) are able to pass through the bronchial tree and accumulate in the lung tissue; particles smaller than 2.5 μm ($PM_{2.5}$) reach the alveoli, and those smaller than 0.1 μm ($PM_{0.1}$) penetrate the blood flow [27–30].

Suspended particles smaller than 10 μm (PM_{10}) have no safe exposure threshold and are considered priority pollutants in terms of public health impact [31]. The proportion of such particles in ambient air

of industrial cities ranges from 30 % to 60 % of TSP [32–36] and is mainly attributed to motor vehicle exhausts, tire and road surface wear, contribution of which to emissions ranges from 30 % to 40 % [37]. Transport-related $PM_{2.5}$ was found to induce more pronounced systemic inflammation than industrial particles of similar composition [38]. Diesel exhaust is the major source of PM_{10} and $PM_{2.5}$ [39]. Up to 90 % of solid particles emitted by internal combustion engines powered by hydrocarbon fuels are fine particles ($PM_{2.5}$). They are usually used as the most informative marker of transport-related air pollution intensity produced by internal combustion engines, including for assessing the benefits of using various types of motor fuel, for example, liquefied natural gas compared to diesel or gasoline as regards their potential adverse effects on public health [40].

The analysis of big data arrays, cohort studies and meta-analysis has shown correlations between PM_{10} air pollution and stroke hospitalizations [41–43] as well as $PM_{2.5}$ air levels and the risk of stroke [44] and deaths from ischemic and hemorrhagic stroke

[45]. It has also revealed that nanoparticles are able to penetrate alveoli [46] and cause inflammation in cellular endothelium [47], which induces increased cell permeability [48] and DNA methylation [49]; arterial fibrillation [50] and autonomous disturbances [8] are observed, leading to higher mortality rates in the population. Thus, every 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of increment of ambient $\text{PM}_{2.5}$ level accounts for a 7 % increase in the mortality rate [51]. At the same time, the risks of additional deaths from cardiovascular diseases related to $\text{PM}_{2.5}$ exposure are twice as high as those associated with PM_{10} [28].

It is assumed that ultrafine fractions of carbonaceous particulate matter pose the most serious health challenge compared to other ICE pollutants [52–55]. Human exposure to the latter usually occurs in the form of a three-phase system: “gas – liquid – particulate matter”, where liquid and partially gaseous phases are absorbed by solid carbon particles, resulting in the phenomenon of deep penetration of liquid and gaseous pollutants to alveoli, the most vulnerable part of the respiratory system [56–58]. It should be noted that ICE pollutants, when not carried in the absorbed form by carbon ultrafine particles, are almost completely absorbed in the upper respiratory tract.

Fine and nano-sized fractions of carbon particles are capable of agglomeration and agglutination, which significantly increases their sorption potential (Figure).

Due to certain biological inertness, elemental carbon particles that have reached the alveoli are capable of accumulation in pulmonary tissue, thus increasing the risk of diseases in the etiology of which carbon black plays an important role as age and duration of employment increase.

Thus, both gaseous and especially particulate phases of emissions from internal combustion engine vehicles are significant public health risk factors.

Conclusions. Gaseous and aerosol air pollution attributed to motor vehicles with internal combustion engines is one of the most important risk factors for non-communicable diseases in the population. The gaseous phase of exhaust fumes mainly affects the respiratory system causing mucous membrane irritation and gas exchange disturbances. Certain gaseous emission components have potential or proven

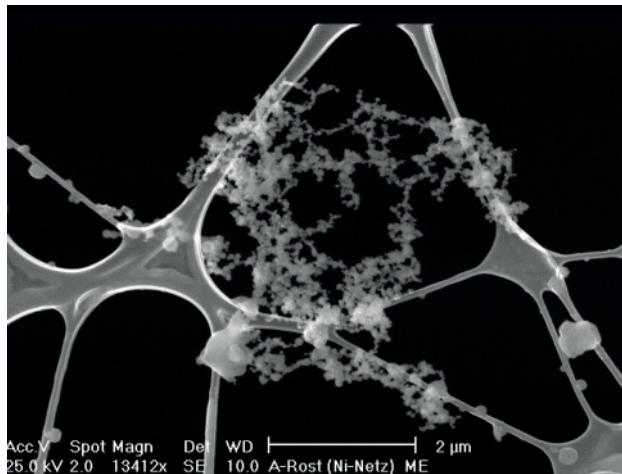


Figure. Agglomeration of airborne carbon and silicon nanoparticles in the vicinity of open-pit mines in Kola Peninsula [59]

Рисунок. Агломерационный комплекс витающих в воздухе наночастиц углерода и кремния в районе размещения открытых карьеров горнодобывающих предприятий Кольского региона [59]

mutagenic and carcinogenic properties and suppress immunity. In addition, gas-phase components of vehicle emissions contribute to acid rains and global warming. Health effects of particulate matter emitted by internal combustion engines are determined by the aerodynamic diameter of particles that can accumulate in pulmonary tissue (PM_{10}), reach the alveoli ($\text{PM}_{2.5}$), and penetrate into the blood flow ($\text{PM}_{0.1}$). Airborne particles affect not only lungs, but also the cardiovascular system and increase risks of death from ischemic and hemorrhagic strokes.

References

1. Mongush A, Mongush SCh. Impact of vehicle for the environment. *Tekhnika i Tekhnologiya Transporta*. 2021;(4(23)):24. (In Russ.) Accessed May 16, 2022. <http://transport-kgasu.ru/files/N23-24ET421.pdf>
2. Musikhina SA, Stepanova VG, Musikhina EA. Sanitary and hygienic characteristics of the ambient air of major roads in an industrial city. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;(1(334)):49-53. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-49-53
3. Akulov KA, Voevodin ES. Motorization and its impact on the ecology of the Krasnoyarsk Territory. *Tekhnika i Tekhnologiya Transporta*. 2021;(2(21)):24. (In Russ.) Accessed May 16, 2022. <http://transport-kgasu.ru/files/N21-24IT221.pdf>
4. Rakitskii VN, Avaliani SL, Novikov SM, Shashina TA, Dodina NS, Kisiltsin VA. Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics. *Health Risk Analysis*. 2019;(4):30-35. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.03.eng
5. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;121(21):2331-2378. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181dbece1
6. Girod M, Reis J. Stroke and air pollution. A worldwide public health problem. *Health Risk Analysis*. 2020;(3):19-21. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.02.eng
7. Samarasekera U. New EU health programme comes into force. *Lancet*. 2021;397(10281):1252-1253. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00772-8
8. Gruber M, Mohr S, Baptiste L, et al. Air pollution and stroke. A new modifiable risk factor is in the air. *Rev Neurol (Paris)*. 2019;175(10):619-624. doi: 10.1016/j.neurol.2019.03.003
9. RSW. Transport as one of the main causes for environmental pollution. September 30, 2019. Accessed May 16, 2022. <https://rsw-systems.com/news/environmental-pollution>
10. Allen MR, Frame DJ, Huntingford C, et al. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature*. 2009;458(7242):1163-1166. doi: 10.1038/nature08019
11. Reif K, ed. *Dieselmotor-Management im Überblick: Einschließlich Abgastechnik*. 2nd ed. Springer Vieweg Wiesbaden; 2014. doi: 10.1007/978-3-658-06555-3
12. U.S. EPA. Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust (Final 2002). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC, EPA/600/R-90/057F, 2002. Accessed May 16, 2022. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=29060>
13. Wallington TJ, Sullivan JL, Hurley MD. Emissions of CO₂, CO, NO_x, HC, PM, HFC-134a, N₂O and CH₄ from the global light duty vehicle fleet. *Meteorol Z*. 2008;17(2):109-116. doi: 10.1127/0941-2948/2008/0275
14. Maryland Department of the Environment. Diesel emissions health and environmental effects. Accessed May 15, 2022. <https://mde.maryland.gov/programs/air/mobilesources/pages/dieselhealthandenvironmentaleffects.aspx>
15. Jiang S, Bo L, Gong C, et al. Traffic-related air pollution is associated with cardio-metabolic biomarkers in general residents. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89(6):911-921. doi: 10.1007/s00420-016-1129-3
16. Vil'k MF, Sachkova OS, Levanchuk LA, Latynin EO. Peculiarities in assessing occupational health risks

- for workers who are in contact with aerosols containing fine-dispersed dust particles. *Health Risk Analysis*. 2020; (4):107-112. doi: 10.21668/health.risk/2020.4.12.eng
17. Polichetti G, Cocco S, Spinali A, Trimarco V, Nunziata A. Effects of particulate matter (PM_{10} , $PM_{2.5}$ and $PM(1)$) on the cardiovascular system. *Toxicology*. 2009;261(1-2):1-8. doi: 10.1016/j.tox.2009.04.035
 18. Künzli N, Kaiser R, Medina S, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000;356(9232):795-801. doi: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2
 19. Wang W, Yu T, Ciren P, Jiang P. Assessment of human health impact from PM_{10} exposure in China based on satellite observations. *J Appl Remote Sens*. 2015;9(1):096027. doi: 10.1111/1.JRS.9.096027
 20. Kalaeva SZk, Chistyakov YV, Muratova KM, Chebotarev PV. Influencing fine-dispersed dust upon biosphere and human. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2016;(3):40-63. (In Russ.)
 21. Berico M, Luciani A, Formignani M. Atmospheric aerosol in an urban area – measurements of TSP and PM_{10} standards and pulmonary deposition assessments. *Atmos Environ*. 1997;31(21):3659-3665. doi: 10.1016/S1352-2310(97)00204-5
 22. Powe NA, Willis KG. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO_2 and $PM10$) absorption attributable to woodland in Britain. *J Environ Manage*. 2004;70(2):119-128. doi: 10.1016/j.jenvman.2003.11.003
 23. Health Effects of Particulate Matter. Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. World Health Organization; 2013. Accessed May 16, 2022 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
 24. Andronova AV, Iordanskii MA, Trefilova AV, et al. Comparative analysis of pollution of the surface atmospheric layer in such megalopolises as Moscow and Beijin. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011;47(7):819-827. doi: 10.1134/S0001433811070024
 25. Tchashin VP, Siurin SA, Gudkov AB, Popova ON, Voronin AYu. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2014;(9):20-26. (In Russ.)
 26. Strelyanova AB, Lavrentyeva LM, Lupinogin VV, Gvozdov IA. [Studies of PM_{10} and $PM_{2.5}$ air pollution in a residential area adjacent to industrial enterprises.] *Inzhenernyy Vestnik Doma*. 2017;(2(45)):164. (In Russ.) Accessed May 16, 2022. http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_164_Strelyanova_Lavrentyeva.pdf_079280bd44.pdf
 27. Revich BA. Fine suspended particulates in ambient air and their health effects in megalopolises. *Problemy Ekologicheskogo Monitoringu i Modelirovaniya Ekosistem*. 2018;29(3):53-78. (In Russ.) doi: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
 28. Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). U.S. Environmental Protection Agency. Accessed May 16, 2022. <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
 29. Chizhova VS. Assessment of influence of various factors on the intensity of the allocation of aerosol particles less than 10 micrometer on the street road network. *Vestnik Moskovskogo Avtomobil'no-Dorozhnogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta (MADI)*. 2014;(2(37)):106-110. (In Russ.)
 30. Yi O, Hong YC, Kim H. Seasonal effect of $PM(10)$ concentrations on mortality and morbidity in Seoul, Korea: a temperature-matched case-crossover analysis. *Environ Res*. 2010;110(1):89-95. doi: 10.1016/j.envres.2009.09.009
 31. Prosviryakova IA, Shevchuk LM. Hygienic assessment of PM_{10} and $PM_{2.5}$ contents in the atmosphere and population health risk in zones influenced by emissions from stationary sources located at industrial enterprises. *Health Risk Analysis*. 2018;(2):14-22. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.02.eng
 32. Lim JM, Lee JH, Moon JH, Chung YS, Kim KH. Airborne PM_{10} and metals from multifarious sources in an industrial complex area. *Atmos Res*. 2010;96(1):53-64. doi: 10.1016/j.atmosres.2009.11.013
 33. Zhang XX, Sharratt B, Chen X, et al. Dust deposition and ambient PM_{10} concentration in northwest China: spatial and temporal variability. *Atmos Chem Phys*. 2017;17(3):1699-1711. doi: 10.5194/acp-17-1699-2017
 34. Otopec S, Podbevsek N, Jereb B. PM_{10} risks in countries of European Union. *Vestnik SamGUPS*. 2014;3(25):9-17. (In Russ.)
 35. Soriano A, Pallarés S, Vicente AB, Sanfelix T, Jordán MM. Assessment of the main sources of PM_{10} in an industrialized area situated in a Mediterranean Basin. *Fresenius Environ Bull*. 2011;20(9):2379-2390.
 36. Bernardoni V, Vecchi R, Valli G, Piazzalunga A, Ferri P. PM_{10} source apportionment in Milan (Italy) using time-resolved data. *Sci Total Environ*. 2011;409(22):4788-4795. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.07.048
 37. Cozzi L, et al. *World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution*. Paris, France: International Energy Agency; 2016. Accessed May 16, 2022. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13467/1/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>
 38. Hennig F, Fuks K, Moebus S, et al. Association between source-specific particulate matter air pollution and hs-CRP: Local traffic and industrial emissions. *Environ Health Perspect*. 2014;122(7):703-710. doi: 10.1289/ehp.1307081
 39. Azarov VN, Gorshkova YeV, Nedre AYu, Vorobev VI. About methods to reduce emissions of particulate matters (PM_{10} and $PM_{2.5}$) empirically Netherlands. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i Arkhitektura*. 2011;(25(44)):407-410. (In Russ.)
 40. Teixeira ACR, Borges RR, Machado PG, Mouette D, Ribeiro FND. PM emissions from heavy-duty trucks and their impacts on human health. *Atmos Environ*. 2020;241:117814. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117814
 41. Kulick ER, Wellenius GA, Boehme AK, Sacco RL, Elkind MS. Residential proximity to major roadways and risk of incident ischemic stroke in NOMAS (The Northern Manhattan Study). *Stroke*. 2018;49(4):835-841. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.019580
 42. Ljungman PL, Mittleman MA. Ambient air pollution and stroke. *Stroke*. 2014;45(12):3734-3741. doi: 10.1161/STROKEAHA.114.003130
 43. Wang M, Beelen R, Stafoggia M, et al. Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: Results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. *Environ Int*. 2014;66:97-106. doi: 10.1016/j.envint.2014.01.026
 44. Schraufnagel DE. The health effects of ultrafine particles. *Exp Mol Med*. 2020;52(3):311-317. doi: 10.1038/s12276-020-0403-3
 45. Zhang R, Liu G, Jiang Y, et al. Acute effects of particulate air pollution on ischemic stroke and hemorrhagic stroke mortality. *Front Neurol*. 2018;9:827. doi: 10.3389/fneur.2018.00827
 46. Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, et al. Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. *J Toxicol Environ Health A*. 2002;65(20):1531-1543. doi: 10.1080/00984100290071658
 47. Aung HH, Lame MW, Gohil K, et al. Comparative gene responses to collected ambient particles in vitro: endothelial responses. *Physiol Genomics*. 2011;43(15):917-929. doi: 10.1152/physiolgenomics.00051.2011
 48. Chao MW, Kozlosky J, Po IP, et al. Diesel exhaust particle exposure causes redistribution of endothelial tube VE-cadherin. *Toxicology*. 2011;279(1-3):73-84. doi: 10.1016/j.tox.2010.09.011
 49. Fraineau S, Palii CG, Allan DS, Brand M. Epigenetic regulation of endothelial-cell-mediated vascular repair. *FEBS J*. 2015;282(9):1605-1629. doi: 10.1111/febs.13183
 50. Chung JW, Bang OY, Ahn K, et al. Air pollution is associated with ischemic stroke via cardiogenic embolism. *Stroke*. 2017;48(1):17-23. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.015428
 51. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*. 2014;383(9919):785-795. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3
 52. WHO Expert Meeting: *Methods and Tools for Assessing the Health Risks of Air Pollution at Local, National and International Level*, Bonn, Germany, May 12–13,

2014. World Health Organization; 2014. Accessed May 16, 2022. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local,-national-and-international-level.pdf
53. Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE Project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization; 2013. Accessed May 16, 2022. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf
54. Piskunov IV, Glagoleva OF, Golubeva IA. Alternative fuels for sustainable development of the transport sector. Part 2. Hydrogen fuel. *Transport na Alternativnom Topleve*. 2021;(5(83)):53-62. (In Russ.)
55. Kleyn SV, Popova EV. Hygienic assessment of ambient air quality in Chita, a priority area of the Federal Clean Air Project. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(12(333)):16-22. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
56. Tishchenko VP. *[Dispersed Systems and Pollution of the Atmosphere and Hydrosphere.]* Mayorova LP, ed. Khabarovsk: Pacific State University Publ.; 2017. (In Russ.)
57. Tsuda A, Henry FS, Butler JP. Particle transport and deposition: basic physics of particle kinetics. *Compr Physiol*. 2013;3(4):1437-1471. doi: 10.1002/cphy.c100085
58. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*. 2018;391(10119):462-512. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0
59. SINTEF Project. MineHealth – Sustainability of miners well-being, health and work Barents. February 4, 2013. Accessed May 16, 2022. <https://www.sintef.no/en/projects/2012/sustainability-of-miners-well-being-health-and-wor/>

Список литературы

1. Монгуш А., Монгуш С. Ч. Влияние транспортного средства на окружающую среду // Техника и технология транспорта. 2021. № 4 (23). Доступно по: <http://transport-kgasu.ru/files/N23-24ET421.pdf>. Ссылка активна на 17.11.2021.
2. Мусихина С.А., Степanova В.Г., Мусихина Е.А. Санитарно-гигиеническая характеристика атмосферного воздуха основных транспортных магистралей промышленного города. Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 1(334). С. 49–53. doi: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-49-53
3. Акулов К.А. Воеводин Е.С. Автомобилизация и ее воздействие на экологию Красноярского края // Техника и технология транспорта. 2021. № 2(21). Доступно по: <http://transport-kgasu.ru/files/N21-24IT221.pdf>. Ссылка активна на 16.05.2022.
4. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний // Анализ риска здоровью. 2019. № 4. С. 30–36. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.03
5. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;121(21):2331-2378. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181dbece1
6. Гироу М., Рейс Ж. Инсульт и загрязнение воздуха как общемировая проблема здравоохранения // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 19–22. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.02
7. Samarasekera U. New EU health programme comes into force. *Lancet*. 2021;397(10281):1252-1253. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00772-8
8. Gruber M, Mohr S, Baptiste L, et al. Air pollution and stroke. A new modifiable risk factor is in the air. *Rev Neurol (Paris)*. 2019;175(10):619-624. doi: 10.1016/j.neurol.2019.03.003
9. RSW. Transport as one of the main causes for environmental pollution. September 30, 2019. Accessed May 16, 2022. <https://rsw-systems.com/news/environmental-pollution>
10. Allen MR, Frame DJ, Huntingford C, et al. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillithion tonne. *Nature*. 2009;458(7242):1163-1166. doi: 10.1038/nature08019
11. Reif K, ed. *Dieselmotor-Management im Überblick: Einschließlich Abgastechnik*. 2nd ed. Springer Vieweg Wiesbaden; 2014. doi: 10.1007/978-3-658-06555-3
12. U.S. EPA. Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust (Final 2002). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC, EPA/600/R-90/057F, 2002. Accessed May 16, 2022. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=29060>
13. Wallington TJ, Sullivan JL, Hurley MD. Emissions of CO₂, CO, NO_x, HC, PM, HFC-134a, N₂O and CH₄ from the global light duty vehicle fleet. *Meteorol Z*. 2008;17(2):109-116. doi: 10.1127/0941-2948/2008/0275
14. Maryland Department of the Environment. Diesel emissions health and environmental effects. Accessed May 15, 2022. <https://mde.maryland.gov/programs/air/mobilesources/pages/dieselhealthandenvironmentaleffects.aspx>
15. Jiang S, Bo L, Gong C, et al. Traffic-related air pollution is associated with cardio-metabolic biomarkers in general residents. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89(6):911-921. doi: 10.1007/s00420-016-1129-3
16. Вильк М.Ф., Сачкова О.С., Леванчук Л.А., Латынин Е.О. Особенности оценки профессионального риска здоровью работников, контактирующих с аэрозолями мелкодисперсных пылевых частиц // Анализ риска здоровью. 2020. № 4. С. 106–112. doi: 10.21668/health.risk/2020.4.12
17. Polichetti G, Cocco S, Spinali A, Trimarco V, Nunziata A. Effects of particulate matter (PM₁₀), PM_{2.5} and PM(1) on the cardiovascular system. *Toxicology*. 2009;261(1-2):1-8. doi: 10.1016/j.tox.2009.04.035
18. Künzli N, Kaiser R, Medina S, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000;356(9232):795-801. doi: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2
19. Wang W, Yu T, Ciren P, Jiang P. Assessment of human health impact from PM₁₀ exposure in China based on satellite observations. *J Appl Remote Sens*. 2015;9(1):096027. doi: 10.1117/1.JRS.9.096027
20. Калаева С.З., Чистяков Я.В., Муратова К.М., Чеботарев П.В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 40–63.
21. Berico M, Luciani A, Formignani M. Atmospheric aerosol in an urban area – measurements of TSP and PM₁₀ standards and pulmonary deposition assessments. *Atmos Environ*. 1997;31(21):3659-3665. doi: 10.1016/S1352-2310(97)00204-5
22. Powe NA, Willis KG. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM10) absorption attributable to woodland in Britain. *J Environ Manage*. 2004;70(2):119-128. doi: 10.1016/j.jenvman.2003.11.003
23. Health Effects of Particulate Matter. Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. World Health Organization; 2013. Accessed May 16, 2022 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
24. Andronova AV, Iordanskii MA, Trefilova AV, et al. Comparative analysis of pollution of the surface atmospheric layer in such megalopolises as Moscow and Beijin. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011;47(7):819-827. doi: 10.1134/S0001433811070024
25. Чащин В.П., Сюрин С.А., Гудков А.Б., Попова О.Н., Воронин А.Ю. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.
26. Стреляева А.Б., Лаврентьева Л., Лупиногин В.В., Гвоздков И.А. Исследования запылённости в жилой зоне, расположенной вблизи промышленных предприятий частицами PM₁₀ и PM_{2.5} // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2(45). С. 164. http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_164_Strelyaeva_Lavrentyeva.pdf_079280bd44.pdf

27. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. 29. № 3. С. 53–78. doi: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
28. Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). U.S. Environmental Protection Agency. Accessed May 16, 2022. <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
29. Чижова В.С. Оценка влияния различных факторов на интенсивность выделения аэрозольных частиц менее 10 мкм на улично-дорожной сети // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2014. № 2 (37). С. 106–110.
30. Yi O, Hong YC, Kim H. Seasonal effect of PM(10) concentrations on mortality and morbidity in Seoul, Korea: a temperature-matched case-crossover analysis. *Environ Res.* 2010;110(1):89–95. doi: 10.1016/j.envres.2009.09.009
31. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 14–22. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.02
32. Lim JM, Lee JH, Moon JH, Chung YS, Kim KH. Airborne PM₁₀ and metals from multifarious sources in an industrial complex area. *Atmos Res.* 2010;96(1):53–64. doi: 10.1016/j.atmosres.2009.11.013
33. Zhang XX, Sharratt B, Chen X, et al. Dust deposition and ambient PM₁₀ concentration in northwest China: spatial and temporal variability. *Atmos Chem Phys.* 2017;17(3):1699–1711. doi: 10.5194/acp-17-1699-2017
34. Otorepec S, Podbevsek N, Jereb B. PM₁₀ risks in countries of European Union. *Vestnik SamGUPS.* 2014;3(25):9–17. (In Russ.)
35. Sorianó A, Pallarés S, Vicente AB, Sanfelix T, Jordán MM. Assessment of the main sources of PM₁₀ in an industrialized area situated in a Mediterranean Basin. *Fresenius Environ Bull.* 2011;20(9):2379–2390.
36. Bernardoni V, Vecchi R, Valli G, Piazzalunga A, Ferri P. PM₁₀ source apportionment in Milan (Italy) using time-resolved data. *Sci Total Environ.* 2011;409(22):4788–4795. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.07.048
37. Cozzi L, et al. *World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution*. Paris, France: International Energy Agency; 2016. Accessed May 16, 2022. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13467/1/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>
38. Hennig F, Fuks K, Moebus S, et al. Association between source-specific particulate matter air pollution and hs-CRP: Local traffic and industrial emissions. *Environ Health Perspect.* 2014;122(7):703–710. doi: 10.1289/ehp.1307081
39. Азаров В.Н., Горшков Е.В., Недре А.Ю., Воробьев В.И. О некоторых мерах по снижению выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (PM₁₀ и PM_{2,5}) на основе опыта Нидерландов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 25(44). С. 407–410.
40. Teixeira ACR, Borges RR, Machado PG, Mouette D, Ribeiro FND. PM emissions from heavy-duty trucks and their impacts on human health. *Atmos Environ.* 2020;241:117814. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117814
41. Kulick ER, Wellenius GA, Boehme AK, Sacco RL, Elkind MS. Residential proximity to major roadways and risk of incident ischemic stroke in NOMAS (The Northern Manhattan Study). *Stroke.* 2018;49(4):835–841. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.019580
42. Ljungman PL, Mittleman MA. Ambient air pollution and stroke. *Stroke.* 2014;45(12):3734–3741. doi: 10.1161/STROKEAHA.114.003130
43. Wang M, Beelen R, Stafoggia M, et al. Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: Results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. *Environ Int.* 2014;66:97–106. doi: 10.1016/j.envint.2014.01.026
44. Schraufnagel DE. The health effects of ultrafine particles. *Exp Mol Med.* 2020;52(3):311–317. doi: 10.1038/s12276-020-0403-3
45. Zhang R, Liu G, Jiang Y, et al. Acute effects of particulate air pollution on ischemic stroke and hemorrhagic stroke mortality. *Front Neurol.* 2018;9:827. doi: 10.3389/fneur.2018.00827
46. Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, et al. Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. *J Toxicol Environ Health A.* 2002;65(20):1531–1543. doi: 10.1080/00984100290071658
47. Aung HH, Lame MW, Gohil K, et al. Comparative gene responses to collected ambient particles in vitro: endothelial responses. *Physiol Genomics.* 2011;43(15):917–929. doi: 10.1152/physiolgenomics.00051.2011
48. Chao MW, Kozlosky J, Po IP, et al. Diesel exhaust particle exposure causes redistribution of endothelial tube VE-cadherin. *Toxicology.* 2011;279(1–3):73–84. doi: 10.1016/j.tox.2010.09.011
49. Fraineau S, Palii CG, Allan DS, Brand M. Epigenetic regulation of endothelial-cell-mediated vascular repair. *FEBS J.* 2015;282(9):1605–1629. doi: 10.1111/febs.13183
50. Chung JW, Bang OY, Ahn K, et al. Air pollution is associated with ischemic stroke via cardiogenic embolism. *Stroke.* 2017;48(1):17–23. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.015428
51. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet.* 2014;383(9919):785–795. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3
52. WHO Expert Meeting: *Methods and Tools for Assessing the Health Risks of Air Pollution at Local, National and International Level*. Bonn, Germany, May 12–13, 2014. World Health Organization; 2014. Accessed May 16, 2022. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local-national-and-international-level.pdf
53. Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE Project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization; 2013. Accessed May 16, 2022. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf
54. Пискунов И.В., Глаголева О.Ф., Голубева И.А. Альтернативные виды топлив для устойчивого развития транспортного сектора Часть 2. Водородное топливо // Транспорт на альтернативном топливе. 2021. № 5(83). С. 53–62.
55. Клейн С.В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы – приоритетной территории федерального проекта «Чистый воздух» // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 12(333). С. 16–22. doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
56. Тищенко В. П. Дисперсные системы и загрязнение атмосферы и гидросферы: [науч. ред. Л.П. Майорова]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. 204 с.
57. Tsuda A, Henry FS, Butler JP. Particle transport and deposition: basic physics of particle kinetics. *Compr Physiol.* 2013;3(4):1437–1471. doi: 10.1002/cphy.c100085
58. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet.* 2018;391(10119):462–512. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0
59. SINTEF Project. MineHealth – Sustainability of miners well-being, health and work Barents. February 4, 2013. Accessed May 16, 2022. <https://www.sintef.no/en/projects/2012/sustainability-of-miners-well-being-health-and-wor/>



К вопросу о контроле атмосферного воздуха при использовании технологии сжигания осадков сточных вод. Краткий обзор

О.И. Копытенкова^{1,2}, П.А. Ганичев¹, О.Л. Маркова¹

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

² ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения», Московский проспект, д. 9, Санкт-Петербург, 191031, Российская Федерация

Резюме

Введение. Ежегодно в Российской Федерации на муниципальных сооружениях по очистке сточных вод образуется более 100 млн м³ осадков сточных вод. Объем осадков зависит от технологической схемы очистки, а качественный состав – от состава сточных вод, эффективности работы очистных сооружений, от вида и характера промышленности. Осадки сточных вод содержат токсичные вещества (соли тяжелых металлов, токсичную органику и др.) и различные виды представителей микрофлоры, в том числе патогенные микроорганизмы. Это представляет опасность в санитарно-эпидемиологическом и экологическом отношении.

Цель исследования: обобщить и систематизировать сведения о методе сжигания осадков сточных вод в псевдоожженном слое, а также определить перечень специфических загрязняющих веществ в выбросах цехов сжигания осадков сточных вод, подлежащих контролю в атмосферном воздухе.

Материалы и методы. Использованы информационно-аналитические методы на основе обобщения и анализа современных научных исследований, опубликованных в реферативных базах данных Scopus, PubMed и РИНЦ за период 2001–2022 гг. Отбор статей осуществлялся по принципу наличия в них сведений об эффективных технологиях утилизации осадков сточных вод. В первоначальную выборку попало 40 статей, из них 10 статей были исключены из выборки после первичного анализа. В ходе выборки было отобрано 30 полнотекстовых материалов, удовлетворяющих вышеуказанным критериям.

Результаты. В ходе проведенного обобщения и систематизации результатов научных исследований выявлено, что сжигание на сегодня считается эффективным и универсальным методом снижения большого количества осадков сточных вод и получения энергии.

Заключение. По сравнению с другими способами термической обработки сжигание осадков сточных вод в настоящее время является перспективным с точки зрения оборудования и технологий. Однако необходимо больше уделять внимания механизму реакции горения, влиянию атмосферы на горение, оборудованию, температуре и другим факторам, влияющим на образование загрязняющих веществ, а также контролю выбросов из источника.

Ключевые слова: осадки сточных вод, технологии утилизации, сжигание осадков сточных вод, промышленные выбросы, обзор литературы.

Для цитирования: Копытенкова О.И., Ганичев П.А., Маркова О.Л. К вопросу о контроле атмосферного воздуха при использовании технологии сжигания осадков сточных вод. Краткий обзор // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 15–22. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-15-22>

Сведения об авторах:

Копытенкова Ольга Ивановна – д.м.н., главный научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; профессор кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения»; e-mail: 5726164@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8412-5457>.

Ганичев Павел Александрович – младший научный сотрудник отделения гигиены питьевого водоснабжения отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: ganichevpavel@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0954-8083>.

Маркова Ольга Леонидовна – к.б.н., старший научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: olleomar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-7950>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Копытенкова О.И., Маркова О.Л.; сбор данных: Ганичев П.А.; анализ и интерпретация результатов: Копытенкова О.И., Маркова О.Л., Ганичев П.А.; подготовка рукописи: Копытенкова О.И., Маркова О.Л., Ганичев П.А. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

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

Статья получена: 21.03.22 / Принята к публикации: 04.04.22 / Опубликована: 31.05.22

On the Issue of Air Emissions Control for Sewage Sludge Incinerators: A Short Review

Olga I. Kopytenkova,^{1,2} Pavel A. Ganichev,¹ Olga L. Markova¹

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

² St. Petersburg State Transport University, 9 Moscow Avenue, Saint Petersburg, 191031, Russian Federation

Summary

Introduction: More than 100 million cubic meters of sewage sludge are accumulated annually at municipal wastewater treatment facilities of the Russian Federation. Its quantity depends on sewage treatment techniques while its qualitative composition is determined by the components of wastewater, efficiency of treatment facilities, and local industries. Sewage sludge contains toxic substances (heavy metal salts, toxic organic matter, etc.) and various types of microorganisms including pathogenic bacteria, all posing hazards to human health and environment.

Objective: To summarize and systematize information about fluidized bed incineration of sewage sludge and to compile the list of pollutants emitted by incinerators and subject to control in ambient air.

Materials and methods: We used data analysis methods based on review and summarization of up-to-date research data found in Scopus, PubMed, and RSCI abstract and citation databases for 2021–2022. The article selection criterion included the presence of information about effective techniques of sewage sludge disposal. Having reviewed 40 articles, we selected 30 appropriate full-text publications on the topic.

Results: We established that incineration is considered to be an effective and universal contemporary method of reducing a large amount of sewage sludge and generating energy.

Conclusion: Compared to other techniques of thermal treatment, sewage sludge incineration is promising in terms of equipment and techniques. However, more attention shall be paid to the mechanism of incineration, equipment, temperature conditions, and other factors affecting generation of pollutants, as well as to control of air emissions from sewage sludge incinerators at wastewater treatment plants.

Keywords: sewage sludge, disposal techniques, sewage sludge incineration, industrial emissions, literature review.

For citation: Kopytenkova OI, Ganichev PA, Markova OL. On the issue of air emissions control for sewage sludge incinerators: A short review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):15–22. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-15-22>

Author information:

Olga I. Kopytenkova, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Department of Public Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: 5726164@mail.ru; Professor of the department “Technospheric and environmental safety” of the St. Petersburg State Transport University ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8412-5457>.

✉ Pavel A. Ganichev, Junior Researcher, Subdivision of Hygiene of Drinking Water Supply, Department of Public Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: ganichevpavel@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0954-8083>.

Olga L. Markova, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Department of Public Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: olleonmar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-7950>.

Author contributions: study conception and design: Kopytenkova O.I., Markova O.L.; data collection: Ganichev P.A.; analysis and interpretation of the results: Kopytenkova O.I., Markova O.L., Ganichev P.A.; draft manuscript preparation: Kopytenkova O.I., Markova O.L., Ganichev P.A. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this systematic review.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 21, 2022 / Accepted: April 21, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Вопросы обращения с накопленными отходами различных производств и жизнедеятельности человечества не теряют своей актуальности, а в последние десятилетия приобрели значимость глобальной экологической проблемы. К таким проблемам относятся осадки, образующиеся в ходе очистки сточных вод и представляющие основной вид отходов канализационных очистных сооружений. Ежегодно в Российской Федерации на муниципальных сооружениях по очистке сточных вод образуется более 100 млн м³ осадков при средней влажности 96 %. Объем осадков зависит от технологической схемы очистки, а качественный состав – от вида канализации, состава сточных вод, эффективности работы очистных сооружений, от вида и характера промышленности. Необходимо отметить, что осадки сточных вод содержат в своем составе токсичные вещества (соли тяжелых металлов, токсичную органику и др.) и различные представители микрофлоры, в том числе патогенные микроорганизмы. Таким образом, осадок городских очистных сооружений представляет опасным в санитарно-эпидемиологическом и экологическом отношении отходом, требующим специальной обработки с целью предотвращения загрязнения окружающей среды.

Цель исследования – обобщить и систематизировать сведения о методе сжигания осадков сточных вод в псевдоожженном слое, а также определить перечень специфических загрязняющих веществ в выбросах цехов сжигания осадков сточных вод, подлежащих контролю в атмосферном воздухе.

Материалы и методы. Использованы информационно-аналитические методы на основе обобщения и анализа современных научных исследований, опубликованных в реферативных базах данных Scopus, PubMed и РИНЦ за период 2001–2022 гг. Электронный поиск информации осуществлялся по принципу наличия в них сведений об эффективных технологиях утилизации осадков сточных вод с использованием комбинации предложенных заголовков и ключевых слов, таких как «осадки сточных вод», «технологии утилизации», «сжигание осадков сточных вод». Критерии включения в поиск были сформированы перед просмотром статей. Статьи считались подходящими для включения, если они были

опубликованы после 2000 года и были в первую очередь посвящены сжиганию осадков сточных вод. Статьи, которые включали простое упоминание или незначительное обсуждение методов сжигания осадков сточных вод, были исключены. В первоначальную выборку попало 40 статей, из них 10 статей были исключены из выборки после первичного анализа. В результате из 40 статей было отобрано 30 статей, в которых содержались данные об эффективных технологиях утилизации осадков сточных вод.

Результаты исследования. Современные мировые тенденции по обезвреживанию и утилизации осадков сточных вод (ОСВ) в основном направлены на снижение объемов размещаемых осадков в окружающей среде. Наибольшее распространение в практике получили экономически оправданные методы, к которым можно отнести складирование и захоронение, сжигание, пиролиз, анаэробное сбраживание, компостирование, а также использование в качестве удобрения или для рекультивации нарушенных земель [1, 2].

На сегодня наиболее эффективными и универсальными методами снижения большого количества осадков сточных вод и получения энергии являются термические способы утилизации ОСВ. Сжигание осадков сточных вод по сравнению с другими термическими способами в настоящее время является перспективным с точки зрения оборудования и технологий [3–6].

Существует несколько способов сжигания осадков илов сточных вод: высокотемпературное сжигание в многоподовых и циклонных печах, пиролиз, термокаталитическое и жидкофазное окисление (метод Циммермана), технологии с применением низкотемпературной плазмы – взрывные камеры для утилизации осадков, сжигание в псевдоожженном слое (ПОС) [7–10].

Для сжигания осадков сточных вод применяют главным образом печи с кипящим слоем, которые за последние 30–40 лет получили наибольшее распространение в мире. Их широко применяют в США, Германии, Франции, Японии и других странах [11–20].

В Российской Федерации в Санкт-Петербурге на данный момент функционирует только три завода по сжиганию осадков сточных вод в печах

с псевдоожженным слоем (Центральная станция аэрации, Северная станция аэрации, Юго-Западные очистные сооружения). Существующая схема утилизации осадка на очистных сооружениях водоканала Санкт-Петербурга предполагает его обезвоживание и сжигание в печах с псевдоожженным слоем.

Основные этапы процесса сжигания в псевдоожженном слое на примере завода на Юго-Западных очистных сооружениях (ЮЗОС) [21–25] следующие.

1-й этап – система подачи осадка. Система подачи осадка состоит из нескольких шнеков, которые осуществляют транспортировку осадка, поступающего с конвейера ЮЗОС на вертикальный конвейер осадка. С вертикального конвейера осадок подается на конвейер поперечной подачи осадка, который закреплен за обеими технологическими линиями сжигания. Данный конвейер оснащен двумя двигателями и двумя шнеками, которые могут производить транспортировку осадка в обоих направлениях. Обычно, когда в работе находятся обе технологические линии сжигания, один шнек конвейера подает осадок в бункер осадка линии сжигания 1, а другой – в бункер осадка линии сжигания 2. Далее осадок попадает в устройство подачи осадка, оснащенное регулируемыми скребками быстрого вращения, которые подают осадок в печь сжигания и распределают его по псевдоожженному слою.

2-й этап – печи сжигания осадка. Каждая печь состоит из 3 вертикальных секций: нижней секции – камеры флюидизации воздуха, секции псевдоожженного слоя и верхней секции реактора. В секции псевдоожженного слоя песчаная подушка поддерживается в состоянии кипения за счет подачи сжатого воздуха через решетку с соплами. Печь сжигания имеет внешний стальной корпус с обмуровкой из кремнеземного огнеупорного кирпича. Корпус печи сжигания имеет необходимые смотровые отверстия для проведения осмотра и технического обслуживания. Температура сжигания составляет 800–900 °C, содержание кислорода в мокрых дымовых газах составляет 4 %, время удержания дымовых газов позволяет минимизировать образование окислов азота.

Воздух для сжигания подается в печь при помощи воздуховодки, при этом используется воздух от вентиляционных систем прилегающего здания обезвоживания и самого здания завода сжигания осадков. Печь оборудована водяными инжекторами, используемыми для регулирования температуры сжигания. Для поддержания стабильной работы печи воздух для сжигания подвергается предварительному нагреву в двух последовательных воздухонагревателях: сначала паром до 1460 °C, а затем дымовыми газами до 510–520 °C в первом канале котла-utiлизатора.

В камере флюидизации воздуха расположена газовая форсунка, используемая для запуска процесса сжигания. Мощность форсунки позволяет поднять температуру печи из холодного состояния либо с другой температуры (ниже рабочей) до температуры, достаточной для безопасной подачи природного газа напрямую в псевдоожженный слой песка. Каждая печь оснащена 10 вспомогательными инжекторами для подачи природного газа в псевдоожженный слой для запуска печи

и поддержания достаточного режима в диапазоне 850–870 °C в верхней секции печи.

Камера флюидизации воздуха отделена от камеры сжигания решеткой с соплами, которая представляет из себя горизонтальный керамический под с достаточным количеством сопел для пропуска максимального расхода предварительно нагретого воздуха, необходимого для ожигения песчаной подушки. Сопла выполнены из высококачественного чугуна.

Псевдоожженный слой состоит из кварцевого песка, обладающего достаточным сопротивлением перепадам температур и истиранию в кипящем слое, поэтому требуется минимальное его количество для дозагрузки при нормальных условиях эксплуатации.

Конструкция печи позволяет выгружать песок из печи как полностью, так и частично. Печи полностью автоматизированы и автоматически отключаются при значительных отклонениях от основных параметров. Осуществляется непрерывный замер, регулирование и учет основных параметров печи, что позволяет надежно эксплуатировать ее круглогодично.

Для снижения выбросов S02 и добавки щелочных реагентов в мокром скруббере предусмотрена одна общая система хранения и подачи извести в обе печи. Количество извести, подаваемое в печь, регулируется оператором в зависимости от качества очистки дымовых газов.

3-й этап – котел-utiлизатор. Для утилизации избыточного тепла, выделяющегося при сжигании осадков, предусмотрен котел-utiлизатор с тремя отсеками и естественной циркуляцией. Первый отсек состоит из трубных лент и пучков и предназначен для быстрого первичного охлаждения дымовых газов, при этом предварительно нагревается воздух и образуется пар. Во втором отсеке находится испаритель и часть пучков экономайзера. В третьем отсеке находится оставшаяся часть экономайзера. Конструкция котла-utiлизатора позволяет вырабатывать пар с давлением 66 бар и температурой 450 °C, который используется в турбогенераторе для производства электроэнергии. Подогретая питательная вода котла подается в паровой барабан, а для поддержания постоянной температуры пара перед подачей на турбину он поступает в охладитель перегретого пара, расположенный с внешней стороны котла-utiлизатора, при этом температура дымовых газов на выходе из котла-utiлизатора составляет приблизительно 195–210 °C, что обеспечивает максимальную утилизацию тепла. Котел-utiлизатор работает в полностью автоматизированном режиме. Производится непрерывный замер, контроль и учет основных рабочих параметров котла. Предохранительные клапаны обеспечивают механическую защиту котла от слишком высокого давления.

4-й этап – электрофильтр, система золоудаления. Первый этап очистки дымовых газов состоит из удаления летучей золы на выходе из котла-utiлизатора при помощи электрофильтра, который состоит из металлического каркаса, внутри которого находятся металлические электроды, на которые подается электроизоляция. Частицы золы и пыли, попадая в электростатическое поле, оседают на осадительных электродах и по мере накопления стягиваются в бункеры молотковыми механизмами. Летучая зора и пыль собираются

двумя контейнерами для золы и подаются через лопастной затвор в специальный бункер для золы. Транспортировка летучей золы и пыли производится сжатым воздухом по трубопроводу в соответствующий бункер хранения золы. Для выгрузки золы установлена комбинированная двойная система разгрузки. Эта система позволяет вести выгрузку сухой и влажной золы. Одновременная работа системы в сухом и влажном режимах выгрузки невозможна. Увлажнение золы производится технической водой в увлажнительном конвейере.

5-й этап – теплообменник дымовых газов. После электрофильтра дымовые газы проходят через теплообменник дымовых газов, в котором происходит охлаждение их перед тем, как они попадают в систему противоточных скрубберов. Теплообменник дымовых газов расположен перед первой колонной скруббера. Температура горячих дымовых газов, поступающих с электрофильтра, составляет 180–205 °С. На скрубберах дымовые газы охлаждаются, но затем они снова нагреваются с 80 °С до минимум 120 °С. Подогрев охлажденных насыщенных дымовых газов способствует увеличению вертикальной скорости газов в трубе и лучшему их рассеиванию в атмосфере, а также препятствует конденсации пара на выходе из трубы в атмосферу, при этом паровое облако над трубой не образуется.

6-й этап – система мокрой газоочистки на скрубберах. После теплообменника дымовые газы проходят мокрую очистку в системе скрубберов, состоящей из 2 ступеней: первая ступень – колонна кислой промывки, вторая – колонна щелочной промывки газов. В качестве подпиточной воды в системе скрубберов используется умягченная вода. В колонне кислой промывки постоянно происходит орошение газов водой, при этом pH воды находится на уровне от 1 до 3, циркуляция воды осуществляется насосами, уровень pH контролируется приборами. При достижении pH отработанной орошающей жидкости значения 1,0 фиксированное количество ее сбрасывается в накопитель. За счет интенсивного взаимодействия орошающей жидкости и дымовых газов происходит удаление газов, образующих кислоты, в частности HCl и ртути в ионной форме. На

второй ступени происходит удаление S02 при pH 5–8 за счет регулируемого дозирования раствора.

Дымовые газы на выходе из печи оцениваются по температуре, содержанию пыли, наличию газообразных загрязняющих веществ. Проводимая очистка дымовых газов предназначена для изменения этих характеристик в соответствии с положениями Европейской Директивы 2000/76/ЕС. Поэтому выбранная газоочистка призвана охладить дымовые газы в целях предохранения последующего оборудования, удалить летучие золы, снизить содержание загрязняющих веществ, уловить кислотные газы и летучие металлы, сократить содержание диоксинов и фуранов.

В настоящее время одним из основных препятствий для широкого использования технологии сжигания осадка сточных вод является обеспокоенность общественности возможными выбросами вредных веществ. Результаты проведенных экспериментальных работ показывают, что содержание летучих соединений в ОСВ выше, чем в других видах топлива, и это одна из основных причин, почему процесс сжигания ОСВ отличается от процесса сжигания других видов топлива. Возражения касаются главным образом возможной эмиссии высокопасных экотоксикантов — диоксинов и загрязнения ими окружающей среды [26–30].

Обсуждение. В настоящее время ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» выполняет научно-исследовательскую работу по оценке рисков для здоровья населения от эксплуатации заводов (цехов) по сжиганию осадков сточных вод.

В ходе выполненного анализа руководства по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ¹ был выбран и обоснован перечень загрязнителей, подлежащих идентификации в соответствии с теорией горения, который включает:

— диоксины и фураны (вещества 1-го и 2-го класса опасности) — загрязнители атмосферного воздуха, образующиеся при сжигании ОСВ, вызывающие значительное беспокойство гражданского общества;

значительное беспокойство гражданского общества, — соединения, обладающие канцерогенным эффектом: ПАУ (в том числе бенз(а)пирен), диоксины, формальдегид;

Таблица. Перечень загрязняющих веществ, подлежащих исследованию в трубе и атмосферном воздухе
Table. List of pollutants released from sewage sludge incinerators to be tested in the stack and ambient air

№	Наименование веществ / Pollutants	Регистрационный номер CAS / CAS registration number	ПДКм.р./ПДКс.с./ПДКс.г. / MPC maximum single concentration/MPC average daily concentration/ MPC average annual concentration	Международное агентство по изучению рака (МАИР)/ фактор канцерогенного потенциала (SFI) / IARC/SFI
1	2	3	4	5
1	диВанадий пентоксид (пыль) (Ванадия пятиокись) / Vanadium pentoxide (dust)	1314-62-1	-/0.002/0.00007	-
2	Кадмий оксид (в пересчете на кадмий) / Cadmium oxide (expressed as cadmium)	1306-19-0	-/0.0003/	-
3	Марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV) оксид) / Manganese and its compounds (expressed as manganese dioxide)	-	0.01/0.001/0.00005	-
4	Никель и его соединения / Nickel and its compounds	7440-02-0	-/0.001/0.00005 К	2B/0,84
5	Свинец и его неорг. соединения (в пересчете на свинец) / Lead and its inorganic compounds (expressed as lead)	7439-92-1	0.001/0.0003/0.00015	2a/0.047
6	Ртуть соединения (в пересчете на ртуть) / Mercury compounds (expressed as mercury)	7439-97-6	-/0.0003/	-

¹ Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ 2019 – 5.C.1.b.i, 5.C.1.b.ii, 5.C.1.b.iv Сжигание промышленных отходов, включая опасные отходы и осадки сточных вод.

Продолжение таблицы / Table continued

Продолжение таблицы / Table continued

1	2	3	4	5
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ / 1,2,3,7,8,9-GcCDF	72918-21-9	—	B2/16000	
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ / 1,2,3,4,6,7,8-GpCDF	67562-39-4	—	B2/1600	
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ / 1,2,3,4,7,8,9-GpCDF	55673-89-7	—	B2/1300	
ОХДФ / OHDF	—	—	—	
Суммарная концентрация / Total concentration	—	—	—	
Прочие ТХДД / Other TCDD	—	—	—	
Прочие ПеХДД / Other PeHDD	—	—	—	
Прочие ГкХДД / Other GcHDD	—	—	—	
Прочие ГпХДД / Other GpCDD	—	—	—	
Прочие ТХДФ / Other TCDF	—	—	—	
Прочие ПеХДФ / Other PeCDF	—	—	—	
Прочие ГкХДФ / Other GcHDF	—	—	—	
Прочие ГпХДФ / Other GpCDF	—	—	—	

— соединения тяжелых металлов (для обеспечения в дальнейшем возможности оценки эффекта одностороннего действия на отдаленные последствия для здоровья населения);

— легколетучие компоненты, образующиеся при сгорании осадка;

— взвешенные частицы PM_{10} , $PM_{2,5}$ — для оценки аэрозольной фракции выбросов.

Сформирован рабочий вариант перечня загрязняющих веществ, включающий 17 групп соединений (диоксины представлены 16 веществами, ПАУ — 25 веществами). Список веществ уточнен в соответствии с их токсикологическими и гигиеническими характеристиками, включает информацию: CAS — химического соединения, МАИР — классификацию международного агентства по изучению рака, значения ПДК, а также факторы канцерогенного потенциала (в соответствии с Руководством по оценке риска) (таблица).

Кроме того, необходимо проведение исследований на территории жилой застройки, т. к. диоксины могут отсутствовать в трубе в горячей газо-воздушной смеси, но потом синтезироваться в атмосфере из компонентов выбросов. С другой стороны, источником и средой для образования может стать что-то помимо сжигания илов. В перечень для определения в контрольной точке нужно включить сероводород и/или меркаптаны.

Выводы. В ходе проведенного обобщения и систематизации результатов научных исследований выявлено, что сжигание на сегодняшний день считается эффективным и универсальным методом снижения большого количества осадков сточных вод и получения энергии. По сравнению с другими способами термической обработки сжигание осадков сточных вод в настоящее время является перспективным с точки зрения оборудования и технологий. Однако необходимо больше внимания уделять механизму реакции горения, влиянию атмосферы на горение, оборудованию, температуре и другим факторам, влияющим на образование загрязняющих веществ, а также контролю выбросов из источника.

Список литературы

1. Рублевская О.Н. Опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» по внедрению технологий утилизации осадка сточных вод // Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения: Материалы международной конференции, посвященной 145-летию УП «Минскводоканал»: в 2 частях, Минск, 2018. С. 135–138.
2. Зарицкая Е.В., Ганичев П.А., Михеева А.Ю., Маркова О.Л., Еремин Г.Б., Мясников И.О. К вопросу о контроле летучих загрязняющих соединений, формирующих запах, при деятельности канализационных очистных сооружений // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10 (331). С. 52–55. doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-52-55
3. Маркова О.Л., Ганичев П.А., Зарицкая Е.В., Копытенкова О.И., Еремин Г.Б. О выборе приоритетных веществ для оценки выбросов заводов по сжиганию осадков сточных вод // Анализ риска здоровью — 2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2022: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. 2022. Т. 1. С. 352–357.
4. Sänger M, Werther J, Ogada T. NO_x and N_2O emission characteristics from fluidised bed combustion of semi-dried municipal sewage sludge. *Fuel*. 2001;80(2):167–177. doi: 10.1016/S0016-2361(00)00093-4
5. Копытенкова О.И., Еремин Г.Б., Мозжухина Н.А., Маркова О.Л., Ганичев П.А. К вопросу сжигания осадков сточных вод // Актуальные вопросы гигиены: сборник научных трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 27 февраля 2021 года. Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова. 2021. С. 167–171.
6. Маркова О.Л., Зарицкая Е.В., Еремин Г.Б. К вопросу дезодорации осадков сточных вод. Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 393–401.
7. Brisolara KF, Qi Y, Baldassari M, Bourgeois C. Biosolids and sludge management. *Water Environ Res*. 2017;89(10):1245–1267. doi: 10.2175/106143017X15023776270287
8. Кноер П., Бюхлер М., Пуассон А., Чепурнов А.В. Низкотемпературная двухступенчатая сушка осадка сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 4. С. 7а–11.
9. Хорева П.В., Бернадинер И.М. Эмиссия вредных веществ при сжигании осадков сточных вод // Энергосбережение — теория и практика: труды Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, 05–12 октября 2018 года. Москва: Издательский дом МЭИ, 2018. С. 135–138.
10. Yao H, Naruse I. Control of trace metal emissions by sorbents during sewage sludge combustion. *Proc*

- Combust Inst.* 2005;30(2):3009–3016. doi: 10.1016/j.proci.2004.07.047
11. Phua Z, Giannis A, Dong ZL, Lisak G, Ng WJ. Characteristics of incineration ash for sustainable treatment and reutilization. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019;26(17):16974–16997. doi: 10.1007/s11356-019-05217-8
12. Yu S, Zhang H, Lü F, Shao L, He P. Flow analysis of major and trace elements in residues from large-scale sewage sludge incineration. *J Environ Sci (China).* 2021;102:99–109. doi: 10.1016/j.jes.2020.09.023
13. Ma P, Rosen C. Land application of sewage sludge incinerator ash for phosphorus recovery: A review. *Chemosphere.* 2021;274:129609. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129609
14. Steele JC, Meng XZ, Venkatesan AK, Halden RU. Comparative meta-analysis of organic contaminants in sewage sludge from the United States and China. *Sci Total Environ.* 2022;821:153423. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153423
15. Zhu Y, Zhai Y, Li S, et al. Thermal treatment of sewage sludge: A comparative review of the conversion principle, recovery methods and bioavailability – predicting of phosphorus. *Chemosphere.* 2022;291(Pt 3):133053. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133053
16. Grobelak A, Grosser A, Kacprzak M, Kamizela T. Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant – new technical solution. *J Environ Manage.* 2019;234:90–96. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.12.111
17. Reuna S, Väistänen A. To incinerate or not? – Effects of incineration on the concentrations of heavy metals and leaching efficiency of post-precipitated sewage sludge (RAVITA™). *Waste Manag.* 2020;118:241–246. doi: 10.1016/j.wasman.2020.08.022
18. Schnell M, Horst T, Quicker P. Thermal treatment of sewage sludge in Germany: A review. *J Environ Manage.* 2020;263:110367. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110367
19. Mayer F, Bhandari R, Gäh SA. Life cycle assessment of prospective sewage sludge treatment paths in Germany. *J Environ Manage.* 2021;290:112557. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112557
20. Fujitani Y, Sato K, Tanabe K, et al. Volatility distribution of organic compounds in sewage incineration emissions. *Environ Sci Technol.* 2020;54(22):14235–14245. doi: 10.1021/acs.est.0c04534
21. Васильев Б.В., Рублевская О.Н., Леонов Л.В. Обработка и утилизация осадков сточных вод в Санкт-Петербурге // Вода и экология: проблемы и решения. 2012. № 4 (52). С. 64–73.
22. Рублевская О.Н., Пробирский М.Д. Реконструкция завода сжигания осадков на Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 1. С. 52–57.
23. Рублевская О.Н., Краснопеев А.Л. Опыт внедрения современных технологий и методов обработки осадка сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 4. С. 65–69.
24. Рублевская О.Н., Васильев Б.В., Протасовский Е.М., Петров С.В. Обработка и утилизация осадков сточных вод на очистных сооружениях Санкт-Петербурга: опыт и перспективы // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 10. С. 47–51.
25. Панкова Г.А., Петров С.В. Опыт эксплуатации заводов по сжиганию осадков сточных вод в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 7. С. 65–71.
26. Chen T, Gu Y, Yan J, et al. Polychlorinated dibenz-p-dioxins and dibenzofurans in flue gas emissions from municipal solid waste incinerators in China. *J Zhejiang Univ Sci.* 2008;9:1296–1303. doi: 10.1631/jzus.A0720144
27. Gao H, Ni Y, Zhang H, et al. Stack gas emissions of PCDD/Fs from hospital waste incinerators in China. *Chemosphere.* 2009;77(5):634–639. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.08.017
28. Karaca C, Sözen S, Orhon D, Okutan H. High temperature pyrolysis of sewage sludge as a sustainable process for energy recovery. *Waste Manag.* 2018;78:217–226. doi: 10.1016/j.wasman.2018.05.034

29. Åmand LE, Kassman H. Decreased PCDD/F formation when co-firing a waste fuel and biomass in a CFB boiler by addition of sulphates or municipal sewage sludge. *Waste Manag.* 2013;33(8):1729–1739. doi: 10.1016/j.wasman.2013.03.022
30. Lu SY, Yan JH, Li XD, Ni MJ, Cen KF. Laboratory-scale study of the suppression of PCDD/F emission during coal and MSW co-incineration. *J Environ Sci (China).* 2007;19(6):762–767. doi: 10.1016/s1001-0742(07)60127-2

References

1. Rublevskaya ON. [Experience of the State Unitary Enterprise “Vodokanal of St. Petersburg” in introducing sewage sludge disposal techniques.] In: *Modern Trends in the Development of Water Supply and Sanitation: Proceedings of the International Conference Dedicated to the 145th Anniversary of UE „Minskvodokanal”*, Minsk, February 13–14, 2019 (in 2 pts). Minsk: Belarusian State Technological University Publ.; 2019:70–75. (In Russ.)
2. Zaritskaya EV, Ganichev PA, Mikheeva AYu, Markova OL, Yeremin GB, Myasnikov IO. On the issue of monitoring odor-generating volatile pollutants during sewage treatment plant operation. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2020;(10(331)):52–55. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-52-55
3. Markova OL, Ganichev PA, Zaritskaya EV, Kopytenkova OI, Yeremin GB. [On the choice of priority substances for assessing emissions from sewage sludge incinerators.] In: *Health Risk Analysis – 2022: Fundamental and Applied Aspects of Ensuring Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population: Proceedings of the Twelfth All-Russian Scientific and Practical Conference with the International Meeting on Environment and Health RISE-2022, Perm, May 18 – 20, 2022 (in 2 vol.).* Popova AYu, Zaitseva NV, eds. Perm: Perm National Research Polytechnic University Publ.; 2022;1:352–357. (In Russ.)
4. Sänger M, Werther J, Ogada T. NO_x and N₂O emission characteristics from fluidised bed combustion of semi-dried municipal sewage sludge. *Fuel.* 2001;80(2):167–177. doi: 10.1016/S0016-2361(00)00093-4
5. Kopytenkova OI, Eremin GB, Mozzhukhina NA, Markova OL, Ganichev PA. [On the issue of sewage sludge incineration.] In: *Topical Issues of Hygiene: Proceedings of the Sixth All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, February 27, 2021.* St. Petersburg: North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov Publ.; 2021:167–171. (In Russ.)
6. Markova OL, Zaritskaya EV, Yeremin GB. On the issue of waste water sediment deodorization. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2020;15(1):393–401. (In Russ.)
7. Brisolara KF, Qi Y, Baldassari M, Bourgeois C. Biosolids and sludge management. *Water Environ Res.* 2017;89(10):1245–1267. doi: 10.2175/106143017X15023776270287
8. Knoer P, Buechler M, Poisson A, Chepurnov AV. Low-temperature two-stage wastewater sludge drying. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika.* 2012;(4):7a–11. (In Russ.)
9. Khoreva PV, Bernadiner IM. [Emission of harmful substances during sewage sludge incineration.] In: *Energy Conservation – Theory and Practice: Proceedings of the Ninth International School – Seminar of Young Scientists and Specialists, Moscow, October 5–12, 2018.* Moscow: MEI Publ.; 2018:135–138. (In Russ.)
10. Yao H, Naruse I. Control of trace metal emissions by sorbents during sewage sludge combustion. *Proc Combust Inst.* 2005;30(2):3009–3016. doi: 10.1016/j.proci.2004.07.047
11. Phua Z, Giannis A, Dong ZL, Lisak G, Ng WJ. Characteristics of incineration ash for sustainable treatment and reutilization. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019;26(17):16974–16997. doi: 10.1007/s11356-019-05217-8

12. Yu S, Zhang H, Lü F, Shao L, He P. Flow analysis of major and trace elements in residues from large-scale sewage sludge incineration. *J Environ Sci (China)*. 2021;102:99–109. doi: 10.1016/j.jes.2020.09.023
13. Ma P, Rosen C. Land application of sewage sludge incinerator ash for phosphorus recovery: A review. *Chemosphere*. 2021;274:129609. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129609
14. Steele JC, Meng XZ, Venkatesan AK, Halden RU. Comparative meta-analysis of organic contaminants in sewage sludge from the United States and China. *Sci Total Environ*. 2022;821:153423. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153423
15. Zhu Y, Zhai Y, Li S, *et al.* Thermal treatment of sewage sludge: A comparative review of the conversion principle, recovery methods and bioavailability – predicting of phosphorus. *Chemosphere*. 2022;291(Pt 3):133053. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133053
16. Grobelak A, Grosser A, Kacprzak M, Kamizela T. Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant – new technical solution. *J Environ Manage*. 2019;234:90–96. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.12.111
17. Reuna S, Väistönen A. To incinerate or not? – Effects of incineration on the concentrations of heavy metals and leaching efficiency of post-precipitated sewage sludge (RAVITA™). *Waste Manag*. 2020;118:241–246. doi: 10.1016/j.wasman.2020.08.022
18. Schnell M, Horst T, Quicker P. Thermal treatment of sewage sludge in Germany: A review. *J Environ Manage*. 2020;263:110367. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110367
19. Mayer F, Bhandari R, Gath SA. Life cycle assessment of prospective sewage sludge treatment paths in Germany. *J Environ Manage*. 2021;290:112557. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112557
20. Fujitani Y, Sato K, Tanabe K, *et al.* Volatility distribution of organic compounds in sewage incineration emissions. *Environ Sci Technol*. 2020;54(22):14235–14245. doi: 10.1021/acs.est.0c04534
21. Vasiliev BV, Rublevskaia ON, Leonov LV. [Treatment and utilization of sewage sludge in St. Petersburg.] *Voda i Ekologiya: Problemy i Resheniya*. 2012;(4(52)):64–73. (In Russ.)
22. Rublevskaia ON, Probirskii MD. Reconstruction of the sludge incineration plant at the Central wastewater treatment facilities in St. Petersburg. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*. 2017;(1):52–57. (In Russ.)
23. Rublevskaya ON, Krasnopeev AL. Experience in introduction of up-to-date technologies and methods of wastewater sludge treatment. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*. 2011;(4):65–69. (In Russ.)
24. Rublevskaia ON, Vasil'ev BV, Protasovskii EM, Petrov SV. Wastewater sludge processing and utilization at the wastewater treatment facilities of Saint-Petersburg: Best practices and prospects. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*. 2018;(10):47–51. (In Russ.)
25. Pankova GA, Petrov SV. The experience of operating wastewater sludge incineration plants at SUE „Vodokanal of St. Petersburg”. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*. 2015;(7):65–71. (In Russ.)
26. Chen T, Gu Y, Yan J, *et al.* Polychlorinated dibenz-p-dioxins and dibenzofurans in flue gas emissions from municipal solid waste incinerators in China. *J Zhejiang Univ Sci*. 2008;9:1296–1303. doi: 10.1631/jzus.A0720144
27. Gao H, Ni Y, Zhang H, *et al.* Stack gas emissions of PCDD/Fs from hospital waste incinerators in China. *Chemosphere*. 2009;77(5):634–639. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.08.017
28. Karaca C, Sözen S, Orhon D, Okutan H. High temperature pyrolysis of sewage sludge as a sustainable process for energy recovery. *Waste Manag*. 2018;78:217–226. doi: 10.1016/j.wasman.2018.05.034
29. Åmand LE, Kassman H. Decreased PCDD/F formation when co-firing a waste fuel and biomass in a CFB boiler by addition of sulphates or municipal sewage sludge. *Waste Manag*. 2013;33(8):1729–1739. doi: 10.1016/j.wasman.2013.03.022
30. Lu SY, Yan JH, Li XD, Ni MJ, Cen KF. Laboratory-scale study of the suppression of PCDD/F emission during coal and MSW co-incineration. *J Environ Sci (China)*. 2007;19(6):762–767. doi: 10.1016/s1001-0742(07)60127-2



Оценка риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе

Д.С. Исаев¹, Н.А. Мозжухина², Г.Б. Еремин¹, Н.Н. Крутикова²

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

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

Резюме

Введение. Для малых и средних городских поселений зачастую традиционно учет фоновых концентраций при расчете рассеивания выбросов загрязняющих веществ производится в соответствии с Временными рекомендациями, содержащими фоновые показатели и долгопериодные средние фоновые концентрации.

Цель исследования: оценить влияние учета фоновых долгопериодных средних концентраций загрязняющих веществ для поселений, на территории которых не ведутся регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, при расчете среднегодовых концентраций, проведений оценки риска здоровью населения.

Материалы и методы. На основе сведений из двух томов нормативов допустимых выбросов, действующих на период 2019–2025 годов, было выполнено ранжирование загрязняющих веществ. Из 38 выбрасываемых веществ одного предприятия и 51 другого выбрано 21 и 20 приоритетных веществ соответственно. Оценка риска выполнялась для хронического воздействия, на период всей жизни (70 лет) экспонируемого населения. Исследование было произведено одновременно в 2022 году, в период действия томов нормативов допустимых выбросов.

Произведен расчет рассеивания загрязняющих веществ с применением унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог» ООО «Фирма «Интеграт». Определены концентрации двух веществ, для которых необходим учет фоновых значений. Выполнен расчет канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью населения без учета и с учетом фонового загрязнения воздуха. Определены значения суммарного канцерогенного риска и суммация коэффициентов опасности по действию на критические органы и системы.

Результаты. В результате проведения оценки риска для здоровья населения от выбросов предприятий городского поселения 1 и городского поселения 2 без использования фоновых долгопериодных средних концентраций были получены допустимые значения хронического канцерогенного и неканцерогенного рисков. С использованием фоновых долгопериодных средних концентраций были получены недопустимые значения хронического канцерогенного и неканцерогенного рисков.

Заключение. Выполнение оценки риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе ведет к получению недопустимых значений риска, в связи с чем является целесообразным изучить и учесть данную проблему в процессе актуализации руководства по оценке риска, чтобы исключить возникающие противоречия.

Ключевые слова: оценка риска здоровью, фоновые долгопериодные средние концентрации, атмосферный воздух, среднегодовая ПДК.

Для цитирования: Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Крутикова Н.Н. Оценка риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 23–31. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-23-31>

Сведения об авторах:

Исаев Даниил Сергеевич – младший научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: glok09@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-1399>.

Мозжухина Наталья Александровна – к.м.н., доцент кафедры профилактической медицины и охраны здоровья ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: Natalya.Mozzhukhina@srgmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-097X>.

Еремин Геннадий Борисович – к.м.н., руководитель отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: yeremin45@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>.

Крутикова Наталья Николаевна – к.м.н., доцент кафедры общей и военной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: Natalya.Krutikova@srgmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1145-4780>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Еремин Г.Б., Мозжухина Н.А.; анализ правовых документов, полученных проектных материалов, оценка результатов: Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Крутикова Н.Н.; формирование выводов (заключения): Исаев Д.С., Мозжухина Н.А.; обзор литературных источников и формирование списка литературы: Мозжухина Н.А., Крутикова Н.Н.; подготовка рукописи: Исаев Д.С., Мозжухина Н.А. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 01.04.22 / Принята к публикации: 14.04.22 / Опубликована: 31.05.22

Health Risk Assessment in Towns Based on Background Long-Term Concentrations of Ambient Air Pollutants

Daniel S. Isaev,¹ Natalia A. Mozzhukhina,² Gennadiy B. Yeremin,¹ Natalya N. Krutikova²

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

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

Summary

Introduction: For small and medium-sized towns, background concentrations of ambient air pollutants are traditionally used to estimate dispersion of the latter in accordance with Temporary Recommendations envisaging both background indicators and background long-term average concentrations.

Objective: To assess the appropriateness of applying background long-term average concentrations of air pollutants to estimating average annual concentrations and assessing health risks in towns where regular ambient air monitoring data are not available.

Materials and methods: In 2022, we have ranked air pollutants based on information from two volumes of current permissible emission standards valid in 2019–2025. Of 38 chemicals emitted by an industrial enterprise and 51 by another, we selected 21 and 20 priority pollutants, respectively. Health risks in the population were assessed based on lifetime (70 years) chronic exposure estimates.

We established dispersion of air pollutants using the unified program for estimating atmospheric pollution "Ecologist", Integral LLC, St. Petersburg. Concentrations of two airborne chemicals, which background values should be considered, were determined. Both carcinogenic and non-carcinogenic health risks were assessed both including and excluding background air pollution levels. We evaluated total carcinogenic risks and summed up hazard coefficients by effect on target organs and systems.

Results: The findings of health risk assessment, which neglected background long-term average concentrations of airborne industrial pollutants, demonstrated acceptable levels of chronic carcinogenic and non-carcinogenic risks in both towns while the inclusion of those data resulted in unacceptable risks in Town 1.

Discussion: Health risk assessment for the urban population based on background long-term average concentrations of air-borne industrial pollutants produces unacceptable risk levels. It is advisable to study this problem in the process of updating the risk assessment guidelines in order to eliminate contradictions.

Keywords: health risk assessment, background long-term average concentrations, air pollutants, average annual maximum permissible concentration.

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԱԿՏՈՒԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

For citation: Isaev DS, Mozhukhina NA, Yeremin GB, Krutikova NN. Health risk assessment in towns based on background long-term concentrations of ambient air pollutants. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):23-31. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-23-31>

Author information:

✉ Daniel S. Isaev, Junior Researcher, Department of Public Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: elok09@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-1399>

Natalia A. Mozzhukhina, Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Preventive Medicine and Health Protection, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: Natalya.Mozzhukhina@szgmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-1599>.
Gennadiy B. Yeremin, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Public Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: yeremina45@vandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>.

Natalya N. Krutikova, Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of General and Military Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: Natalya.Krutikova@szgmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1145-4780>.

assessments of results: Isaev D.S., Mozzhukhina N.A., Krutikova N.N.; interpretation

literature review: Mozhzhukhina N.A., Krutikova N.N; draft manuscript preparation: Isaev D.S., Mozhzhukhina N.A. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this work.
Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: April 1, 2022 / Accepted: April 14, 2022/ Published: May 31, 2022

Введение. Учету фоновых концентраций традиционно уделяется много внимания как применительно к проектным материалам нормативов допустимых выбросов (НДВ) и санитарно-защитных зон (СЗЗ), так и при совершенствовании социально-гигиенического мониторинга (СГМ), реализации национального проекта «Экология» [1–15].

Для предприятий 1-го и 2-го классов опасности в составе проекта СЗЗ должна быть выполнена оценка риска здоровью населения, в ходе которой проводится расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ. Известно, что загрязнение атмосферного воздуха вносит значимый вклад в заболеваемость и смертность среди населения, поэтому оценка этого загрязнения и его влияния является важным элементом санитарно-эпидемиологического надзора [20–25].

логийского надзора [20–23].
В соответствии с методическим пособием по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (п. 2.4)¹ при нормировании выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) конкретным хозяйствующим субъектом необходим учет фонового загрязнения, создаваемого выбросами других источников, не относящихся к рассматриваемому субъекту. Учет необходим для хозяйствующих субъектов,

выбрасываемых ими загрязняющих веществ, концентрации которых на ближайшей жилой застройке превышают 0,1 предельной допустимой концентрации (ПДК).

Учет фоновых концентраций осуществляется исходя из фактических концентраций либо расчетных концентраций, полученных исходя из сводных данных загрязнения атмосферного воздуха населенного пункта, в обоих случаях выданных уполномоченной организацией. Однако оба названных способа предназначены для установления фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов численностью более 100 тысяч жителей, при этом в рассматриваемых населенных пунктах имеются не только предприятия теплоэнергетики, легкая и пищевая промышленность, а также автотранспорт, но и крупные промышленные предприятия. Для малых и средних городских поселений зачастую традиционно учет фоновых концентраций производится в соответствии с Временными рекомендациями², содержащими фоновые показатели и долгопериодные средние фоновые концентрации.

В связи с введением в действие в 2018 г. методов расчетов рассеивания выбросов³ проектные организации запрашивают фоновые концентрации

¹ Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: НИИ «Атмосфера», 2012.

² Временные рекомендации «Фоновые концентрации вредных (загрязняющих) веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха» с новыми значениями фона взамен действующих на период 2019–2023 гг.

³ Методы расчетов рассеивания выбросов вредных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273, зарегистрированы в Минюсте России 10.08.2017 № 47734.

вредных загрязняющих веществ, соответствующие длительному времени осреднения – долгопериодные средние концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Согласно Временным рекомендациям, которые подготовлены ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Войкова» (ФГБУ «ГГО»), на основе анализа и обобщения данных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на сети Росгидромета за пятилетний период в городах с численностью населения 100 тыс. человек и менее впервые включают не только фоновые концентрации (максимально разовые концентрации примесей), но и долгопериодные концентрации. В таблице № 2 Временных рекомендаций указаны долгопериодные средние фоновые концентрации азота диоксида, азота оксида, серы диоксида, дигидросульфида, бенз(а)пирена, взвешенных веществ, углерода оксида, формальдегида. В ходе выполнения оценки риска здоровью населения от выбросов промышленных предприятий производится расчет долгопериодных средних концентраций загрязняющих веществ и сравнение полученных концентраций со среднегодовыми ПДК (ПДКс.г.). В связи с этим представляет интерес анализ особенностей учета фоновых долгопериодных концентраций в соответствии с Временными рекомендациями при расчете риска здоровью.

В ходе разработки проекта по оценке риска от выбросов загрязняющих веществ предприятия были получены среднегодовые концентрации по формальдегиду и сероводороду (H₂S) границе жилой застройки с превышением 0,1 ПДК, в связи с чем встает вопрос об использовании фоновых долгопериодных средних концентраций.

Цель: оценить влияние учета фоновых долгопериодных средних концентраций загрязняющих веществ для поселений, на территории которых не ведутся регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, при расчете среднегодовых концентраций, проведении оценки риска здоровью населения.

Материалы и методы. Для обоснования использования фоновых концентраций были выбраны два городских поселения, в которых градообразующими являются предприятия газовой промышленности: городское поселение 1 и городское поселение 2. В этих поселениях присутствуют предприятия, обеспечивающие жизнедеятельность населения: теплоэнергетика, легкая и пищевая промышленность, а также автотранспорт.

Численность населения в городском поселении 1 – 30 000 человек, в городском поселении 2 – 10 000 человек. Расстояние до ближайшей жилой застройки – 550 метров и 700 метров соответственно. На основе сведений из двух томов НДВ, разработанных в 2019 году (таблица параметров выбросов ЗВ в воздух по предприятиям), которые утверждаются на 7 лет, было выполнено ранжирование ЗВ и определены приоритетные вещества в составе выбросов предприятий, для которых выполнялась оценка риска. Исследование было произведено одномоментно в 2022 году, в период действия томов нормативов допустимых выбросов. Оценка риска выполнялась в соответствии с руко-

водством по оценке риска⁴ на период всей жизни экспонируемого населения. Приоритетные вещества определялись по индексу сравнительной канцерогенной опасности (К), индексу сравнительной неканцерогенной опасности (НРИ) и по величине валового выброса (В); по перечню «короткого списка» (С). Произведен расчет рассеивания ЗВ с применением унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог» ООО «Фирма “Интеграл”». В программе расчет производится согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

Точки расчета выбраны на ближайшей жилой застройке. На основе полученных концентраций выполнен расчет канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью населения без учета и с учетом фонового загрязнения воздуха. Фоновые концентрации выбраны согласно Временным рекомендациям. Хронический канцерогенный риск оценивался по беспороговой модели, хронический неканцерогенный риск оценивался по пороговой модели и сравнивался с допустимыми уровнями. Далее определялись значения суммарного канцерогенного риска и суммация коэффициентов опасности по действию на критические органы и системы.

Результаты. Приоритетные химические вещества, включенные в оценку риска, код, регистрационный номер CAS, причина включения в оценку риска и их ранг по индексам канцерогенной и неканцерогенной опасности по предприятиям представлены в табл. 1, 2.

Следующие вещества включены в оценку риска для городского поселения 1: дижелезо триоксид, марганец и его соединения, свинец и его неорганические соединения, азота диоксид, аммиак, азот (II) оксид, углерод (пигмент черный), серы диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, гидрофторид, метан, бензол, диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров), этилбензол, бенз(а)пирен, гидроксибензол, ацетальдегид, формальдегид, этантиол, керосин, взвешенные вещества, пыль древесная.

Следующие вещества включены в оценку риска для городского поселения 2: марганец и его соединения, свинец и его неорганические соединения, азота диоксид, аммиак, азот (II) оксид, углерод (пигмент черный), серы диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, гидрофторид, метан, бензол, этилбензол, бенз(а)пирен, гидроксибензол, ацетальдегид, формальдегид, этантиол, керосин, взвешенные вещества.

В табл. 3 представлены сведения о долгопериодных средних концентрациях ЗВ в мг/м³ и в долях ПДК на границе ближайшей жилой застройки по предприятиям.

В городском поселении 1 выполняется условие С > 0,1 ПДК для дигидросульфида и формальдегида, следовательно, при расчете рассеивания выбросов должны быть учтены фоновые концентрации. В отмеченных городах не ведутся регулярные наблюдения за качеством атмосферного воздуха.

⁴ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду», утверждено и введено в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г.

Таблица 1. Перечень ЗВ, включенных в последующую оценку риска для городского поселения 1

Table 1. List of pollutants included in subsequent health risk assessment in Town 1

Код / Code	CAS	Наименование вещества / Pollutant	Причина включения в список / Reason for inclusion	Ранг неканц. / Non-cancer hazard rank	Ранг канц. / Cancer hazard rank
123	1309-37-1	Оксид железа (III) / Iron oxide (III)	K / C	15	
143	7439-96-5	Марганец и его соединения / Manganese and its compounds	HRI	9	
301	10102-44-0	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	B, HRI, C /	1	
303	7664-41-7	Аммиак / Ammonia	B, C / E, L	12	
304	10102-43-9	Азот (II) оксид / Nitrogen monoxide	B, HRI / E, HRI	2	
328	1333-86-4	Углерод (пигмент черный) / Carbon black	B, K / E, C	13	2
330	7446-09-5	Серы диоксид / Sulfur dioxide	K, C / C, L	14	
333	7783-06-4	Дигидросульфид / Dihydrogen sulfide	B, HRI / E, HRI	5	
337	630-08-0	Углерода оксид / Carbon monoxide	B, HRI, C / E, HRI, L	4	
342	7664-39-3	Гидрофторид / Hydrogen fluoride	C / L	20	
410	74-82-8	Метан / Methane	B, HRI / E, HRI	3	
602	71-43-2	Бензол / Benzene	K, C / C, L	23	4
616	1330-20-7	Диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров) / Xylene (all isomers)	K / C	30	
627	100-41-4	Этилбензол / Ethylbenzene	K / C	37	6
703	50-32-8	Бенз(а)пирен/ Benzo[a]pyrene	K, C / C, L	22	5
1071	108-95-2	Гидроксибензол / Hydroxybenzene	K, HRI / C, HRI	5	
1317	75-07-0	Ацетальдегид / Acetaldehyde	K / C	16	3
1325	50-00-0	Формальдегид / Formaldehyde	B, K, HRI, C / E, C, HRI	7	1
1728	75-08-1	Этантиол / Ethanethiol	HRI	6	
2732	8008-20-6	Керосин / Kerosene	B / E	10	
2936		Пыль древесная / Wood dust	B, K, HRI / E, C, HRI	8	

Таблица 2. Перечень ЗВ, включенных в последующую оценку риска для городского поселения 2

Table 2. List of pollutants included in subsequent health risk assessment in Town 2

Код / Code	CAS	Наименование вещества / Pollutant	Причина включения в список / Reason for inclusion	Ранг неканц. / Non-cancer hazard rank	Ранг канц. / Cancer hazard rank
143	7439-96-5	Марганец и его соединения / Manganese and its compounds	HRI	4	
184	7439-92-1	Свинец и его неорганические соединения / Lead and its inorganic compounds	K, C / C, L	27	5
301	10102-44-0	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	B, HRI, C / E, HRI, L	1	
303	7664-41-7	Аммиак / Ammonia	HRI, C / HRI, L	8	
304	10102-43-9	Азот (II) оксид / Nitrogen monoxide	B, HRI / E, HRI	2	
328	1333-86-4	Углерод (пигмент черный) / Carbon black	K / C	12	1
330	7446-09-5	Серы диоксид / Sulfur dioxide	C / L	13	
333	7783-06-4	Дигидросульфид / Dihydrogen sulfide	HRI	7	
337	630-08-0	Углерода оксид / Carbon monoxide	B, HRI, C / E, HRI, L	5	
342	7664-39-3	Гидрофторид / Hydrogen fluoride	C / L	20	
410	74-82-8	Метан / Methane	B, HRI / E, HRI	3	
602	71-43-2	Бензол / Benzene	K, C / C, L	21	3
627	100-41-4	Этилбензол / Ethylbenzene	K / C	46	7
703	50-32-8	Бенз(а)пирен/ Benzo[a]pyrene	K, C / C, L	39	6
1071	108-95-2	Гидроксибензол / Hydroxybenzene	HRI	6	
1317	75-07-0	Ацетальдегид / Acetaldehyde	K / C	30	4
1325	50-00-0	Формальдегид / Formaldehyde	K, C, HRI / C, L, HRI	10	2
1728	75-08-1	Этантиол / Ethanethiol	HRI	9	
2732	8008-20-6	Керосин / Kerosene	B / E	11	
2902		Взвешенные вещества / Suspended particles	C / L	18	

Согласно временным рекомендациям фоновые долгопериодные средние концентрации для населенных пунктов с численностью населения от 10 до 50 тысяч человек по дигидросульфиду – 0,001 мг/м³, по формальдегиду – 0,008 мг/м³.

В составе заявленных вредных выбросов предприятия городского поселения 1 присутствуют 11 химических веществ, которые согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям к условиям труда⁵ и классификации МАЙР обладают канцерогенным

⁵ СП 2.2.3670–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда», утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 02.12.2020 № 40.

Таблица 3. Долгопериодные средние концентрации на границе ближайшей жилой застройки
Table 3. Long-term average concentrations of chemicals on the border of the nearest residential area

Код / Code	Наименование вещества / Pollutant	Городское поселение 1 / Town 1		Городское поселение 2 / Town 2	
		доли ПДК / Share of MPCan.av.	мг/м ³ / mg/m ³	доли ПДК / Share of MPCan.av.	мг/м ³ / mg/m ³
123	Оксид железа (III) / Iron oxide	0,001	4,64E-05	—	—
143	Марганец и его соединения / Manganese and its compounds	0,03	1,48E-06	0,065	3,25E-06
184	Свинец и его неорганические соединения / Lead and its inorganic compounds	—	—	0,0002	2,99E-08
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	0,058	0,0023	0,024	0,001
303	Аммиак / Ammonia	0,02	0,0008	0,061	0,0025
304	Азот (II) оксид / Nitrogen monoxide	0,018	0,0011	0,015	0,0009
328	Углерод (пигмент черный) / Carbon black	0,012	0,0003	0,013	0,0003
330	Серы диоксид / Sulfur dioxide	0,003	0,0001	0,003	0,0001
333	Дигидросульфид / Dihydrogen sulfide	0,224	0,0004	0,098	0,0002
337	Углерода оксид / Carbon monoxide	0,003	0,0095	0,003	0,0092
342	Гидрофторид / Hydrogen fluoride	1,93E-04	9,67E-07	9,01E-04	4,51E-06
410	Метан / Methane	0,002606	0,0307	0,001174	0,0587
602	Бензол / Benzene	1,51E-04	7,56E-07	0,002	1,06E-05
616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров) / Xylene (all isomers)	9,45E-07	9,45E-08	—	—
627	Этилбензол / Ethylbenzene	5,00E-07	2,00E-08	1,98E-05	7,93E-07
703	Бенз(а)пирен / Benzo[a]pyrene	2,12E-04	2,12E-10	6,47E-05	6,47E-11
1071	Гидроксибензол / Hydroxybenzene	0,038	0,0001	0,095	0,0003
1317	Ацетальдегид / Acetaldehyde	4,63E-04	2,32E-06	1,76E-05	8,77E-08
1325	Формальдегид / Formaldehyde	0,125	0,0004	0,07	0,0002
1728	Этантиол / Ethanethiol	0,0124606	6,23E-07	0,0016111	8,06E-08
2732	Керосин / Kerosene	2,02E-05	2,42E-05	8,34E-05	0,0001
2902	Взвешенные вещества / Suspended particles	—	—	0,001	8,44E-05
2936	Пыль древесная / Wood dust	5,049E-05	2,52E-05	—	—

действием на организм человека: диЖелезо триоксид, углерод (пигмент черный), серы диоксид, бензол, диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров), этилбензол, бенз(а)пирен, гидроксибензол, ацетальдегид, формальдегид и пыль древесная.

Дальнейшая оценка канцерогенного риска проводилась для веществ: углерод (пигмент черный), бензол, этилбензол, бенз(а)пирен, ацетальдегид, формальдегид.

В составе заявленных вредных выбросов предприятия городского поселения 2 присутствуют 10 химических веществ, которые обладают канцерогенным действием на организм человека: диЖелезо триоксид, свинец и его неорганические соединения, углерод (пигмент черный), серы диоксид, бензол, диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров), этилбензол, бенз(а)пирен, ацетальдегид, формальдегид.

Дальнейшая оценка канцерогенного риска проводилась для веществ: свинец и его неорганические соединения, углерод (пигмент черный), бензол, этилбензол, бенз(а)пирен, ацетальдегид, формальдегид.

При расчете рисков в городском поселении 1 без учета фоновых концентраций было получено следующее значение суммарного канцерогенного риска $9,31 \times 10^{-6}$.

Расчетные значения хронического канцерогенного риска относятся ко второму диапазону риска, что соответствует предельно допустимому риску, т. е. верхней границе приемлемого риска. Данные уровни подлежат постоянному контролю.

В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Суммарное воздействие от выбросов ЗВ оценивали с учетом воздействия на критические органы и системы: кровь, развитие, сердечно-сосудистую систему (ССС), иммунную систему, почки, печень, желудочно-кишечный тракт (ЖКТ), красный костный мозг (ККМ), костную систему, центральную нервную систему (ЦНС), периферическую нервную систему (ПНС), зубы, глаза, репродуктивную и гормональную систему, а также оказывать системное действие на организм человека и вызывать дополнительную смертность.

Анализ суммарных значений хронического неканцерогенного риска позволил установить, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем определены органы дыхания, ЦНС, глаза, ЖКТ.

Максимальные значения суммарного хронического неканцерогенного риска на границе жилой зоны соответствуют:

- при воздействии на органы дыхания на границе жилой зоны $5,19E-01$;
- при воздействии на глаза на границе жилой зоны $3,49E-01$;
- при воздействии на ЦНС на границе жилой зоны $2,65E-01$;
- при воздействии на ЖКТ на границе жилой зоны $2,42E-01$.

Значения суммарных индексов опасности при комбинированном воздействии приоритетных

загрязнителей регистрируют приемлемый уровень риска на территории жилой застройки при воздействии на все критические органы и системы органов (допустимый уровень – менее 1,0).

При расчете рисков в городском поселении 2 без учета фоновых концентраций было получено следующее значение суммарного канцерогенного риска – $2,83 \times 10^{-6}$.

Расчетные значения хронического канцерогенного риска относятся ко второму диапазону риска, что соответствует предельно допустимому риску, т. е. верхней границе приемлемого риска. Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Суммарное воздействие от выбросов ЗВ оценивали с учетом воздействия на критические органы и системы: органы дыхания, кровь, зубы, развитие, почки, печень, ССС, репродуктивную систему, гормональную систему, иммунную систему, ЖКТ, ПНС, ЦНС, костную систему, глаза, а также оказывать системное действие на организм человека и вызывать дополнительную смертность.

Анализ суммарных значений хронического неканцерогенного риска позволил установить, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем определены ЦНС, органы дыхания, глаза, ССС.

Максимальные значения суммарного хронического неканцерогенного риска на границе жилой зоны соответствуют:

- при воздействии на органы дыхания на границе жилой зоны – $2,91 \times 10^{-1}$;
- при воздействии на глаза на границе жилой зоны – $1,66 \times 10^{-1}$;
- при воздействии на ЦНС на границе жилой зоны – $1,58 \times 10^{-1}$;
- при воздействии на ССС на границе жилой зоны – $1,49 \times 10^{-1}$.

Значения суммарных индексов опасности при комбинированном воздействии приоритетных загрязнителей регистрируют приемлемый уровень риска на территории жилой застройки при воздействии на все критические органы и системы органов (допустимый уровень – менее 1,0).

При расчете рисков в городском поселении 1 с учетом фоновых концентраций было получено следующее значение суммарного канцерогенного риска – $1,09 \times 10^{-4}$.

Полученные значения хронического канцерогенного риска на ближайшей жилой застройке относятся к третьему диапазону риска, который приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий.

Суммарное воздействие от выбросов ЗВ оценивали с учетом воздействия на критические органы и системы: органы дыхания, иммунную систему, развитие, ССС, ЖКТ, ККМ, костную систему, почки, печень, ПНС, ЦНС, кровь, зубы, глаза, репродуктивную и гормональную систему, а также оказывать системное действие на организм человека и вызывать дополнительную смертность.

Анализ суммарных значений хронического неканцерогенного риска позволил установить, что в качестве наиболее уязвимых критических органов и систем определены органы дыхания, глаза, иммунная система, ЦНС.

Максимальные значения суммарного хронического неканцерогенного риска на границе жилой зоны соответствуют:

- при воздействии на органы дыхания на границе жилой зоны – 3,46;
- при воздействии на глаза на границе жилой зоны – 3,17;
- при воздействии на иммунную систему на границе жилой зоны – 2,67;
- при воздействии на ЦНС на границе жилой зоны – $5,64 \times 10^{-1}$.

Значения суммарных индексов опасности при комбинированном воздействии приоритетных загрязнителей регистрируют неприемлемый уровень риска на территории жилой застройки при воздействии на критические органы и системы органов (допустимый уровень – менее 1,0).

Обсуждение. Сразу же после утверждения Временных рекомендаций в среде разработчиков проектной документации возникла дискуссия, нашедшая отражение на экологических форумах, где отмечалось, что значения фоновых долгопериодных концентраций по ряду веществ таковы, что их учет неминуемо будет приводить к неприемлемым значениям риска здоровью населения.

Хочется отметить, что дискуссия имела место еще до выхода гигиенических нормативов и требований к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания⁶. В ряде работ обращалось внимание на то, что собственно расчет риска от фоновых показателей дает недопустимые значения [16–18].

С уважением относясь к положению, заявленному во Временных рекомендациях, что «в качестве самостоятельной характеристики уровня загрязнения атмосферы фоновая концентрация не применяется, она не сравнивается с ПДК», мы все-таки взяли на себя смелость представить указанные в документе значения фоновых долгопериодных средних концентраций в $\text{мкг}/\text{м}^3$ и в долях ПДК_{с.с.} и ПДК_{с.г.}, указанные в документе значения фоновых долгопериодных средних концентраций в $\text{мкг}/\text{м}^3$ и в долях ПДК_{с.с.} и ПДК_{с.г.}.

Мы видим превышение фоновыми значениями ПДК_{с.г.} для городских поселений с численностью населения менее 10 тысяч человек по бенз(а)пирену в азиатской части России – 1 ПДК, величины более 0,5 ПДК по взвешенным веществам, диоксиду азота и бензпирену в европейской части России.

Для городских поселений с численностью населения от 10 до 50 тысяч человек по взвешенным веществам – 1,27 ПДК, формальдегиду – 2,67 ПДК, бензпирену в европейской части России – 1 ПДК, бензпирену в азиатской части – 2,6 ПДК, величины более 0,5 ПДК по диоксиду азота и сероводороду.

Для городских поселений с численностью населения от 50 до 100 тысяч человек по взвешенным веществам – 1,31 ПДК, формальдегиду – 3 ПДК, бензпирену в азиатской части России –

⁶ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2.

2,8 ПДК, величины более 0,5 ПДК по диоксиду азота, сероводороду и бензпирену в европейской части России.

Вполне понятна позиция Роспотребнадзора, отраженная в письме об использовании в работе среднегодовых предельно допустимых концентраций⁷, в котором представлены разъяснения о том, что среднегодовые предельно допустимые концентрации (ПДКс.г.) не используются в настоящее время при расчетах санитарно-защитных зон и обосновании нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Научные публикации отражают исследования по обоснованию параметров оценки риска и среднегодовых ПДК по критериям допустимого риска [19, 20]. В 2023 году заканчивается срок действия Временных рекомендаций, к моменту разработки нового документа крайне важно принять актуализированное Руководство по оценке риска, которое в том числе поможет снять возникшие серьезные противоречия, которые на сегодня зачастую разрешаются при выполнении проектных работ обоснованием отсутствия необходимости учета фоновых концентраций, что традиционно демонстрировалось в проектной документации для бензпирена.

Заключение. В результате проведения оценки риска для здоровья населения от выбросов предприятий городского поселения 1 и городского поселения 2 без использования фоновых долгопериодных средних концентраций были получены допустимые значения хронического канцерогенного и неканцерогенного рисков. При проведении оценки риска для здоровья населения от выбросов предприятия городского поселения 1 с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций были получены недопустимые значения хронического канцерогенного и неканцерогенного рисков. Использование фоновых значений средних долгопериодных концентраций, представленных во Временных рекомендациях в процедуре оценки риска для здоровья населения, ведет к получению недопустимых значений риска, в связи с чем является целесообразным изучить и учесть данную проблему в процессе актуализации руководства по оценке риска, чтобы исключить возникающие противоречия.

Список литературы

1. Ахтамова Л.А., Ситдикова И.Д., Мешков А.В., Имамов А.А., Иванова М.К., Фадеева С.А. Оценка риска здоровью населения в зоне влияния выбросов химического производства // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 9 (306). С. 43–48. doi: 10.35627/2219-5238/2018-306-9-43-48
2. Голиков Р.А., Кислицина В.В., Суржиков В.В., Олещенко А.М., Мукашева М.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха выбросами предприятия теплэнергетики на здоровье населения Новокузнецка // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 6. С. 348–352. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352
3. Май И.В., Загороднов С.Ю. Обоснование программы производственного контроля пыли на границе санитарно-защитной зоны с учетом профиля выбросов предприятия. Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 11. С. 45–49.
4. Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска здоровью населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплекса планов воздухоохраных мероприятий Федерального проекта «Чистый воздух» // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 10. С. 1043–1051. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051
5. Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицина В.А., Сницина О.О. Практика применения оценки риска здоровью в Федеральном проекте «Чистый воздух» в городах участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк) // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 9. С. 890–896. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896
6. Суржиков Д.В., Кислицина В.В., Штайгер В.А., Голиков Р.А. Опыт применения статистико-математической технологии для оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в крупном промышленном центре // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 7. С. 663–667. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667
7. Гуревич Б.В., Козловских Д.Н., Власов И.А. и др. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга атмосферного воздуха в рамках реализации Федеральной программы «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила) // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 9(330). С. 38–47. doi: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47
8. Зайцева Н.В., Май И.В. Основные итоги, перспективы применения и совершенствования оценки риска здоровью населения сибирских городов – участников проекта «Чистый воздух» (Братск, Норильск, Красноярск, Чита) // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 5. С. 519–527. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527
9. Май И.В., Клейн С.В., Вековишина С.А., Балашов С.Ю., Четверкина К.В., Цинкер М.Ю. Риск здоровью населения Норильска при воздействии веществ, загрязняющих атмосферный воздух // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 5. С. 528–534. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-528-534
10. Май И.В., Вековишина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.В., Горяев Д.В. Федеральный проект «Чистый воздух»: практический опыт выбора химических веществ для информационного состояния анализа качества атмосферного воздуха Норильска // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 8. С. 766–772. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-8-766-772
11. Жижин Н.Н., Дьяков М.С., Ходяшев М.Б. Анализ средств управления качеством атмосферного воздуха в условиях города Перми // Анализ риска здоровью. 2019. № 4. С. 50–59. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.05
12. Киселев А.В., Григорьева Я.В. Применение результатов расчета загрязнения атмосферного воздуха для социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 4. С. 306–309. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-306-309
13. Ломтев А.Ю., Еремин Г.Б., Комбарова М.Ю., Мозжухина Н.А., Никонов В.А. Особенности санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов санитарно-защитных зон // Здоровье населения и среда обитания. 2014. № 10 (259). С. 53–55.
14. Ломтев А.Ю., Карелин А.О., Еремин Г.Б., Волкодава М.В., Наумов И.А. Проектирование и организация санитарно-защитных зон в Российской Федерации. Прошлое, настоящее и будущее // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2017. Т. 12. № 2. С. 749–754.
15. Горбанев С.А., Маркова О.Л., Еремин Г.Б., Мозжухина Н.А., Копытенкова О.И., Карелин А.О. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха в районе расположения предприятия по производству минеральных удобрений // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 8. С. 755–761. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-8-755-761

⁶ Письмо № 02/26481-2021-32 «Об использовании в работе среднегодовых предельно допустимых концентраций».

16. Федоров В.Н., Тихонова Н.А., Новикова Ю.А., Ковшов А.А., Историк О.А. Мясников И.О. Проблемы гигиенической оценки качества атмосферного воздуха населенных мест на примере городов Ленинградской области // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 6. С. 657–664. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-657-664
17. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодава М.В., Еремин Г.Б., Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 1. С. 82–86. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86
18. Кислицина В.В., Ликонцева О.И., Суржиков Д.В., Голиков Р.А. Оценка риска воздействия атмосферных выбросов обогатительной фабрики на здоровье населения // Медицина труда и промышленная экология. 2020. Т. 60. № 3. С. 184–188. doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-3-184-188
19. Зайцева Н.В., Шур П.З., Четверкина К.В., Хасанова А.А. Совершенствование методических подходов к обоснованию среднегодовых предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест по критериям допустимого риска здоровью человека // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 39–48. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.05
20. Шур П.З., Зайцева Н.В., Хасанова А.А. Четверкина К.В., Ухабов В.М. Разработка параметров для оценки неканцерогенного риска при хроническом ингаляционном поступлении бензола и среднегодовой ПДК бензола по критериям риска для здоровья населения // Анализ риска здоровью. 2021. № 4. С. 42–49. doi: 10.21668/health.risk/2021.4.04
21. World Health Organization. *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. WHO; 2021. Accessed May 24, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
22. Hassan Bhat T, Jiawen G, Farzaneh H. Air pollution health risk assessment (AP-HRA), principles and applications. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1935. doi: 10.3390/ijerph18041935
23. World Health Organization. *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*. WHO; 2016. Accessed May 24, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>
24. World Health Organization. *Health Risk Assessment of Air Pollution. General Principles*. WHO Regional Office for Europe; 2016. Accessed May 24, 2022. <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/health-risk-assessment-of-air-pollution.-general-principles-2016>
25. European Environment Agency. *Air Quality in Europe – 2020 Report*. EEA Report No. 09/2020. Copenhagen: EEA; 2020. Accessed May 24, 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

References

1. Ahtiamova LA, Situdkova ID, Meshkov AV, Imamov AA, Ivanova MK, Fadeeva SA. Health risk assessment of the population in a zone of influence of chemical production. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2018;(9(306)):43–48. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2018-306-9-43-48
2. Golikov RA, Kislytsyna VV, Surzhikov DV, Oleshchenko AM, Mukasheva MA. Assessment of the impact of air pollution by heat power plant emissions on the health of the population of Novokuznetsk. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(6):348–352. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352
3. May IV, Zagorodnov SYu. Basis of program for occupational control of dust at borderline of sanitary protective zone, with consideration of enterprise discharges profile. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2017;(11):45–49 (In Russ.)
4. May IV, Kleyn SV, Maksimova EV, Balashov SYu, Tsinker MYu. Hygienic assessment of the situation and analysis of the health risk of the population as an information basis for the organization of monitoring and the formation of complex plans for air protection measures of the federal project “Clean Air”. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(10):1043–1051. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051
5. Kuzmin SV, Avaliani SL, Dodina NS, Shashina TA, Kislytsin VA, Sinitysna OO. The practice of applying health risk assessment in the federal project “Clean Air” in the participating cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): problems and prospects. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(9):890–896 (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896
6. Surzhikov DV, Kislytsyna VV, Shtaiger VA, Golikov RA. Experience in using statistical and mathematical technologies to assess the impact of atmospheric pollution on public health in a large industrial center. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(7):663–667. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667
7. Gurvich BV, Kozlovskikh DN, Vlasov IA, et al. Methodological approaches to optimizing ambient air quality monitoring programs within the framework of the Federal Clean Air Project (on the example of Nizhny Tagil). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(9(330)):38–47. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47
8. Zaitseva NV, May IV. Main results, prospects of application and improvement of the health risk assessment of the population of Siberian cities – participants of the “Clean air” project (Bratsk, Norilsk, Krasnoyarsk, Chita). *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(5):519–527. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527
9. May IV, Kleyn SV, Vekovishina SA, Balashov SYu, Chetverkina KV, Tsinker MYu. Health risk to the population in Norilsk under exposure of substances polluting ambient air. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(5):528–534. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-528-534
10. May IV, Vekovishina SA, Kleyn SV, Balashov SYu, Andriushunas AM, Goryaev DV. “Pure air” Federal project: practical experience in selecting chemicals for an information system for the analysis of ambient air quality. *Gigiena i Sanitariya*. 2020;99(8):766–772. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-8-766-772
11. Zhizhin NN, D'yakov MS, Khodyashev MB. Analysis of tools aimed at managing ambient air quality in Perm city. *Health Risk Analysis*. 2019;(4):50–59. doi: 10.2166/health.risk/2019.4.05.eng
12. Kiselev AV, Grigoreva YaV. The use of results of the calculation of atmospheric pollution for the social hygienic monitoring. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(4):306–309. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-306-309
13. Lomtev AYu, Eremin GB, Kombarova MYu, Mozzhukhina NA, Nikonor VA. Particular qualities of sanitary-epidemiological examination of sanitary protection zones. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2014;(10(259)):53–56. (In Russ.)
14. Lomtev AYu, Karelina AO, Eremin GB, Volkodavova MV, Naumov IA. [Design and organization of sanitary protection zones in the Russian Federation. Past, present and future]. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya*. 2017;12(2):749–754. (In Russ.)
15. Gorbanev SA, Markova OL, Yeremin GB, Mozzhukhina NA, Kopytenkova OI, Karelina AO. Features of hygienic assessment of atmospheric air quality in the area of the location of the enterprise for the production of mineral fertilizers. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(8):755–761. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-8-755-761
16. Fedorov VN, Tikhonova NA, Novikova YuA, Kovshov AA, Istorik OA, Myasnikov IO. Problems of outdoor air quality hygienic assessment in the cities of the Leningrad region. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(6):657–

664. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-657-664
17. Karelina AO, Lomtev AYu, Volkodava MV, Yeremin GB. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to manage the risk for health. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(1):82-86. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86
18. Kislytsyna VV, Likontseva YuS, Surzhikov DV, Golikov RA. Risk assessment of the impact of atmospheric emissions from a preparation plant on population health. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2020;60(3):184-188. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-3-184-188
19. Zaitseva NV, Shur PZ, Chetverkina KV, Khasanova AA. Developing methodical approaches to substantiating average annual maximum permissible concentrations of hazardous substances in ambient air in settlements as per acceptable health risk. *Health Risk Analysis*. 2020;3(3):38-47. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.05.eng
20. Shur PZ, Zaitseva NV, Khasanova AA, Chetverkina KV, Ukhabov VM. Establishing indicators for assessing non-carcinogenic risks under chronic inhalation exposure to benzene and average annual MPC for benzene as per health risk criteria. *Health Risk Analysis*. 2021;4(4):42-49. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2021.4.04.eng
21. World Health Organization. *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. WHO; 2021. Accessed May 24, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
22. Hassan Bhat T, Jiawen G, Farzaneh H. Air pollution health risk assessment (AP-HRA), principles and applications. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1935. doi: 10.3390/ijerph18041935
23. World Health Organization. *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*. WHO; 2016. Accessed May 24, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>
24. World Health Organization. *Health Risk Assessment of Air Pollution. General Principles*. WHO Regional Office for Europe; 2016. Accessed May 24, 2022. <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/health-risk-assessment-of-air-pollution.-general-principles-2016>
25. European Environment Agency. *Air Quality in Europe – 2020 Report*. EEA Report No. 09/2020. Copenhagen: EEA; 2020. Accessed May 24, 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>





Освещение жилых и общественных зданий: основные проблемы и совершенствование методов контроля

Ю.Н. Сладкова, В.Е. Крийт, О.В. Волчкова, Д.Н. Скляр, В.П. Плеханов

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

Резюме

Введение. Увеличение времени нахождения людей в помещениях различного функционального назначения предъявляет особые требования к качеству искусственной световой среды, которая все чаще компенсирует дефицит естественного света. В 2021 году вступил в силу СанПиН 1.2.3685-21, который установил новые требования к качественным и количественным характеристикам искусственного освещения в помещениях жилых и общественных зданий, что потребовало совершенствования методов инструментального контроля.

Цель исследования состояла в разработке и обосновании требований к организации инструментального контроля, порядку и условиям проведения измерений показателей световой среды в помещениях жилых и общественных зданий в целях контроля их соответствия актуализированным гигиеническим нормативам.

Материалы и методы. Проведен анализ 17 нормативно-методических документов, регламентирующих требования к параметрам световой среды и их измерению, проанализированы более 30 предложений по проведению оценки освещения, поступивших из 28 территориальных органов и организаций Роспотребнадзора, рассмотрены 10 основных вопросов по инструментальному контролю освещения, предложенных к обсуждению на совещаниях «Вопросы организации деятельности лабораторий по контролю за физическими факторами ионизирующей и неионизирующей природы ФБУЗ – центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора» в 2018–2020 гг., а также вопросы по проведению измерений и оценке освещения в помещениях жилых и общественных зданий, возникающие у специалистов Органа инспекции при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы результатов инструментальных исследований качества световой среды.

Результаты. Определены методические подходы к организации и проведению измерений показателей освещения, конкретизирован выбор контролируемых показателей, контрольных точек и условий проведения измерений.

Заключение. При разработке методических указаний по проведению измерений и оценке освещения в помещениях жилых и общественных зданий, а также на прилегающей к ним территории необходимо систематизировать требования действующих методических документов, устранить имеющиеся противоречия, конкретизировать выбор контролируемых показателей, контрольных точек и условий проведения измерений.

Ключевые слова: освещение, жилые и общественные здания, нормирование, гармонизация, параметры световой среды, методы контроля.

Для цитирования: Сладкова Ю.Н., Крийт В.Е., Волчкова О.В., Скляр Д.Н., Плеханов В.П. Освещение жилых и общественных зданий: основные проблемы и совершенствование методов контроля // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 32–40. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-32-40>

Сведения об авторах:

Сладкова Юлия Николаевна – старший научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов; e-mail: Sladkova.julia@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>.

Крийт Владимир Евгеньевич – к.х.н., руководитель отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов; e-mail: v.kriit@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1530-4598>.

Волчкова Ольга Валентиновна – научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов; e-mail: 4291907@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1033-5165>.

Скляр Дмитрий Николаевич – младший научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов; e-mail: d.sklyar@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6839-2181>.

Плеханов Владимир Павлович – научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов; e-mail: wplekhanov@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н.; сбор и обработка материала: Волчкова О.В., Скляр Д.Н., Плеханов В.П.; написание текста: Сладкова Ю.Н.; редактирование: Крийт В.Е. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

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

Статья получена: 17.03.22 / Принята к публикации: 14.04.22 / Опубликована: 31.05.22

Lighting in Residential and Public Buildings: Major Challenges and Improvement of Control Methods

Yuliya N. Sladkova, Vladimir E. Kriyt, Olga V. Volchkova,
Dmitriy N. Sklyar, Vladimir P. Plekhanov

North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: The increase in time people spent in rooms of various functional purposes makes special demands on the quality of artificial lighting, which increasingly compensates for the lack of daylight. In 2021, Russian Sanitary Regulations and Standards SanPiN 1.2.3685-21 came into force setting new requirements for qualitative and quantitative characteristics of artificial lighting in residential and public buildings, thus necessitating improvement of instrumental control methods.

Objective: To develop and substantiate requirements pertaining to organization of instrumental control, procedure and conditions for measuring lighting indicators in the premises of residential and public buildings in order to control their compliance with the updated hygienic standards.

Materials and methods: We reviewed 17 regulatory documents and guidelines containing the requirements for illumination and measurement of its parameters and analyzed more than 30 proposals for lighting assessment received from 28 territorial bodies and institutions of the Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rosпотребнадзор). We also considered ten main issues concerning instrumental control of lighting suggested for discussion at the meetings on activities and assignments of physical laboratories of Rosпотребнадзор Centers for Hygiene

and Epidemiology in 2018–2020 and issues of illumination measurement and assessment in different types of buildings posing challenge for specialists of the Inspection Body in the course of sanitary and epidemiological expert examination of measurement results.

Results: We have determined method approaches to organizing and taking measurements of lighting indicators and specified the choice of monitored parameters, measuring points and conditions.

Conclusion: When developing guidelines for measuring and assessing lighting inside and outside residential and public buildings, it is necessary to systematize the requirements of valid method documents, eliminate existing contradictions, and determine the choice of indicators, measuring points and conditions to be monitored.

Keywords: lighting, residential and public buildings, standardization, harmonization, lighting parameters, control methods.

For citation: Sladkova YuN, Kriyt VE, Volchkova OV, Sklyar DN, Plekhanov VP. Lighting in residential and public buildings: Major challenges and improvement of control methods. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):32–40. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-32-40>

Author information:

Yuliya N. **Sladkova**, Senior Researcher, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: Sladkova.julia@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>.

✉ Vladimir E. **Kriyt**, Cand. Sci. (Chem.), Head of the Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: v.kriyt@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1530-4598>.

Olga V. **Volchkova**, Research Fellow, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: 4291907@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1033-5165>.

Dmitriy N. **Sklyar**, Junior Researcher, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: d.sklyar@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6839-2181>.

Vladimir P. **Plekhanov**, Research Fellow, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: wplekhanov@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Author contributions: study conception and design: *Kriyt V.E., Sladkova Yu.N.*; data collection and processing: *Volchkova O.V., Sklyar D.N., Plekhanov V.P.*; manuscript preparation: *Sladkova Yu.N.*; revision: *Kriyt V.E.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this work.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 17, 2022 / Accepted: April 14, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Свет является важнейшим фактором окружающей и производственной среды, одним из важнейших элементов организации жилого пространства, обеспечивающим не только зрительное восприятие, но и воздействие на все системы организма человека [1–3]. Свет постоянно воздействует на общее состояние человека, повышает настроение и умственную работоспособность [4], улучшает самочувствие, оказывает влияние на циркадные ритмы [5]. Во всем мире признана гигиеническая, оздоровительная, экологическая и энергетическая роль естественного освещения [6]. Инсоляция и естественное освещение помещений жилых и общественных зданий, с одной стороны, обеспечивают безопасность проживания, профилактику заболеваний [7, 8] и психофизиологический комфорт [1, 9], а с другой – определяют условия размещения зданий городской застройки, влияют на их этажность и плотность застройки [10–12]. Наличие естественного света в достаточном количестве в закрытых (замкнутых) помещениях оказывает тонизирующее, благоприятное физиологическое и психологическое воздействие на организм человека, особенно такого, у которого не завершены процессы роста и развития [4].

В современном мире человек все больше времени проводит в помещениях разного функционального назначения: жилых, общественных и производственных [13]. По разным данным, большинство людей в развитых странах проводят около 80–90 % времени жизни внутри помещений, в том числе около 60 % – внутри личных квартир и домов, при этом наиболее чувствительные группы населения (пожилые люди, дети, инва-

лиды и беременные женщины) находятся дома больше времени, чем остальное население [3, 14]. Увеличение времени нахождения в закрытых (замкнутых) помещениях, часто с недостаточным естественным освещением, предъявляет особые требования к качеству искусственной световой среды, которая, несмотря на биологическую неадекватность естественного и искусственного света равной интенсивности, сохраняющуюся и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света [15], все чаще компенсирует дефицит естественного света [16, 17]. Под качественным искусственным освещением сегодня принято понимать энергоэффективное и безопасное освещение: освещение должно соответствовать функциональному назначению помещения, быть достаточным для предотвращения угрозы причинения вреда здоровью людей, равномерным и непульсирующим, не оказывать слепящего действия, а также вредного воздействия на внутреннюю среду помещения.

Требование к обеспечению в помещениях естественного или совмещенного, а также искусственного освещения регламентировано Федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ¹ а практически эквивалентные нормативные требования установлены санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685–21² и, на этапе проектирования, сводом правил СП 52.13330.2016³. История этих документов представлена в табл. 1.

Необходимо отметить, что первые гигиенические требования к параметрам световой среды в помещениях жилых и общественных зданий были введены в действие в 2003 году, а в помещениях производственных зданий – только в 2017 году.

¹ Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (ст. 23).

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

³ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95». Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2016 г. № 777/пр и введен в действие с 8 мая 2017 г.

Таблица 1. Хронология нормирования освещения в Российской Федерации
Table 1. Chronology of lighting regulations in the Russian Federation

Номер документа / Document No.	Название документа / Document title	Срок действия документа, примечание / Validity period, notes
СНиП II-В. 6-54 / SNiP II-B. 6-54	Искусственное освещение / Artificial lighting	Действовал с 01.01.1955 по 30.09.1971 / Valid from Jan 1, 1955 to Sept 30, 1971
СНиП II-В. 5-54 / SNiP II-B. 5-54	Естественное освещение / Natural lighting	Действовал с 01.01.1955 по 30.09.1962 / Valid from Jan 1, 1955 to Sept 30, 1962
СНиП II-А. 8-62 / SNiP II-A. 8-62	Естественное освещение. Нормы проектирования / Natural lighting. Design standards	Действовал с 01.10.1962 по 31.12.1972 / Valid from Oct 1, 1962 to Dec 31, 1972
СНиП II-А. 8-72 / SNiP II-A. 8-72	Естественное освещение. Нормы проектирования / Natural lighting. Design standards	Действовал с 01.01.1973 по 31.12.1979 / Valid from Jan 1, 1973 to Dec 31, 1979
СНиП II-А 9-71 / SNiP II-A 9-71	Искусственное освещение. Нормы проектирования / Artificial lighting. Design standards	Действовал с 01.10.1971 по 31.12.1979 / Valid from Oct 1, 1971 to Dec 31, 1979
СНиП II-4-79 / SNiP II-4-79	Естественное и искусственное освещение / Natural and artificial lighting	Действовал с 01.01.1980 по 31.12.1995 / Valid from Jan 1, 1980 to Dec 31, 1995
СНиП 23-05-95 (СП 52.13330.2010) / SNiP 23-05-95 (SP 52.13330.2010)	Естественное и искусственное освещение / Natural and artificial lighting	Действовал с 01.01.1996 по 25.05.2015 (Письмо Минстроя РФ № 15912-АБ/08) / Valid from Jan 1, 1996 to May 25, 2015 (Letter of the Ministry of Construction of the Russian Federation No. 15912-AB/08)
СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 / SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03	Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий / Hygienic requirements for natural, artificial and combined lighting in residential and public buildings	Действовали с 15.06.2003 по 28.02.2021 / Valid from June 15, 2003 to Feb 28, 2021
СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 / SanPiN 2.2.1/2.1.1.2585-10	Изменения и дополнения № 1 к СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» / Amendments and additions No. 1 to SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03 “Hygienic requirements for natural, artificial and combined lighting in residential and public buildings”	Действовали с 19.04.2010 по 28.02.2021 / Valid from Apr 19, 2010 to Feb 28, 2021
СП 52.13330.2011 / SP 52.13330.2011	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 / Natural and artificial lighting. An update of SNiP 23-05-95	Действовал с 20.05.2011 по 31.07.2020. Был частично отменен с 08.05.2017 приказом Минстроя РФ от 07.11.2016 № 777/пр / Valid from May 20, 2011 to July 31, 2020; partially canceled from May 8, 2017 by Order No. 777/pr of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated Nov 7, 2016
СанПиН 2.2.4.3359-16 / SanPiN 2.2.4.3359-16	Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах / Sanitary and epidemiological requirements for physical factors at workplaces	Действовал с 01.01.2017 по 28.02.2021 / Valid from Jan 1, 2017 to Feb 28, 2021
СанПиН 1.2.3685-21 / SanPiN 1.2.3685-21	Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / Hygienic standards and requirements for ensuring safety and/or security of environmental factors for humans	Действует с 01.03.2021 по 28.02.2027 / Currently valid from Mar 1, 2021 to Feb 28, 2027
СП 52.13330.2016 / SP 52.13330.2016	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 / Natural and artificial lighting. An update of SNiP 23-05-95	Действует с 08.05.2017 с изменением № 1 от 21.05.2020. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 28.05.2021 № 815 ⁴ применяется для целей технического регламента ⁵ / Currently valid from May 8, 2017 with Amendment No. 1 of May 21, 2020. According to Decree No. 815 of the Government of the Russian Federation dated May 28, 2021, it is used for the purposes of technical regulations
Изменение № 2 к СП 52.13330.2016 / Amendment No. 2 to SP 52.13330.2016	Изменение № 2 к СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение» / Amendment No. 2 to SP 52.13330.2016 “SNiP 23-05-95, Natural and artificial lighting”	Публичное обсуждение проекта 20.10.2021 Действует с 29.01.2022 / Public discussion of the project on Oct 20, 2021. Currently valid from Jan 29, 2022

Abbreviations (transliterated): SNiP, Building Code; SanPiN, Sanitary Regulations and Standards; SP, Code of Practice.

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2021 № 815 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”, и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 04.07.2020 № 985» (п. 34).

⁵ Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

До появления этих документов основными регламентирующими документами в области световой среды являлись строительные нормы и правила, а с 2010 года – своды правил [18].

Действующая на сегодняшний день редакция свода правил СП 52.13330.2016⁶ включена в перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 28.05.2021 № 815. Данный документ как по качественным, так и по количественным характеристикам искусственной световой среды во многом соответствует европейскому стандарту EN 12464-1-2011⁷ (актуализированная редакция EN 12464-1-2003), который является основным документом по нормированию освещенности во всех европейских странах и регламентирует необходимые зрительные условия (в зависимости от сложности зрительной задачи) для большинства рабочих мест и помещений, встречающихся как в производственных, административно-управленческих, проектных и дизайнерских офисах, так и в учебных, зрелищных, лечебных и других видах помещений, при этом не требуется трудоемкого определения разряда зрительных работ, необходимого для оценки параметров освещения на рабочих местах в производственных помещениях по российским нормам. В европейском стандарте нормируется освещенность в зоне выполнения задачи и в зоне непосредственного окружения, при этом освещение может быть обеспечено как естественным светом, так и искусственными источниками света или их комбинацией. На основе данного стандарта приняты международные нормы внутреннего освещения ISO 8995-1:2002/Cor.1:2005⁸, которым также практически соответствует российский стандарт ГОСТ Р 55710–2013⁹.

Нормативная база в области гигиены освещения также совершенствуется, проводится гармонизация с общеевропейскими стандартами [19], разрабатываются решения по внедрению энергоэффективных источников света, современных осветительных установок, учитываются современные сведения в области проектирования освещения [3].

В 2021 году введены в действие санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685–21¹⁰, которые существенно изменили требования к искусственному освещению помещений жилых и общественных зданий в сравнении с ранее действующими СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03¹¹, что позволило обеспечить идентичные с европейскими нормами показатели искусственной освещенности. В качестве нормируемых показателей представлены средняя освещенность (вместо минимальной), объединенный показатель дискомфорта (вместо

показателя дискомфорта), индекс цветопередачи, изменены требования к коррелированной цветовой температуре применяемых источников света, а также в качестве контролируемого показателя представлена цилиндрическая освещенность как критерий оценки насыщенности помещений светом [20]. Однако имеются некоторые различия в количественной характеристике показателей, имеются различия и в подходах к нормированию отдельных показателей (например, коэффициента пульсации освещенности (K_n): в российских нормативах K_n имеет количественную характеристику, в европейском стандарте имеется только указание на необходимость проектирования системы освещения таким образом, чтобы избежать негативных последствий мерцания и стробоскопического эффекта). Требования к естественному и совмещенному освещению остались без изменений, так как естественное освещение в принципе не может быть полностью гармонизировано вследствие различий в климатических и светоклиматических режимах.

Одним из перспективных направлений развития российской нормативной базы является разработка нормативов для обеспечения не только безопасной, но и комфортной световой среды, требующей такого сочетания количественных и качественных показателей искусственного освещения, при которых создаются наиболее благоприятные условия для функционирования зрительного анализатора организма человека в целом [3, 21, 22], при этом поиск компромисса между комфортом и энергоэффективностью будет иметь ведущее значение. Одним из значимых инструментов экономии электроэнергии на освещении, который позволит не только не нарушать нормы, но и обеспечивать повышенные уровни освещенности, является управление освещением [23]. Именно на создание комфортной световой среды ориентирован новый европейский стандарт EN 12464-1:2021¹², принятый Европейским комитетом по стандартизации (CEN) 25.08.2021, который дополнил предыдущую версию повышенными требованиями к освещению для отдельных задач и типов помещений (а также при наличии условий для поддержания более высоких уровней освещения), требованиями к освещению окружающего пространства (потолков и стен), включил конкретные требования по организации управляемого освещения. Аналогичный подход предложен в изменении № 2 к СП 52.13330.2016¹³: в документе представлены требования к комфорtnому освещению помещений промышленных предприятий, помещений жилых, общественных и административно-бытовых зданий, а также к применению осветительных установок с динамическим управлением с целью обеспечения рационального расходования электроэнергии и создания оптимальных условий для жизнедеятельности человека, биологически и эмоционально эффективного освещения.

⁶ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».

⁷ EN 12464-1:2011, *Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places* [Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1. Рабочие места в помещении] (заменен в 2021 г.).

⁸ ISO 8995-1:2002/Cor.1:2005, *Lighting of indoor work places – Part 1: Indoor – Technical Corrigendum 1* [Освещение внутреннее рабочих мест. Часть 1. Внутреннее освещение. Техническая поправка].

⁹ ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».

¹⁰ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».

¹¹ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 6 апреля 2003 г.

¹² EN 12464-1:2021 «Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places».

¹³ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».

Изменение нормативных требований в 2021 году привело к необходимости совершенствования методического обеспечения и разработки методических указаний по проведению инструментального контроля параметров световой среды в помещениях жилых и общественных зданий, систематизирующих положения действующих стандартов, нивелирующих имеющиеся противоречия и учитывающих международный опыт.

В подтверждение вышесказанного, необходимо отметить, что в структуре исследований физических факторов неионизирующей природы удельный вес измерений параметров освещения составляет 25,2 % и занимает 2-е место после исследований микроклимата, удельный вес измерений которого составляет 50,9 %¹⁴.

Цель исследования – разработка и обоснование требований к организации инструментального контроля, порядку и условиям проведения измерений показателей световой среды в помещениях жилых и общественных зданий в целях контроля их соответствия актуализированным гигиеническим нормативам.

Материалы и методы. В ходе выполнения данной работы был проведен анализ 17 нормативно-методических документов, регламентирующих требования к параметрам световой среды и их измерению. Согласно поручению Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека специалистами ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» в 2020 г. были обобщены и проанализированы предложения по проведению оценки физических факторов неионизирующей природы (по фактору «Освещение» из 28 территориальных органов и организаций Роспотребнадзора поступило более 30 предложений о необходимости актуализации нормативно-ме-

тических документов). Дополнительно были рассмотрены 10 вопросов по инструментальному контролю освещения, предложенных к обсуждению на совещаниях «Вопросы организации деятельности лабораторий по контролю за физическими факторами ионизирующей и неионизирующей природы ФБУЗ – центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора» в 2018–2020 гг., а также основные вопросы по проведению измерений и оценке освещения в помещениях жилых и общественных зданий, возникающие у специалистов Органа инспекции при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы результатов инструментальных исследований качества световой среды. Методологическую основу исследования составил комплекс общеаучных методов: аналитический, системно-структурный и сравнительный.

Результаты. В настоящее время проведение измерений показателей световой среды проводится по представленным в табл. 2 методическим документам, большинство из которых устанавливают методы измерения на рабочих местах. Методы измерения показателей освещения в жилых и общественных зданиях (а также на прилегающей к ним территории) представлены только в нескольких государственных стандартах.

Отдельные методические подходы были представлены в санитарных правилах и нормативах СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03¹⁵, с отменой которых остается открытым вопрос определения точек нормирования коэффициента естественного освещения (КЕО) в жилых и общественных зданиях. В настоящее время определение точек расчета КЕО с учетом функционального назначения помещений представлено только в своде строительных правил СП 52.13330.2016¹⁶, однако область применения данного документа ограничена проектируемыми объектами. Сохранение данного

Таблица 2. Действующие в Российской Федерации методические документы по фактору «Освещение»

Table 2. Lighting Guidelines in force in the Russian Federation

Номер документа / Document No.	Название документа / Document title
МУ 2.2.4.706–98/МУ ОТ РМ 01–98 / MU 2.2.4.706–98/ MU OT RM 01–98	Оценка освещения рабочих мест / Assessment of workplace lighting
МУК 4.3.2812–10 / MUK 4.3.2812–10	Инструментальный контроль и оценка освещения рабочих мест / Instrumental control and assessment of workplace lighting
ГОСТ Р 55707–2013 / GOST R 55707–2013	Освещение наружное утилитарное. Методы измерений нормируемых параметров / Road lighting. Methods of normative performance measurements
ГОСТ Р 55709–2013 / GOST R 55709–2013	Освещение рабочих мест вне зданий. Нормы и методы измерений / Lighting of outdoor work places. Norms and methods of measuring
ГОСТ Р 55710–2013 / GOST R 55710–2013	Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений / Lighting of indoor work places. Norms and methods of measuring
ГОСТ 33392–2015 / GOST 33392–2015	Здания и сооружения. Метод определения показателя дискомфорта при искусственном освещении помещений / Buildings and structures. Methods for determining unified glare rating in interior lighting
ГОСТ 33393–2015 / GOST 33393–2015	Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности / Buildings and structures. Methods for measuring of illuminance pulsation factor
ГОСТ 24940–2016 / GOST 24940–2016	Здания и сооружения. Методы измерения освещенности / Buildings and structures. Methods for measuring the illuminance
МИ СС.ИНТ-07.01–2018 / MI SS. INT-07.01–2018	Методика измерений показателей световой среды для целей специальной оценки условий труда / Lighting measurement technique for the purposes of special assessment of working conditions

Abbreviations (transliterated): MU/MUK, guidelines for control methods; MU OT RM, guidelines for occupational safety at work; GOST (R), federal government standard (Russ.); MI SS.INT, lighting measurement technique.

¹⁴ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.

¹⁵ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

¹⁶ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».

подхода в методических документах по проведению измерений и оценке освещения в жилых и общественных зданиях позволит не только получить объективную оценку естественного освещения в помещениях, но и обеспечить единый алгоритм выбора контрольных точек (точек расчета и точек измерений) на этапах проектирования и эксплуатации объектов.

Основные противоречия в документах отмечены по выбору контрольных точек (например, для измерения в помещениях естественной и цилиндрической освещенности) и подходам к оценке полученных результатов измерений показателей световой среды в зависимости от значений напряжения в электрической сети системы освещения за период выполнения измерений оцениваемого показателя.

В рамках выполнения работы по разработке и обоснованию требований к организации инструментального контроля, порядку и условиям проведения измерений показателей световой среды в помещениях жилых и общественных зданий были проанализированы основные вопросы и предложения по проведению измерений естественного и искусственного освещения.

Вопросы, связанные с проведением измерений показателей искусственного освещения, затрагивали проблемы выбора показателей для проведения измерений в связи с изменением перечня контролируемых показателей, конкретизации проведения измерений средней освещенности (в том числе с учетом естественного фона), равномерности освещенности, вертикальной освещенности окон при оценке засветки окон световыми приборами всех видов наружного освещения, энергетической освещенности ультрафиолетового излучения от источников света, напряжения электрической сети питания осветительных приборов, а также представления результатов измерений (какие значения должны быть представлены в протоколе исследования, учет расширенной неопределенности измерений и др.).

При проведении измерений естественной освещенности для расчета КЕО были определены 2 основные проблемы: выбор контрольных точек для проведения измерений (расположение и количество контрольных точек в помещении) и невозможность выполнения требований действующего стандарта к проведению измерений в эксплуатируемых помещениях, в том числе по жалобам населения на затенение окон внешними объектами.

Обсуждение. Первая проблема, возникающая при проведении измерений естественной освещенности, связана с отменой СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03¹⁷, в разделе 2 которого были представлены методические подходы к определению точек нормирования для помещений разного функционального назначения, в том числе в зданиях, расположенных в центральной части и исторических зонах города (п. 2.6.1). Действующие в настоящее время ГОСТ 24940–2016¹⁸ (п. 5.9) и СП 52.13330.2016¹⁹

(раздел 5) предлагают разные требования к выбору контрольных точек для проведения расчетов и измерений, что, как следствие, приводит к неоднозначной трактовке полученных результатов. Также необходимо решение вопроса о выборе контрольных точек в помещениях, имеющих функциональные зоны с различными нормативами (например, квартиры-студии и жилые помещения с кухнями-нишами): в данном случае целесообразно проведение измерений в каждой выделенной функциональной зоне.

Вторая проблема определена невозможностью выполнения требований п. 5.3 ГОСТ 24940–2016 (проведение измерений в свободных от мебели и оборудования помещениях, не затеняемых зеленением и деревьями) в эксплуатируемых помещениях, в том числе по жалобам населения на затенение световых проемов зелеными насаждениями и др. объектами: в данном случае необходимо предусмотреть возможность проведения измерений в реальных условиях с внесением данной информации в протокол исследования.

Основная часть вопросов была связана с инструментальным контролем искусственного освещения, так как гармонизация гигиенических нормативов была проведена именно в этой области нормирования. Перечень контролируемых показателей естественного и искусственного освещения в помещениях жилых и общественных зданий, а также искусственного освещения на прилегающей к зданиям территории согласно действующим актуализированным гигиеническим нормативам²⁰ может включать следующие показатели: среднюю освещенность ($E_{ср}$, лк), равномерность освещенности (U_o), коэффициент пульсации освещенности (K_o , %), цилиндрическую освещенность (E_o , лк), объединенный показатель дискомфорта (UGR, отн. ед.), индекс цветопередачи (R_a), коррелированную цветовую температуру, КЦТ ($T_{цк}$, К), среднюю вертикальную освещенность окон зданий ($E_{a,ср}$, лк), энергетическую освещенность ультрафиолетового излучения от источников освещения (E_e , Вт/м²), коэффициент естественной освещенности, КЕО (e , %), среднюю горизонтальную освещенность покрытия на контрольном участке (lk), среднюю вертикальную освещенность на площадках входа в жилые здания (lk).

Показатели для инструментального контроля выбираются согласно требованиям санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21²¹ конкретно для каждого помещения с учетом его функционального назначения и целей проводимых исследований. Необходимо сразу отметить, что такие показатели искусственного освещения, как объединенный показатель дискомфорта, индекс цветопередачи и коррелированная цветовая температура могут быть исключены из перечня показателей, требующих проведения измерений. Объединенный показатель дискомфорта для общего искусственного освещения помещений не имеет инструментальных методов измерений и определяется на стадии проектирования расчетным

¹⁷ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

¹⁸ ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».

¹⁹ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».

²⁰ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

²¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

методом в соответствии с ГОСТ 33392–2015²², для принятия решения о возможном использовании расчетных данных необходимо на этапе ознакомления с документацией по объекту и его предварительного обследования сопоставить реальное состояние осветительных установок (количество, расположение, защитный угол светильников и т. д.) и материалы проекта. Информацию об индексе цветопередачи и коррелированной цветовой температуре можно получить из маркировки искусственного источника света.

Оценка достаточности естественного освещения в помещениях также может быть выполнена по значениям КЕО в проектной документации. Данный подход применим только при соответствии существующей ситуации проектным материалам. При отсутствии проектной документации или отсутствии на строительных чертежах значений КЕО определение значений КЕО проводится путем расчета²³. Инструментальные измерения проводятся при необходимости подтверждения принятых расчетных параметров, в том числе при наличии жалоб населения.

Выбор контрольных точек и определение их количества для измерений средней освещенности в помещении проводится согласно ГОСТ 24940–2016⁹ (п. 5.6), т. к. сетка для проведения измерений средней освещенности позволяет определить точку с минимальным значением освещенности в помещении для проведения расчетов равномерности освещенности и максимальным значением освещенности – для проведения измерений энергетической освещенности ультрафиолетового излучения от источников света. Также необходимо отметить, что представленная в российском стандарте сетка проведения расчетов и измерений средней освещенности практически полностью соответствует европейскому стандарту. Возможно внесение дополнений о предпочтительности ячеек сетки, близких к квадрату, и исключении из области измерений полосу вдоль стен шириной не более 10 % ширины помещения для узких помещений (шириной < 2 м).

Особого внимания требуют выявленные сложности в проведении измерений напряжения в осветительной сети и вертикальной освещенности окон при оценке засветки окон системами наружного освещения.

На сегодня в соответствии с ГОСТ 24940–2016²⁴, МУ 2.2.4.706–98/МУ ОТ РМ 01–98²⁵ МУК 4.3.2812–10²⁶, МИ СС.ИНТ-07.01–2018²⁷, а также ГОСТ Р 55707–2013²⁸ требуется проведение измерений напряжения тока в осветительной сети до и после проведения измерений показателей

²² ГОСТ 33392–2015 «Здания и сооружения. Метод определения показателя дискомфорта при искусственном освещении помещений».

²³ СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий».

²⁴ ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».

²⁵ МУ 2.2.4.706–98/МУ ОТ РМ 01–98 «Оценка освещения рабочих мест».

²⁶ МУК 4.3.2812–10 «Инструментальный контроль и оценка освещения рабочих мест».

²⁷ МИ СС.ИНТ-07.01–2018 «Методика измерений показателей световой среды для целей специальной оценки условий труда».

²⁸ ГОСТ Р 55707–2013 «Освещение наружное утилитарное. Методы измерений нормируемых параметров».

²⁹ ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».

³⁰ МИ СС.ИНТ-07.01–2018 «Методика измерений показателей световой среды для целей специальной оценки условий труда».

³¹ ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».

³² Письмо Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 13.06.2012 № 01/6620-12-32 «Об оценке данных, получаемых при инструментальных измерениях физических факторов неоизназирующей природы» (п. 7).

³³ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

включен в СанПиН 1.2.3685–21³⁴). Это имеет большое практическое значение, так как проведение измерений яркости дорожного покрытия трудоемко и в условиях российского климата практически невозможно [22, 24].

Заключение. В связи с необходимостью единого подхода к определению перечня нормируемых показателей в нормативных документах санитарного законодательства, сводах строительных правил и международных стандартов в 2021 году был установлен новый расширенный перечень контролируемых показателей световой среды в жилых и общественных зданиях. Изменения в нормировании параметров световой среды привело к необходимости совершенствования методов инструментального контроля. При разработке методических указаний по проведению измерений и оценке освещения в помещениях жилых и общественных зданий, а также на прилегающей к ним территории необходимо систематизировать требования действующих методических документов, устранить имеющиеся противоречия, конкретизировать выбор контролируемых показателей, контрольных точек и условий проведения измерений.

Список литературы

1. Скобарева З.А. О биологических аспектах освещения. Светотехника. 2006. № 1. С. 52–53.
2. Носков С.Н., Мозжухина Н.А., Калинина Н.И., Еремин Г.Б., Вычейская Д.С. Об актуализации гигиенических требований к естественному, искусственному и совмещенному освещению помещений жилых зданий // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 10 (319). С. 40–45. DOI 10.35627/2219-5238/2019-319-10-40-45.
3. Еремин Г.Б., Ломтев А.Ю., Карелин А.О. и др.; Горбанев С.А., Фридман К.Б., ред. Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности условий проживания. СПб: «Наука», 2020. 265 с.
4. Новикова И.И., Зубцовская Н.А., Лобкис М.А., Ивлева Г.П. Гигиеническое нормирование естественного освещения: проблемы, задачи, международный опыт (обзорная статья) // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 3 (324). С. 10–15. doi: 10.35627/2219-5238/2020-324-3-10-15
5. Ендиярова Н.В., Толстоба Н.Д. Разработка рекомендаций по системам освещения мест общественного питания // Светотехника. 2021. № 5. С. 22–8.
6. Блинов В.А., Смирнов Л.Н., Блинов В.В. Совершенствование естественного освещения в жилых и офисных зданиях // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2012. № 2. С. 23–26.
7. Скобарева З.А., Текшева Л.М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // Светотехника. 2003. № 4. С. 7–13.
8. Шмаров И.А., Земцов В.А., Гуськов А.С., Бражникова Л.В. Инсоляция помещений как средство ограничения распространения COVID-19, гриппа и ОРВИ в городской среде // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 4. С. 83–92.
9. Соловьев А.К., Дорожкина Е.А. Современное понимание роли естественного освещения при проектировании зданий // Жилищное строительство. 2021. № 11. С. 46–52.
10. Шмаров И.А., Земцов В.А., Коркина Е.В. Инсоляция: практика нормирования и расчета // Жилищное строительство. 2016. № 7. С. 48–53.
11. Фокин С.Г., Бобкова Т.Е., Шишова М.С. Оценка гигиенических принципов нормирования инсоляции в условиях крупного города на примере Москвы // Гигиена и санитария. 2003. № 2. С. 9–10.
12. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Экологические аспекты инсоляции жилых и общественных зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2012. № 2(930). С. 38–41.
13. Внукова О., Элер О. Освещение в современном офисе: комфорт, дизайн и энергосбережение // Полупроводниковая светотехника. 2014. Т. 4. № 30. С. 72–75.
14. Горбанев С.А., Еремин Г.Б., Вычейская Д.С. и др. Об обосновании предложений по изменениям и дополнениям санитарно-эпидемиологических требований к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 7. С. 707–712. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-7-707-712
15. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Эволюция искусственного освещения: взгляд гигиениста. М.: РАН, 2021. 632 с.
16. Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н. Искусственное освещение. Проблемы нормирования в жилых и общественных зданиях // Профилактическая медицина-2018: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под ред. д-ра мед. наук, проф. С.А. Сайганова. СПб, 29–30 ноября 2018 года. Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2018. Ч. 1. С. 296–302.
17. Сладкова Ю.Н., Крийт В.Е. Актуальные вопросы гигиенического нормирования искусственного освещения в жилых и общественных зданиях // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 2. С. 834–842.
18. Коробко А.А., Черняк А.Ш., Шмаров И.А. Новые нормы освещения // Светотехника. 2011. № 4. С. 62–64.
19. Сысоева Е.А., Подольная Н.Н. Нормы искусственного освещения: российский и европейский опыт // Безопасность жизнедеятельности. 2018. № 7 (211). С. 3–11.
20. Соловьев А.К. Современные подходы к нормированию естественного освещения жилых зданий. Результаты исследований // Светотехника. 2020. № 4. С. 5–10.
21. Внукова О. Освещение офисных пространств с учетом суточных биоритмов человека // Полупроводниковая светотехника. 2014. Т. 5. № 31. С. 24–25.
22. Яркая действительность освещенности светотехнических стандартов // Полупроводниковая светотехника. 2014. Т. 2. № 28. С. 8–10.
23. Щепетков Н.И. Энергоэффективный подход к освещению помещений и городской среды // Энергосбережение. 2016. № 3. С. 20–27. Доступно по: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6399(дата доступа: 24.05.2022).
24. Коробко А.А., Черняк А.Ш., Живописцев И.Ф. Совершенствование норм и методов контроля освещения автомобильных дорог – важный фактор повышения безопасности движения // Мир дорог. 2013. № 69. С. 34–36.

References

1. Skobareva ZA. [On biological aspects of lighting.] *Svetotekhnika*. 2006;(1):52-53. (In Russ.)
2. Noskov SN, Mozzhukhina NA, Kalinina NI, Eremin GB, Vyucheiskaya DS. On actualization of hygienic requirements to natural, artificial and combined lighting of residential buildings premises. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019;(10(319)):40-45. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-319-10-40-45
3. Eremin GB, Lomtев AYu, Karelina AO, et al.; Gorbanev SA, Friedman KB, eds. [Ensuring Sanitary

³⁴ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

- and Epidemiological Safety of Living Conditions.]* St. Petersburg: Nauka Publ.; 2020. (In Russ.)
- Novikova II, Zubtsovskaya NA, Lobkis MA, Ivleva GP. Hygienic standardization of daylight: problems, tasks, and international experience (literature review). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2020;(3(324)):10-15. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-324-3-10-15
 - Endiyarova NV, Tolstoba ND. [Development of recommendations for lighting systems for public catering facilities.] *Svetotekhnika.* 2021;(5):22-28. (In Russ.)
 - Blinov VA, Smirnov LN, Blinov VV. [Improvement of natural lighting in residential and office buildings.] *Akademicheskiy Vestnik UralNIIproekt RAASN.* 2012;(2):23-26. (In Russ.)
 - Skobareva ZA, Teksheva LM. [Biological aspects in hygienic assessment of natural and artificial lighting.] *Svetotekhnika.* 2003;(4):7-13. (In Russ.)
 - Shmarov IA, Zemtsov VA, Guskov AS, Brazhnikova LV. Insolation of premises as a means of limiting the spread of COVID-19, influenza, and acute respiratory viral infections in an urban environment. *Academia. Arhitektura i Stroitel'stvo.* 2020;(4):83-92. (In Russ.) doi: 10.22337/2077-9038-2020-4-83-92
 - Soloviev AK, Dorozhkina EA. Modern understanding of the role of natural lighting in the design of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo.* 2021;(11):46-52. (In Russ.) doi: 10.31659/0044-4472-2021-11-46-52
 - Shmarov IA, Zemtsov VA, Korkina EV. Insolation: practice of regulation and calculation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo.* 2016;(7):48-53. (In Russ.)
 - Fokin SG, Bobkova TYe, Shishova MS. Assessment of hygienic principles in the standardization of insolation under the conditions of a city in case of Moscow. *Gigiena i Sanitariya.* 2003;(2):9-10. (In Russ.)
 - Zemtsov VA, Gagarina EV. Environmental aspects of insulation of residential and public buildings. *BST: Byulleten' Stroitel'noy Tekhniki.* 2012;(2(930)):38-41. (In Russ.)
 - Vnukova O, Eler O. [Lighting in a modern office: comfort, design and energy saving.] *Poluprovodnikovaya Svetotekhnika.* 2014;4(30):72-75. (In Russ.)
 - Gorbanev SA, Mozzhukhina NA, Yeremin GB, et al. On proposals for alterations and additions to sanitary-epidemiological requirements to living conditions in residential buildings and premises. *Gigiena i Sanitariya.* 2019;98(7):707-712. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-7-707-712
 - Kaptsov VA, Deinego VN. [Evolution of Artificial Lighting: A Hygienist's Perspective.] Moscow: RAN Publ.; 2021. (In Russ.)
 - Kriyt VE, Sladkova YuN. [Artificial lighting. Problems of rationing in residential and public buildings.] In: *Preventive Medicine – 2018: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, November 29-30, 2018.* Sayganov SA, ed. St. Petersburg: SZGMU im. I.I. Mechnikova Publ.; 2018;(Pt 1):296-302. (In Russ.)
 - Sladkova YuN, Kriyt VE. Current issues of hygienic regulation of artificial lighting in residential and public buildings. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2018;13(2):834-842. (In Russ.)
 - Korobko AA, Chernyak ASh, Shmarov IA. [New lighting standards.] *Svetotekhnika.* 2011;(4):62-64. (In Russ.)
 - Sysoeva EA, Podolnaya NN. Standards of artificial lighting: Russian and European experience. *Bezopasnost', Zhiznedeyatel'nosti.* 2018;(7(211)):3-11. (In Russ.)
 - Soloviev AK. [Modern approaches to regulating natural lighting in residential buildings. Research results.] *Svetotekhnika.* 2020;(4):5-10. (In Russ.)
 - Vnukova O. [Lighting of office spaces with account for daily human biorhythms.] *Poluprovodnikovaya Svetotekhnika.* 2014;5(31):24-25. (In Russ.)
 - [Bright reality of illumination of lighting engineering standards.] Interview with Shmarov IA, Head of the Laboratory of Construction Lighting, Research Institute of Building Engineering Physics. *Poluprovodnikovaya Svetotekhnika.* 2014;(2(28)):8-10. (In Russ.)
 - Schepetkov NI. Energy efficient approach to room and urban environment illumination. *Energosбережение.* 2016;(3):20-27. (In Russ.) Accessed May 24, 2022. http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6399
 - Korobko AA, Chernyak ASh, Zhivopistsev IF. [Improvement of standards and methods for monitoring road lighting is an important factor in enhancing traffic safety.] *Mir Dorog.* 2013;(69):34-36. (In Russ.)





Оценка воздействия на здоровье населения Мурманской области тяжелых металлов, содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков

В.Н. Федоров¹, А.Н. Кизеев¹, Ю.А. Новикова¹, Н.А. Тихонова¹, А.А. Ковшов^{1,2}

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

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

Резюме

Введение. Исследования ягод дикорастущих кустарничков, проводившиеся в Мурманской области, показали повышенное накопление ряда тяжелых металлов, особенно вблизи комбината «Североникель». Отмечалось существенное накопление поллютантов в чернике, бруснике и воронике.

Цель исследования заключалась в оценке воздействия на здоровье населения Мурманской области содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков никеля и меди.

Материалы и методы. Объектом исследований послужили ягоды черники, брусники и вороники. Оценка риска здоровью населения проводилась в соответствии с Руководством Р 2.1.10.1920-04. Отбор растительных образцов проводился в августе – сентябре 2016–2018 гг. на 10 стационарных мониторинговых площадках, расположенных вдоль градиента промышленного загрязнения по розе ветров в меридиональном (южном) направлении от комбината «Североникель».

Результаты. Значения канцерогенного риска, обусловленного поступлением никеля из исследованных ягод, характеризуются как неприемлемо высокие (более 1,0E-03) применительно ко всем мониторинговым площадкам. Расчетные значения хронического неканцерогенного риска от воздействия никеля также характеризуются неприемлемо высокими значениями. Значения хронического неканцерогенного риска от воздействия меди характеризуются как неприемлемо высокие лишь от употребления вороники. Значения индекса неканцерогенной опасности при одностороннем действии меди и никеля на органы пищеварительной системы и печень характеризуются как неприемлемо высокие (более 1,0) применительно к большинству мониторинговых площадок для ягод всех изучаемых растений.

Обсуждение. Высокие значения риска для здоровья населения диктуют необходимость разработки гигиенических рекомендаций по их снижению: ограничение потребления ягод на уровне не более 6 кг в год, отказ от сбора ягод, произрастающих на расстоянии менее 15 км от комбината «Североникель» и др.

Выводы. Прогнозируемые уровни канцерогенного и неканцерогенного рисков, обусловленные воздействием никеля и меди, оцениваются как неприемлемо высокие, что свидетельствует о выраженном индустриальном воздействии на бореальные экосистемы в зоне влияния предприятия, распространяющегося более чем на 15 км от его промышленной площадки. Необходима разработка гигиенических рекомендаций для населения, употребляющего в пищу собираемые в зоне влияния комбината «Североникель» дикорастущие ягоды черники, брусники и вороники.

Ключевые слова: Мурманская область, ягоды, дикорастущие кустарнички, никель, медь, оценка риска, здоровье населения.

Для цитирования: Федоров В.Н., Кизеев А.Н., Новикова Ю.А., Тихонова Н.А., Ковшов А.А. Оценка воздействия на здоровье населения Мурманской области тяжелых металлов, содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 41–50. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-41-50>

Сведения об авторах:

Федоров Владимир Николаевич – старший научный сотрудник отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: vfl1986@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1378-1232>.

Кизеев Алексей Николаевич – к.б.н., старший научный сотрудник отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: aleksei.kizeev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

Новикова Юлия Александровна – старший научный сотрудник, и. о. руководителя отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: j.novikova@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-2036>.

Тихонова Надежда Андреевна – младший научный сотрудник отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: n.tikhonova@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4895-4009>.

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

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Федоров В.Н.; сбор данных: Кизеев А.Н.; анализ и интерпретация результатов: Федоров В.Н., Ковшов А.А.; обзор литературы: Кизеев А.Н.; подготовка рукописи: Федоров В.Н., Кизеев А.Н., Новикова Ю.А., Тихонова Н.А. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 14.03.22 / Принята к публикации: 21.04.22 / Опубликована: 31.05.22

Assessment of Health Impact of Heavy Metals Contained in Wild Berries of Shrubs for the Population of the Murmansk Region

Vladimir N. Fedorov,¹ Aleksei N. Kizeev,¹ Yuliya A. Novikova,¹
Nadezhda A. Tikhonova,¹ Aleksandr A. Kovshov^{1,2}

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

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya Street, Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

Summary

Background: Studies of wild berries of local shrubs carried out in the Murmansk Region showed an increased accumulation of heavy metals in them, especially near the Severonickel plant. High concentrations of industrial pollutants were measured in blueberries, lingonberries and crowberries.

Objective: To assess health effects of population exposure to nickel and copper in wild berries of small shrubs in the Murmansk Region.

Materials and methods: We tested metal contents in blueberries, lingonberries and crowberries gathered in August-September of 2016-2018 at ten stationary monitoring plots located along the industrial pollution gradient in the meridional (south) direction on the leeward side of the Severonickel plant. Health risk assessment was conducted in accordance with Guidelines R 2.1.10.1920-04, Health Risk Assessment from Environmental Chemicals.

Results: Values of carcinogenic risk from oral exposure to nickel contained in the berries were unacceptably high ($> 1.0\text{E-}03$) at all monitoring plots. Estimates of chronic non-carcinogenic risk from nickel exposure were also high while those from copper exposure were unacceptable only for crowberry. Hazard index values for the unidirectional effect of copper and nickel on the digestive tract and liver were unacceptably high (> 1.0) at most monitoring plots for all the berries studied.

Discussion: High risk values for the local population necessitate the development of recommendations for exposure reduction, such as limiting the annual consumption of berries to 6 kg, avoiding berry picking at a distance of up to 15 km from the Seversonickel plant, etc.

Conclusions: The predicted levels of carcinogenic and non-carcinogenic risks associated with exposure to nickel and copper were estimated as unacceptably high, thus indicating a pronounced industrial impact on boreal ecosystems in the zone of influence of the enterprise, extending more than 15 km from its industrial site. It is critical to develop appropriate recommendations for the population consuming wild-growing blueberries, cowberries and crowberries picked in this industrially contaminated area.

Keywords: Murmansk Region, wild berries, shrubs, nickel, copper, risk assessment, public health.

For citation: Fedorov VN, Kizeev AN, Novikova YuA, Tikhonova NA, Kovshov AA. Assessment of health impact of heavy metals contained in wild berries of shrubs for the population of the Murmansk Region. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):41-50. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-41-50>

(In Russ.) doi: <https://doi.org/10.1134/S002135962201001X>

Author information: Vladimir N. Fedorov, Senior Researcher, Arctic Environmental Health Department, North-West Public Health Research Center; e-mail: vf1986@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1378-1232>.

Aleksi N. Kizeev, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Arctic Environmental Health Department, North-West Public Health Research Center; e-mail: aleksei.kizeev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

✉ Yuliya A. Novikova, Senior Researcher, Acting Head, Arctic Environmental Health Department, North-West Public Health Research Center; e-mail: j.novikova@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-2036>.

Nadezhda A. Tikhonova, Junior Researcher, Arctic Environmental Health Department, North-West Public Health Research Center; e-mail: n.tikhonova@s-znrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4895-4009>.

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

Author contributions: study conception and design: Fedorov V.N.; data collection: Kizeev A.N.; analysis and interpretation of results: Fedorov V.N., Kovshov A.A.; literature review: Kizeev A.N.; draft manuscript preparation: Fedorov V.N., Kizeev A.N., Novikova Yu.A., Tikhonova N.A. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this work.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 14, 2022 / Accepted: April 21, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Дикорастущие ягодные кустарники — комб

Введение. Дикорастущие ягодные кустарнички – доминанты нижних ярусов boreальных лесных экосистем. Они характеризуются высокой экологической пластичностью и способностью сохранять свои жизненные свойства, включая плодоношение, в непосредственной близости от промышленных предприятий¹. Для жителей районов Крайнего Севера плоды дикорастущих кустарничков являются традиционным фактором питания [1] и пользуются большой популярностью.

На территории Мурманской области одним из наиболее мощных источников негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и на среду обитания человека является дочернее предприятие ПАО «ГМК Норильский никель» АО «Кольская горно-металлургическая компания» (АО КГМК) – ведущий производственный комплекс региона, занимающийся горно-металлургическим производством по добыче и переработке сульфидных медно-никелевых руд и выплавке цветных металлов². Начиная с 30–40-х годов прошлого века АО КГМК является источником выбросов, содержащих сернистый ангидрид, мелкодисперсные смеси сульфидов металлов, оксиды никеля и меди³ [2–4]. Промплощадка ведущего предприятия АО КГМК – медно-никелевого

комбината «Североникель» — находится в центральной части региона и является градообразующим для г. Мончегорска. Непосредственно после своей постройки комбинат перерабатывал местные сульфидные медно-никелевые руды со средним содержанием серы менее 1,2 %. С 1946 года в переработку, помимо местных, были вовлечены руды Печенгского месторождения со средним содержанием серы 6,5 %, с 1969 года — норильские руды с очень высоким содержанием серы до 30 % и с большим содержанием тяжелых металлов, чем местное сырье, вследствие чего уровень выбросов в атмосферный воздух существенно увеличился [5]. В результате интенсивного аэротехногенного загрязнения в окрестностях комбината образовались обширные зоны деградации почвенно-растительного покрова: от угнетения лишайников до полного разрушения почв и образования техногенных пустошей [6–8].

Проведенные в конце 80-х годов прошлого века исследования ягод дикорастущих кустарников [9] показали повышенное накопление ряда тяжелых металлов, преимущественно вблизи комбината «Североникель». Сокращение производства и модернизация технологического оборудования, произошедшие в течение последних десятилетий,

¹ Ефимова М.А. Биоморфологические особенности *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. В естественных и антропогенно нарушенных лесных сообществах Кольского полуострова: Автографат дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2007. 22 с.

² Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2020 году. Мурманск, 2021. 176 с.

³ Кимстач В.А., Чащин В.П., Абрютина Л.И. и др. Стойкие токсичные вещества, безопасность питания и коренные народы российского Севера : Резюме заключительного отчета; Arctic Monitoring and Assessment Programme. Осло—Москва: Полярный фонд, 2004. 80 с.

способствовали снижению объемов поступления в окружающую среду загрязняющих веществ [10]. Однако, несмотря на улучшение экологической обстановки в районе расположения комбината, многими исследователями в период с 2004 по 2013 г. отмечалось существенное накопление поллютантов в наземных компонентах, в том числе и таких доминирующих на территории региона ягод, как черника обыкновенная (или черника миртолистная), брусника и вороника [10–16], что делает их малопригодными для использования в качестве продовольственного и лекарственного сырья. Однако сведений, связанных с оценкой воздействия на здоровье населения региона содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков тяжелых металлов при возможном употреблении их в пищу, крайне мало [17].

Цель настоящего исследования заключалась в оценке воздействия на здоровье населения Мурманской области содержащихся в ягодах дикорастущих кустарничков никеля и меди.

Материалы и методы. Объектом исследований послужили ягоды кустарничков родов *Vaccinium* и *Empetrum* – черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и вороники (*Empetrum hermafroditum* Lange ex Hagerup). Для оценки воздействия на здоровье населения никеля и меди, содержащихся в ягодах данных видов растений, использовалась методология оценки риска для здоровья населения в соответствии с действующим Руководством⁴.

В рамках настоящего исследования рассматривался приближенный к реалистичному сценарию, при котором среднестатистический житель Мурманской области предположительно съедает около 100 г ягод 1 раз в 3 дня в течение года, или 12,2 кг в год.

Общая формула для расчета величины поступления химического вещества в организм человека имеет следующий вид:

$$LADD = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (1)$$

где: *LADD* – среднесуточное пожизненное поступление вещества, мг/кг массы тела в день;

C – концентрация химического вещества, мг/кг продукта;

CR – количество продукта, поступающего в сутки в организм человека, кг;

EF – частота воздействий, число дней/год;

ED – продолжительность воздействия, число лет;

BW – масса тела: средняя масса тела в период экспозиции, кг;

AT – время осреднения; период осреднения экспозиции, число дней.

Вышеприведенные коэффициенты в данном исследовании были приняты равными следующим числовым величинам: *CR* – 0,1 кг; *EF* – 122 дня в году; *ED* – 70 лет; *BW* – 70 кг; *AT* – 365 дней.

При оценке риска моделировались два сценария воздействия: канцерогенное (никель) и неканцерогенное (никель, медь).

Для расчета значений канцерогенного риска *CR* использовалась формула (2):

$$CR = LADD \cdot SFo, \quad (2)$$

где: *LADD* – среднесуточное пожизненное поступление вещества, мг/кг массы тела в день;

SFo – фактор наклона (фактор канцерогенного потенциала) при пероральном поступлении, (мг/(кг × день))⁻¹.

Для расчета значений неканцерогенного риска (коэффициента опасности *HQ*) использовалась формула (3):

$$HQ = LADD / RfD, \quad (3)$$

где: *LADD* – среднесуточное пожизненное поступление вещества, мг/кг массы тела в день;

RfD – референтная доза, мг/кг массы тела.

В соответствии с Руководством⁴ значение *SFo* для никеля было принято равным 0,84 (мг/(кг × сут.))⁻¹, значения *RfD* для никеля – 0,02 мг/кг, меди – 0,019 мг/кг.

В качестве критерии приемлемости риска рассматривались диапазоны значений:

– для канцерогенного риска – не более 1,0E-04;

– для неканцерогенного риска (коэффициенты опасности *HQ* и индекса опасности *HI* при одностороннем действии 2 и более веществ на отдельные органы и системы) – не более 1,0.

Исходными данными для расчета риска здоровья населения послужили результаты собственных исследований, полученные на основании сбора растительного материала (ягод) в течение осенних периодов (август – сентябрь) 2016–2018 годов.

Отбор растительных образцов проводился на 10 стационарных мониторинговых площадках, расположенных вдоль градиента промышленного загрязнения по розе ветров в меридиональном (южном) направлении от комбината «Североникель».

Географические координаты площадок и расстояние от источника промышленных выбросов приведены в табл. 1.

Растительный покров на площадках соответствовал различным стадиям состояния по степени нарушенности экосистем⁵: от сильно нарушенных (расположенных на расстоянии от 1 до 7 км от источника выбросов – площадки № 1–3) до среднен- (от 12 до 20 км – площадки № 4–6) и слабонарушенных (от 25 до 48 км – площадки № 7–9), а также условно фоновых (более 60 км – площадка № 10) биогеоценозов. Травяно-кустарничковый покров на точках мониторинга включал в себя дикорастущие кустарнички черники, брусники и вороники в количестве, достаточном для сбора их плодов с целью последующего химического анализа.

Отбор растительных образцов и пробоподготовка для определения содержания металлов в ягодах дикорастущих кустарничков проводились в соответствии с общепринятыми требованиями [18]. В лаборатории ягоды высушивали до воздушно-сухого состояния и хранили в закрытых полиэтиленовых емкостях до начала анализа. Измерение концентраций тяжелых металлов (никеля и меди) в растительных образцах определяли методом атомной абсорбции в Геологическом институте Кольского научного центра РАН. Для обработки результатов исследований использовалось программное обеспечение Microsoft Excel 2016 и программа ArcGIS.

⁴ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Минздрава России, 2004. 143 с.

⁵ Говорова А.Ф. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Кольском полуострове (на примере комбината «Североникель»): Автореферат дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 28 с.

Результаты. Результаты количественного химического анализа образцов ягод дикорастущих кустарничков приведены в табл. 2–3. Расчеты риска выполнялись от употребления ягод с каждой мониторинговой площадки отдельно, что позволило охарактеризовать их с позиции приемлемого риска для здоровья населения региона.

В табл. 2 и 3 представлены расчетные значения суточных доз поступления никеля и меди при рассматриваемом сценарии употребления ягод в пищу, а также значения канцерогенного (от воздействия никеля) и неканцерогенного (от воздействия меди и никеля) рисков. Как можно видеть из табл. 2, значения канцерогенного риска, обусловленного поступлением никеля из исследованных ягод, характеризуются как неприемлемо высокие – более $1,0E-03$ – применительно ко всем мониторинговым площадкам. В соответствии с Руководством³ и рекомендациями Всемирной организации здравоохранения данный уровень риска характеризуется как неприемлемо высокий как для населения, так и для отдельных профессиональных групп. Наблюдаемые неприемлемо высокие уровни риска характерны для всех исследуемых образцов ягод, отобранных на всех мониторинговых площадках (в том числе наиболее удаленной от источника промышленных выбросов, условно фоновой площадке № 10), что

свидетельствует о ярко выраженном загрязнении растительного покрова соединениями никеля. Применительно к рассматриваемой ситуации можно рекомендовать ограничение уровня потребления ягод населением в пределах изучаемой территории Мурманской области на уровне не более 0,5 кг в год.

Расчетные значения хронического неканцерогенного риска от воздействия никеля (табл. 2) характеризуются неприемлемо высокими значениями применительно к употреблению ягод, собранных с площадок № 1–5. При этом значения хронического неканцерогенного риска при употреблении воронники характеризуются как неприемлемо высокие лишь от воздействия меди, в том числе применительно к площадкам № 1–8. Наблюдаемое явление, по всей видимости, обусловлено большим содержанием меди в пробах воронники в сравнении с другими рассматриваемыми ягодами дикорастущих кустарничков (табл. 3).

Учитывая имеющиеся сведения об однодиапазонном действии никеля и меди на органы пищеварительной системы и печень, была проведена суммация ожидающихся значений риска (коэффициентов опасности HQ) от воздействия указанных веществ с получением величин индексов опасности НI. Расчетные значения индексов опасности НI приведены в табл. 4.

Таблица 1. Координаты мониторинговых площадок и расстояние от источника выбросов

Table 1. Coordinates of monitoring plots and the distance from the source of emissions

Мониторинговая площадка / Monitoring plots	Координаты / Coordinates		Расстояние от источника выбросов, км / Distance from the emission source, km
	x	y	
1	32,80256	67,88737	1
2	32,77756	67,85391	5
3	32,79663	67,83804	7
4	32,78588	67,80345	12
5	32,78057	67,77368	15
6	32,80401	67,73448	20
7	32,83790	67,70196	25
8	32,82282	67,64995	30
9	32,19223	67,32515	48
10	32,26016	67,22837	65

Таблица 2. Расчетные значения суточной дозы при пожизненном поступлении никеля и значения канцерогенного риска, обусловленного его поступлением

Table 2. Estimated values of the daily dose for the lifetime nickel exposure and related carcinogenic risk (CR)

Мониторинговая площадка / Monitoring plots	Содержание Ni, мг/кг / Ni content, mg/kg		LADD никеля, мг/кг массы тела в сутки / Nickel LADD, mg/kg body weight per day			CR (Ni)			HQ (Ni)			
	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry
1	н/д*	н/д	2,52	н/д	н/д	0,0842	н/д	н/д	7,08E-02	н/д	н/д	4,21E+00
2	2,23	2,81	н/д	0,0745	0,0939	н/д	6,26E-02	7,89E-02	н/д	3,73E+00	4,70E+00	н/д
3	1,85	1,84	1,85	0,0618	0,0615	0,0618	5,19E-02	5,17E-02	5,19E-02	3,09E+00	3,08E+00	3,09E+00
4	1,48	1,95	1,18	0,0495	0,0652	0,0394	4,16E-02	5,47E-02	3,31E-02	2,47E+00	3,26E+00	1,97E+00
5	0,85	0,58	0,55	0,0284	0,0194	0,0184	2,39E-02	1,63E-02	1,54E-02	1,42E+00	9,69E-01	9,19E-01
6	0,45	0,65	0,42	0,0150	0,0217	0,0140	1,26E-02	1,82E-02	1,18E-02	7,52E-01	1,09E+00	7,02E-01
7	0,48	0,55	0,11	0,0160	0,0184	0,0037	1,35E-02	1,54E-02	3,09E-03	8,02E-01	9,19E-01	1,84E-01
8	0,34	0,37	0,12	0,0114	0,0124	0,0040	9,55E-03	1,04E-02	3,37E-03	5,68E-01	6,18E-01	2,01E-01
9	0,35	0,21	0,24	0,0117	0,0070	0,0080	9,83E-03	5,90E-03	6,74E-03	5,85E-01	3,51E-01	4,01E-01
10	0,25	0,18	0,15	0,0084	0,0060	0,0050	7,02E-03	5,05E-03	4,21E-03	4,18E-01	3,01E-01	2,51E-01

Примечание: здесь и далее (табл. 2–4) серым цветом выделены неприемлемые уровни риска.

Note: In Tables 2–4, unacceptable risk levels are in gray.

Как можно видеть из табл. 4, значения индекса неканцерогенной опасности при одностороннем действии меди и никеля на органы пищеварительной системы и печень характеризуются как неприемлемо высокие (более 1,0) применительно ко всем мониторинговым площадкам для ягод всех изучаемых растений, за исключением площадок № 9 и 10 (условно фоновая территория).

Полученные в настоящем исследовании результаты позволяют констатировать наличие значительной зоны влияния комбината «Североникель», которая распространяется в южном направлении не менее чем на 20 км от границ предприятия. Об этом свидетельствуют повышенные концентрации меди и никеля, регистрируемые в образцах, отобранных на мониторинговых площадках 1–6.

Различие в уровнях риска от воздействия никеля и меди в зависимости от употребления изученных ягод с учетом каждой из мониторинговых площадок наглядно представлено на рис. 1–6.

Как можно видеть из рис. 1–6, для всех рассматриваемых сценариев поступления никеля и меди неприемлемо высокий неканцерогенный риск прогнозируется на площадках № 2–4. При этом в мониторинговых точках № 5–7 ожидается приемлемый уровень риска (за исключением сценария с воздействием меди при ее поступлении с ягодами воронники), что можно условно характеризовать как границу достижения приемлемого риска.

Обсуждение. Несмотря на значительное количество публикаций по изучаемой тематике,

подобное исследование, сопряженное с оценкой риска для здоровья населения, проводится впервые. В исследованиях, посвященных проблеме накопления в растительных тканях техногенных загрязнителей, в частности тяжелых металлов, воздействие на здоровье человека, как правило, либо не рассматривается [9–13], либо требует проведения дополнительных исследований [17]. При этом в ряде работ отечественных [6, 7, 10–12, 14] и зарубежных [4, 12] исследователей показано существенное снижение содержания меди и никеля в компонентах лесных растений с почвенной (ель сибирская, сосна обыкновенная, береза пушистая, черника, брусника, воронника, луговик извилистый) и с атмосферной (лишайники и мохообразные) стратегиями питания по мере увеличения расстояния от источников воздушных промышленных выбросов медно-никелевого производства. Полученные в настоящем исследовании результаты накопления тяжелых металлов в ягодах рассматриваемых дикорастущих кустарничков в целом подтверждают обнаруженные ранее тенденции.

Отсутствие результатов для ягод растений черники и брусники с площадки № 1 и растений воронники для площадки № 2 объясняется значительным повреждением растительного покрова на стадии сильно нарушенных экосистем (от 1 до 5 км) вблизи комбината «Североникель», в связи с чем наблюдалось отсутствие достаточного количества биологического материала, необходимого для осуществления химического анализа.

Таблица 3. Расчетные значения суточной дозы при пожизненном поступлении меди и значения неканцерогенного риска (коэффициента опасности HQ), обусловленного ее поступлением

Table 3. Estimated values of the daily dose for the lifetime copper exposure and related non-carcinogenic risk (hazard quotient, HQ)

Мониторинговая площадка / Monitoring plots	Содержание Cu, мг/кг / Cu content, mg/kg			LADD меди, мг/кг массы тела в сутки / LADD of copper, mg/kg body weight per day			HQ (Cu)		
	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry
1	н/д*	н/д	2,14	н/д	н/д	0,0715	н/д	н/д	3,58E+00
2	1,88	2,63	н/д	0,0628	0,0879	н/д	3,14E+00	4,40E+00	н/д
3	1,51	1,62	1,42	0,0505	0,0541	0,0475	2,52E+00	2,71E+00	2,37E+00
4	1,22	1,53	1,15	0,0408	0,0511	0,0384	2,04E+00	2,56E+00	1,92E+00
5	0,48	0,56	0,75	0,0160	0,0187	0,0251	8,02E-01	9,36E-01	1,25E+00
6	0,32	0,53	0,65	0,0107	0,0177	0,0217	5,35E-01	8,86E-01	1,09E+00
7	0,39	0,42	0,51	0,0130	0,0140	0,0170	6,52E-01	7,02E-01	8,52E-01
8	0,35	0,45	0,6	0,0117	0,0150	0,0201	5,85E-01	7,52E-01	1,00E+00
9	0,45	0,45	0,22	0,0150	0,0150	0,0074	7,52E-01	7,52E-01	3,68E-01
10	0,32	0,33	0,21	0,0107	0,0110	0,0070	5,35E-01	5,52E-01	3,51E-01

Таблица 4. Расчетные значения индексов опасности НI для органов пищеварительной системы и печени

Table 4. Estimated values hazard indices (HI) for the digestive system and liver

Мониторинговая площадка / Monitoring plots	НI (органы пищеварительной системы, печень) от комбинированного воздействия никеля и меди / HI (digestive tract, liver) for the combined effect of nickel and copper		
	Черника / Blueberries	Брусника / Lingonberry	Воронника / Crowberry
1	н/д*	н/д	7,79E+00
2	6,87E+00	9,09E+00	н/д
3	5,62E+00	5,78E+00	5,46E+00
4	4,51E+00	5,82E+00	3,89E+00
5	2,22E+00	1,91E+00	2,17E+00
6	1,29E+00	1,97E+00	1,79E+00
7	1,45E+00	1,62E+00	1,04E+00
8	1,15E+00	1,37E+00	1,20E+00
9	1,34E+00	1,10E+00	7,69E-01
10	9,53E-01	8,52E-01	6,02E-01

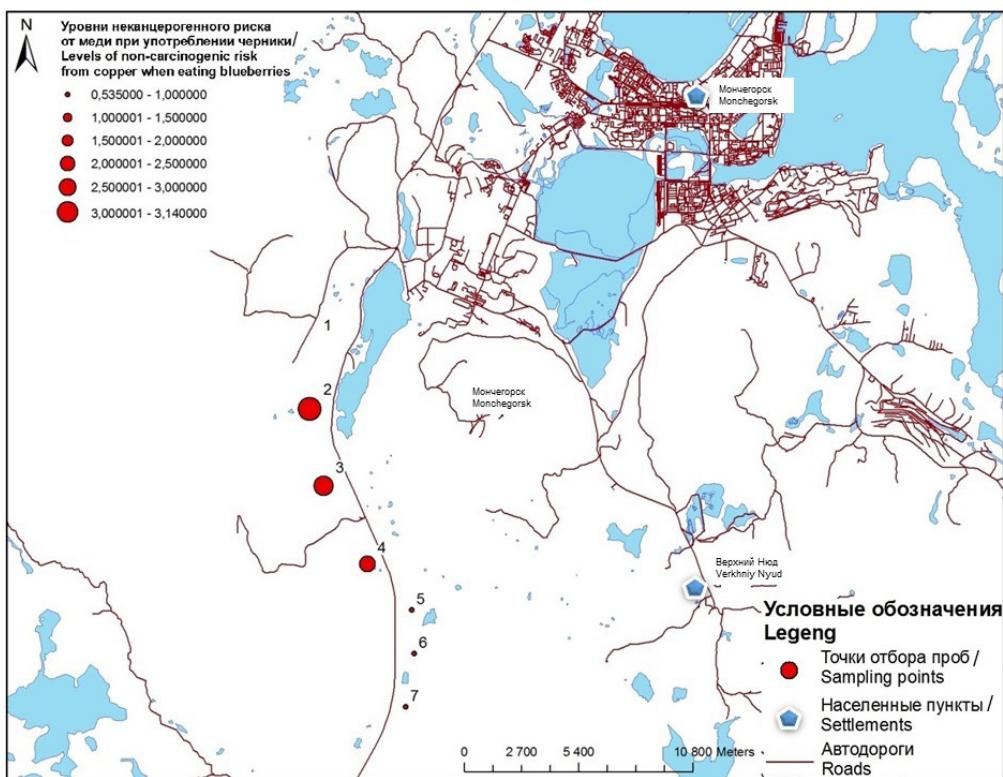


Рис. 1. Уровни неканцерогенного риска от воздействия меди при употреблении черники
Fig. 1. Levels of non-carcinogenic risk from oral exposure to copper in blueberries

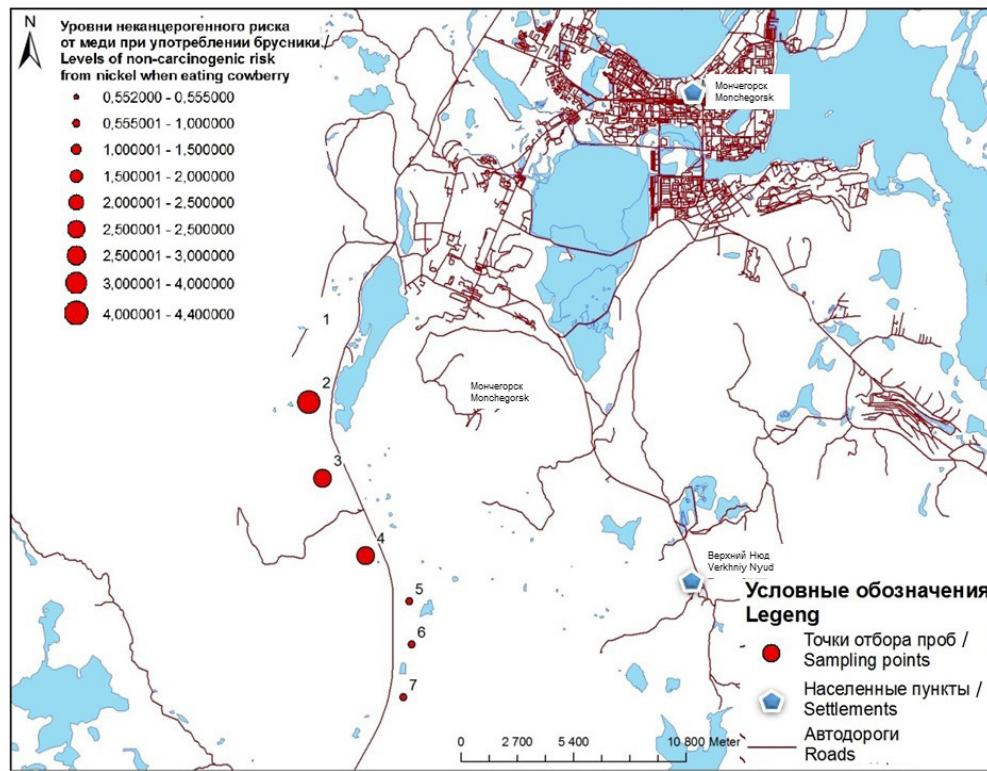


Рис. 2. Уровни неканцерогенного риска от воздействия меди при употреблении брусники
Fig. 2. Levels of non-carcinogenic risk from oral exposure to copper in cowberries

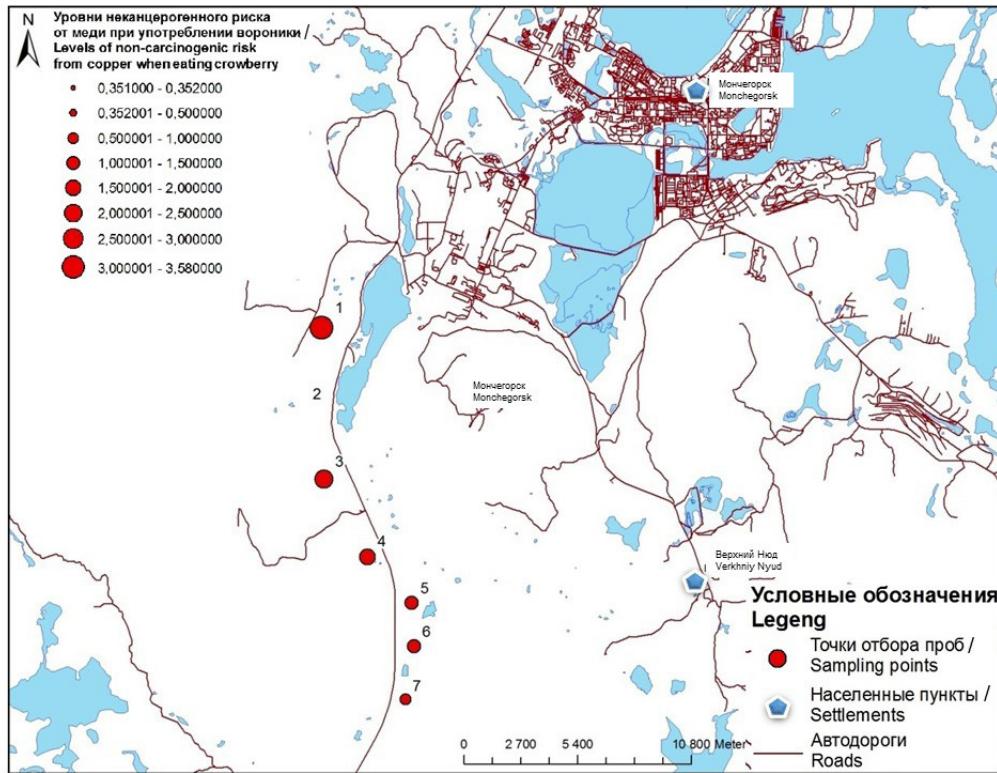


Рис. 3. Уровни неканцерогенного риска от воздействия меди при употреблении воронки
Fig. 3. Levels of non-carcinogenic risk from oral exposure to copper in crowberries

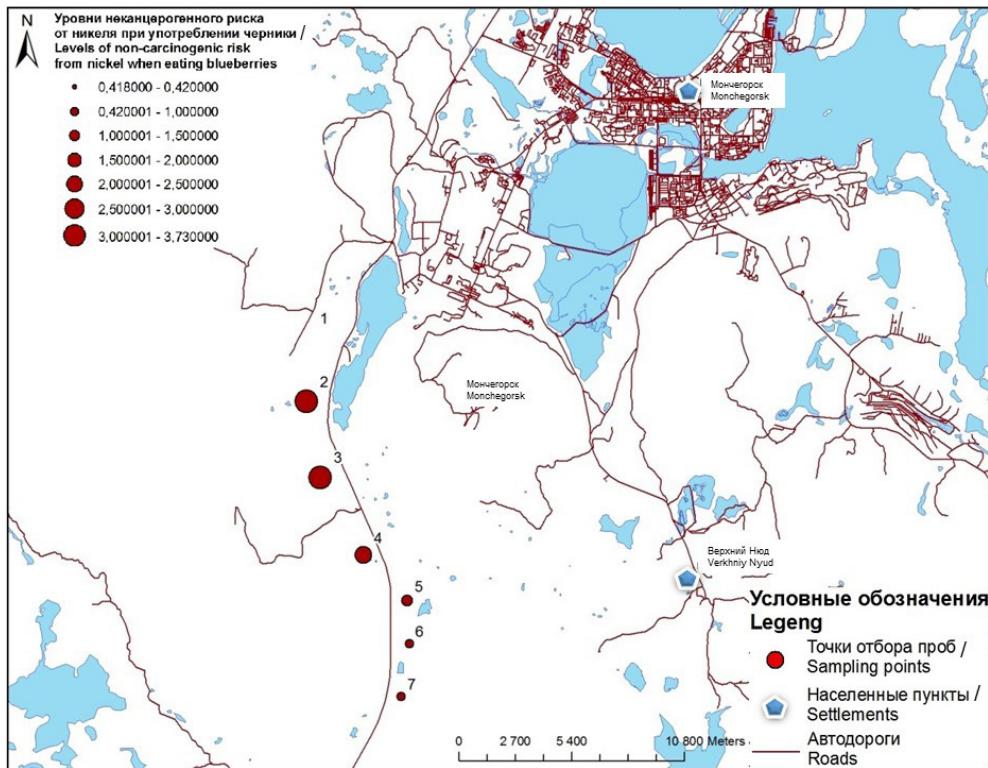


Рис. 4. Уровни неканцерогенного риска от воздействия никеля при употреблении черники
Fig. 4. Levels of non-carcinogenic risk from oral exposure to nickel in blueberries

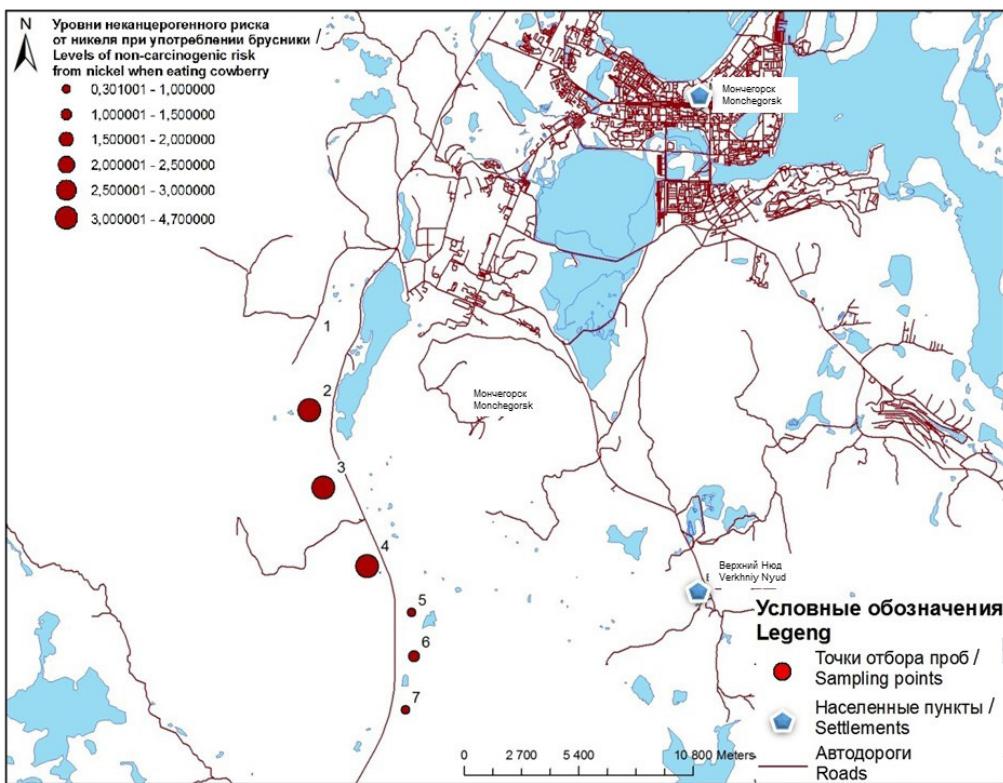


Рис. 5. Уровни неканцерогенного риска от воздействия никеля при употреблении брусники
Fig. 5. Levels of non-carcinogenic risk from oral exposure to nickel in cowberries

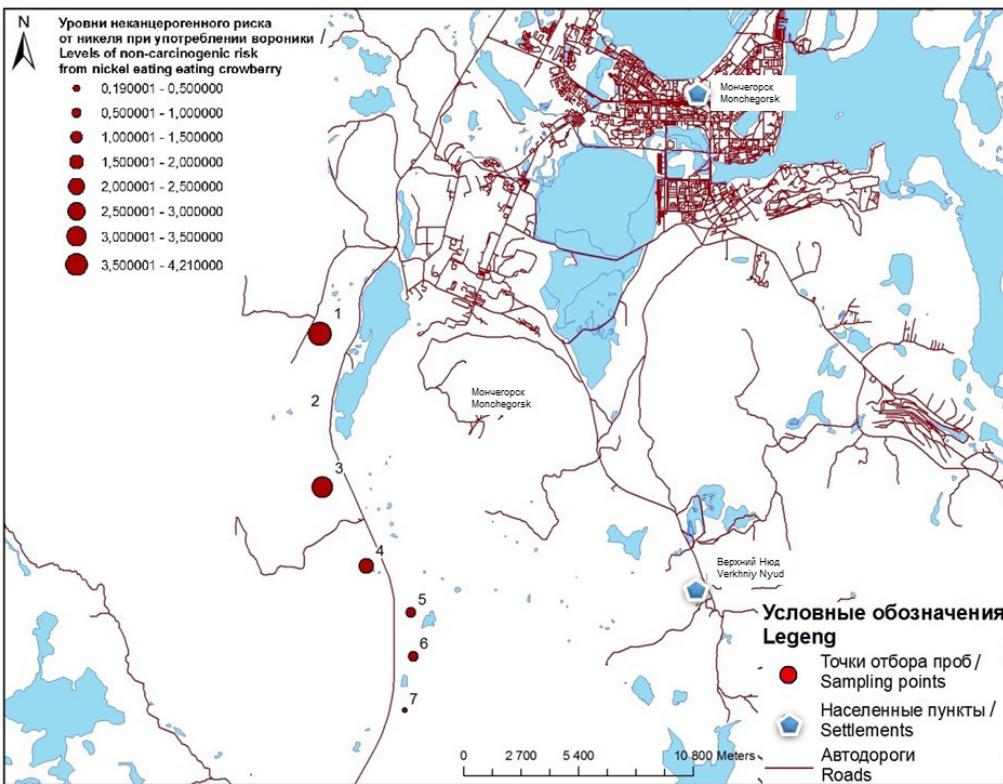


Рис. 6. Уровни неканцерогенного риска от воздействия никеля при употреблении воронники
Fig. 6. Levels of non-carcinogenic risk from oral exposure to nickel in crowberries

Неприемлемо высокие значения риска для здоровья населения, формируемые при употреблении в пищу ягод черники, брусники и воронки, произрастающих на расстоянии до 20 км от предприятия, диктуют необходимость разработки гигиенических рекомендаций по митигации риска. В качестве таковых можно рекомендовать ограничение потребления указанных ягод на уровне не более 6 кг в год. Также следует полностью отказаться от сбора ягод, произрастающих на расстоянии менее 15 км от комбината «Североникель».

Следует также обратить внимание на ряд неопределенностей, которые могут повлиять на корректность результатов оценки риска.

1. В рамках настоящего исследования рассматривался сценарий перорального потребления дикорастущих ягод черники, брусники и воронки общей массой 12,2 кг/год. При этом фактический уровень потребления может существенно отличаться от выбранной оценочной величины как в большую, так и в меньшую сторону. Кроме того, рассматриваемая на основе рекомендаций ВОЗ масса тела 70 кг может также значительно отличаться в большую или меньшую сторону у отдельных индивидуумов. Перечисленные особенности способны значительно повлиять на результаты оценки экспозиции и, как следствие, на значения рассчитываемого риска.

2. Для никеля в настоящее время нет убедительных доказательств канцерогенной опасности при пероральном поступлении. Имеющиеся значения фактора канцерогенного потенциала [18–20] относятся к ингаляционному пути его поступления. Тем не менее полностью исключить канцерогенные эффекты, обусловленные никелем при пероральном поступлении в организм человека, было бы ошибочным.

Выводы. Проведенный анализ полученных значений риска от воздействия никеля и меди, содержащихся в дикорастущих ягодах черники, брусники, воронки, отобранных в непосредственной зоне влияния предприятия АО КГМК – комбината «Североникель», позволил сделать ряд выводов.

1. Впервые проведена оценка риска для здоровья населения от систематического употребления в пищу дикорастущих ягод черники, брусники и воронки, произрастающих в зоне влияния крупного металлургического предприятия, на примере комбината «Североникель».

2. Прогнозируемые уровни канцерогенного риска от воздействия никеля при употреблении населением дикорастущих ягод оцениваются как неприемлемо высокие во всех рассматриваемых сценариях.

3. Уровни хронического неканцерогенного риска от воздействия меди и никеля оцениваются как неприемлемо высокие применительно к мониторинговым площадкам на расстоянии до 15–20 км от границ предприятия.

4. Протяженность зоны влияния комбината «Североникель» с позиции риска для здоровья населения может оцениваться в южном направлении более чем на 20 км от границы промышленной площадки предприятия.

5. Необходима разработка гигиенических рекомендаций для населения, употребляющего

в пищу дикорастущие ягоды черники, брусники и воронки, собираемые в зоне влияния комбината «Североникель».

6. Проблема накопления загрязняющих веществ в ягодах дикорастущих кустарничков, используемых в качестве пищевых ресурсов, предполагает проведение расширенных дополнительных исследований на всей территории региона.

Список литературы

- Кизеев А.Н., Ушамова С.Ф., Жиров В.К., Ивкова Н.В. Оценка свойств растений черники, произрастающей на территории с незначительно повышенным радиационным фоном // Экология человека. 2012. № 6. С. 37–42.
- Kotov V, Nikitina E. Norilsk Nickel: Russia wrestles with an old polluter. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 1996;38(9):6-37. doi: 10.1080/00139157.1996.9930998
- Баркан В.Ш. Проблемы загрязнения среды // Наука и бизнес на Мурмане. Серия экология и человек. 2000. Т. 2. № 5 (20). С. 31–34.
- Steiness E, Lukina N, Nikonov V, Aamlid D, Røyset O. A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel smelter in the Kola Peninsula. *Environ Monit Assess*. 2000;60(1):71-88. doi: 10.1023/A:1006165031985
- Кизеев А.Н., Жиров В.К., Ушамова С.Ф. и др. Экогеосистемы горнодобывающего класса Северо-Запада Восточно-Европейской платформы (Мурманская область). В кн: Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика). Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография – издательство им. Е.А. Болховитинова», 2015. С. 282–326.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 316 с.
- Черненькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. Москва: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр РАН Издательство „Наука“, 2002. 190 с.
- Коротков В.Н., Копчик Г.Н., Смирнова И.Е., Копчик С.В. Восстановление растительности на техногенных пустошах в окрестностях Мончегорска (Мурманская область, Россия) // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2019. Т. 4. № 1. С. 1–18. doi: 10.21685/2500-0578-2019-1-4
- Баркан В.Ш., Панкратова Р.П., Силина А.В. Накопление никеля и меди лесными ягодами и грибами, произрастающими в окрестностях комбината «Североникель» (г. Мончегорск) // Растительные ресурсы. 1990. Вып. 4. С. 507–508.
- Исаева Л.Г., Сухарева Т.А. Элементный состав дикорастущих кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель»: данные многолетнего мониторинга // Цветные металлы. 2013. № 10 (850). С. 87–92.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэробиотехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. 1993. № 6. С. 34–41.
- Paatero J, Dauvalter VA, Derome JR, et al. *Effects of Kola Air Pollution on the Environment in the Western Part of the Kola Peninsula and Finnish Lapland: Final Report; 2008*. Accessed March 2, 2022. <http://www.pasvikmonitoring.org/pdf/effects%20of%20kola%20air%20pollution.pdf>
- Barcan VSh, Kovnatsky EF, Smetannikova MS. Absorption of heavy metals in wild berries and edible mushrooms in area affected by smelter emissions. *Water Air Soil Pollut*. 1998;103:173–195.
- Никонов В.В., Лукина Н.В., Безель В.С. и др. Рассеянные элементы в boreальных лесах. М.: Наука, 2004. 616 с.
- Бражная И.Э., Быкова А.Е., Судак С.Н., Семенов Б.Н. Исследование безопасности и минерального состава дикорастущего сырья Кольского полуострова //

- Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2012. Т. 15. № 1. С. 11–14.
16. Сухарева, Т.А. Оценка состояния сосновых лесов в зоне влияния медно-никелевых предприятий при уменьшении эмиссионной нагрузки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3 (3). С. 1072–1076.
17. Дударев А.А., Душкина Е.В., Чупахин В.С., Сладкова Ю.Н. и др. Содержание металлов в местных продуктах питания Печенгского района Мурманской области // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 2. С. 35–40.
18. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. Москва: Издательство РУДН, 2003. 430 с.
19. Integrated Risk Information System. Nickel, soluble salts. Accessed March 2, 2022. https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=271
20. Integrated Risk Information System. Nickel refinery dust. Accessed March 2, 2022. https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=272

References

1. Kizeev AN, Ushamova SF, Zhirov VK, Ivkova NV. Assessment of properties of bilberry-bush growing around Kola nuclear power plant. *Ekologiya Cheloveka [Human Ecology]*. 2012;(6):37-42. (In Russ.)
2. Kotov V, Nikitina E. Norilsk Nickel: Russia wrestles with an old polluter. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 1996;38(9):6-37. doi: 10.1080/00139157.1996.9930998
3. Barkan VSh. [Problems of environmental pollution.] *Nauka i Biznes na Murmane. Seriya Ekologiya i Chelovek*. 2000;2(20):31-34. (In Russ.)
4. Steinnes E, Lukina N, Nikonov V, Aamlid D, Røyset O. A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel smelter in the Kola Peninsula. *Environ Monit Assess*. 2000;60(1):71-88. doi: 10.1023/A:1006165031985
5. Kizeev AN. [Mining environmental geosystems in the North-West of the East European Platform (Murmansk region).] In: Kizeev AN, Zhirov VK, Ushamova SF, et al. [Environmental Geology of Large Mining Areas of Northern Eurasia (Theory and Practice).] Voronezh: JSC Voronezh Regional Printing House – E.A. Bolkhovitinov Publishing House; 2015:282-326. (In Russ.)
6. Lukina NV, Nikonov VV. [Nutritional Regime of Northern Taiga Forests: Natural and Technogenic Aspects.] Apatity: RAS Kola Research Center Publ.; 1998. (In Russ.)
7. Chernenkova TV. [Response of Forest Vegetation to Industrial Pollution.] Moscow: Nauka Publ.; 2002. (In Russ.)
8. Korotkov VN, Koptskik GN, Smirnova IE, Koptskik SV. Restoration of vegetation on mine lands near Monchegorsk (Murmansk Region, Russia). *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2019;4(1):1-18. (In Russ.) doi: 10.21685/2500-0578-2019-1-4
9. Barkan VSh, Pankratova RP, Silina AV. [Accumulation of nickel and copper by forest berries and mushrooms growing in the vicinity of the Severonikel plant (Monchegorsk).] *Rastitel'nye Resursy*. 1990;(4):507-508. (In Russ.) Accessed March 2, 2022. <http://www.lapland-nature.info/ru/17.html>
10. Isaeva LG, Sukhareva TA. Elemental composition of wild small shrubs in the area of influence of "Severonikel" combine: Data of long-term monitoring. *Tsvetnye Metally*. 2013;(10(850)):87-92. (In Russ.)
11. Lukina NV, Nikonov VV [Absorption of airborne industrial pollutants by pine forest plants in the north-west of the Kola Peninsula]. *Lesovedenie*. 1993;(6):34-41. (In Russ.)
12. Paatero J, Dauvalter VA, Derome JR, et al. *Effects of Kola Air Pollution on the Environment in the Western Part of the Kola Peninsula and Finnish Lapland: Final Report*; 2008. Accessed March 2, 2022. <http://www.pasvikmonitoring.org/pdf/effects%20of%20kola%20air%20pollution.pdf>
13. Barcan VSh, Kovnatsky EF, Smetannikova MS. Absorption of heavy metals in wild berries and edible mushrooms in area affected by smelter emissions. *Water Air Soil Pollut*. 1998;103:173-195.
14. Nikonov VV, Lukina NV, Bezel' VS, et al. [Dispersed Elements in Boreal Forests.] Moscow: Nauka Publ.; 2004. (In Russ.)
15. Brazhnyaya IE, Bykova AE, Sudak SN, Semenov BN. [Investigation of safety and mineral composition of wild raw materials of the Kola Peninsula.] *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2012;15(1):11-14. (In Russ.)
16. Sukhareva TA. Assessment the pine forests state in zone of copper-nickel enterprises influence at emission loading reduction. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2013;15(3-3):1072-1076. (In Russ.)
17. Dudarev AA, Dushkina EV, Chupahin VS, et al. Metal content of local foods in Pechenga district of Murmansk region. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2015;(2):35-40. (In Russ.)
18. Chernykh NA, Sidorenko SN. [Ecological Monitoring of Toxicants in the Biosphere.] Moscow: RUDN Publ.; 2003. (In Russ.)
19. Integrated Risk Information System. Nickel, soluble salts. Accessed March 2, 2022. https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=271
20. Integrated Risk Information System. Nickel refinery dust. Accessed March 2, 2022. https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=272



Результаты внедрения лечебно-профилактических мероприятий в некоторых профессиях судостроительной промышленности

Н.Ю. Малькова^{1,2}, М.Д. Петрова¹

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

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

Резюме

Введение. Судостроительная промышленность – это одна из ведущих отраслей народного хозяйства нашей страны. В Санкт-Петербурге в этой области сосредоточено до 60% рабочих от всего промышленного персонала города. Основу составляют инженерно-технические работники и рабочие судостроительных специальностей. Особое место среди рабочих занимают рубщики. Известно, что у рубщиков, выполняющих тяжелый и крайне тяжелый физический труд, нередко развиваются профессиональные заболевания рук от перенапряжения: эпикондилез, плечелопаточный периартроз, остеоартрозы суставов. Длительные статодинамические нагрузки на верхние конечности в сочетании с локальной вибрацией при вынужденном положении тела вызывают развитие дистрофических изменений в хрящевой (артроз), а затем и в костной ткани – остеоартроз. В связи с этим проведение профилактических мероприятий для сохранения работоспособности рабочих судостроительных специальностей, в том числе рубщиков, является актуальной задачей.

Цель: оценка эффективности разработанных и запатентованных способов на основе действия низкоинтенсивного лазерного излучения для восстановления нарушенных в результате трудового процесса функций костно-мышечной системы.

Материалы и методы. Изучались условия труда при работе с напряжением и перенапряжением мышц верхних конечностей за 2021 год. В исследование включены 38 рубщиков, 25 инженерно-технических работников в возрасте от 35 до 58 лет со стажем работы не менее 10 лет. Все работающие осматривались хирургом, неврологом. Для восстановления функционального состояния кровоснабжения верхних конечностей рабочих лазерным излучением красной области спектра воздействовали на тыльную поверхность кистей рук. Регионарное кровообращение кистей рук оценивалось методом реографии на аппаратно-программном комплексе «Мицар-РЕО».

Результаты исследований. После проведения профилактических мероприятий в течение 10 сеансов по 5 минут рабочие меньше жаловались на общую усталость, раздражительность, вялость и слабость, плохой сон: в 2,5 раза – рубщики, в 3 раза – инженерно-технические работники. Уменьшилось количество жалоб на головные боли, боли в сердце и руках. Только двое рубщиков отмечали сохранение некоторых незначительных болей в руках. Объективно улучшилось регионарное кровоснабжение.

Заключение. Низкоинтенсивное лазерное излучение красной области спектра при действии на тыльную поверхность кистей рук эффективно снимает ангиоспазм верхних конечностей, приводит к улучшению кровоснабжения. Внедрение разработанных методов профилактики предупредит развитие профессиональных заболеваний, снизит инвалидизацию больных.

Ключевые слова: профилактика, лазерное излучение, профессиональные заболевания, вибрация, судостроение, рубщики.

Для цитирования: Малькова Н.Ю., Петрова М.Д. Результаты внедрения лечебно-профилактических мероприятий в некоторых профессиях судостроительной промышленности // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 51–56. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-51-56>

Сведения об авторах:

Малькова Наталья Юрьевна – д.б.н., главный научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; профессор кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: lasergrtmal@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0426-8851>.

Петрова Милена Дмитриевна – младший научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: petrovoi.md@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-6523>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация результатов, литературный обзор, подготовка рукописи: **Малькова Н.Ю.**; сбор данных, литературный обзор, анализ и интерпретация результатов, подготовка рукописи: **Петрова М.Д.** Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено на заседании Локального этического комитета ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора (Протокол № 2020/23.2 от 28.10.2020). Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическими стандартами институционального и/или национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие на участие в исследовании и публикацию результатов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 17.03.22 / Принята к публикации: 06.05.22 / Опубликована: 31.05.22

Results of Implementing Preventive Health Measures for Workers of Certain Occupations in the Shipbuilding Industry

Natalia Yu. Mal'kova,^{1,2} Milena D. Petrova¹

¹ North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya, Saint Petersburg 191036, Russian Federation

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

Summary

Background: The shipbuilding industry is one of the leading sectors of the national economy of our country. In St. Petersburg, shipyards employ up to 60 % of all blue-collar workers, most of them being engineering technicians and shipbuilding specialists. Chippers occupy a special place among the latter. It is known that chippers performing heavy and extremely heavy physical labor often develop occupational diseases induced by hand and arm overstrain, such as epicondylitis, rotator cuff syndrome, and osteoarthritis. Prolonged static and dynamic loads on the upper extremities in combination with hand-arm vibration and forced postures cause dystrophic changes in the cartilage (arthrosis), and then in the bone tissue (osteoarthritis), thus necessitating appropriate preventive measures to preserve work ability of shipbuilders, including chippers.

Objective: To evaluate effectiveness of specially developed and patented techniques based exposure to low-intensity laser radiation for restoring occupationally impaired functions of the musculoskeletal system.

Material and methods: In 2021, we studied working conditions of 38 chippers and 25 engineering technicians aged 35 to 58 years, with at least 10 years of employment, experiencing muscle tension and overstrain of the upper extremities. All the workers were examined by a surgeon and a neurologist. To restore the functional state of the upper limb blood supply, laser radiation in the red region of the spectrum was applied to the back surface of workers' hands. Regional blood circulation of the hands was then evaluated using a Mizar-REO rheograph, Mizar LLC, St. Petersburg, Russian Federation.

Results: After ten 5-minute sessions of radiation therapy, the number of complaints of general fatigue, irritability, lethargy, weakness, and sleep disturbance decreased by 2.5 and 3 times in chippers and engineering technicians, respectively. The number of complaints of headaches, pain in the heart and hands reduced as well. Only two chippers reported persistence of some minor pains in their hands. The regional blood circulation also demonstrated an objective improvement.

Conclusion: Exposure of the dorsal side of hands to low-intensity laser radiation in the red region of the spectrum effectively relieves vasospasm of the upper extremities and leads to an improvement in blood supply. Introduction of the developed preventive care measure will contribute to occupational disease and disability prevention.

Keywords: prevention, laser radiation, occupational diseases, vibration, shipbuilding, choppers.

For citation: Mal'kova NYu, Petrova MD. Results of implementing preventive health measures for workers of certain occupations in the shipbuilding industry. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):51–56. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-51-56>

Author information:

✉ Natalia Yu. Mal'kova, Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; Professor, Department for Hygiene of Educational, Training, and Labor Conditions, and Radiation Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: lasergrmal@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0426-8851>.

Milena D. Petrova, Junior Researcher, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: petrovod.m@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-6523>.

Author contributions: study conception and design: Mal'kova N.Yu.; data collection, analysis and interpretation of results, literature review, draft manuscript preparation: Mal'kova N.Yu., Petrova M.D. Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the North-West Public Health Research Center, Minutes No. 2020/23.2 of October 28, 2020. All procedures performed in the study with the participation of people comply with the ethical standards of the institutional and/or National Committee for Research Ethics and the Helsinki Declaration of 1964 and its subsequent amendments or comparable standards of ethics. Informed consent was obtained from all participants in the study.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 17, 2022 / Accepted: May 6, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Сохранение трудовых ресурсов, здоровья работающего населения России рассматривается как приоритет государственной социальной политики страны, что определяет ее экономическое развитие и национальную безопасность.

Благодаря особенному географическому положению (более 40 тыс. км морских границ и более сотни тысяч километров речных путей) судостроение для России всегда являлось одной из важнейших отраслей промышленности. Судостроение является также значительным сегментом машиностроительной отрасли и оборонно-промышленного комплекса (ОПК) [1–4]. В Петербурге, по данным комитета по промышленной политике и инновациям, в судостроительной отрасли работает 43 организации, на которых задействовано более 50 тыс. специалистов. Продукция индустрии судостроения составляет более 50% от всей продукции ОПК, выпущенной в городе [5]. Основу составляют рабочие судостроительных специальностей и инженерно-технические работники. Особое место среди рабочих занимают рубщики.

Условия труда в судостроении сильно варьируются по часам, дням, неделям и месяцам, как по составу и интенсивности экологических факторов, так и по факторам трудового процесса в зависимости от характера производственных работ, положения рабочего места, степени загрузки предприятия [6]. Условия труда работников судостроительных производств характеризуются сложным комплексом производственных фак-

торов физической и химической природы [7]. Среди неблагоприятных факторов, влияющих на рабочих, лидируют: холодный микроклимат, шум, вибрация, тяжесть труда, неудобная поза, физические перегрузки, недостаточное освещение, контакт со сварочными аэрозолями и синтетическими моющими средствами [8–11]. Известно, что у рубщиков, выполняющих тяжелый и крайне тяжелый физический труд, нередко развиваются профессиональные заболевания рук от перенапряжения: эпикондилез, плечелопаточный периартроз, остеоартрозы суставов. Длительные статодинамические нагрузки на верхние конечности в сочетании с локальной вибрацией при вынужденном положении тела вызывают развитие дистрофических изменений в хрящевой (артроз), а затем и в костной ткани – остеоартроз [12]. В связи с этим проведение профилактических мероприятий для сохранения работоспособности рабочих судостроительных специальностей, в том числе рубщиков, является актуальной задачей.

Цель. Оценка эффективности разработанных и запатентованных способов на основе действия низкоинтенсивного лазерного излучения для восстановления нарушенных в результате трудового процесса функций костно-мышечной системы.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2021 г. на одном из предприятий судостроения г. Санкт-Петербург. Изучались условия труда при работе с напряжением и перенапряжением мышц верхних конечностей. Для восстановления функционального состояния кровоснабжения

верхних конечностей судовых рубщиков и инженерно-технических работников (ИТР) был внедрен разработанный способ, основанный на действии низкоинтенсивного лазерного излучения².

В исследование включены 38 рубщиков, 25 ИТР в возрасте от 35 до 58 лет со стажем работы не менее 10 лет. Методом анкетирования изучались жалобы, изучалось регионарное кровообращение верхних конечностей, проводился осмотр хирургом, неврологом.

Регионарное кровообращение оценивалось методом реографии на аппаратно-программном комплексе «Мицар-РЭО» до проведения профилактических мероприятий и после них [13].

Для снятия ангиоспазма на руках действовали в течение 10 дней по 5 минут на тыльную поверхность кисти рассеянным лазерным излучением длиной волны 650 нм для рубщиков – энергетической освещенностью $1,6 \times 10^{-4}$ Вт/см², для ИТР – 8×10^{-5} Вт/см². Руки располагали на столе в оптимальном физиологическом положении, мышцы плеча и предплечья максимально расслаблены³.

Статистический анализ полученных результатов проводился с использованием программы Statistica 8.

Для проведения профилактических мероприятий использовался прибор АЛП-01 (рег. удостоверение МЗ РФ № 29/06101298/0786-00 от 8.08.2000).

Положение пациента во время проведения процедуры на руки представлено на рисунке.

На основании гигиенических исследований выявлены неблагоприятные условия труда, которые могут оказать негативное влияние на состояние

здоровья рабочих. Полученные результаты показали, что условия труда в каждой из профессий характеризуются комплексом неблагоприятных факторов.

Так, для инженерно-технических работников характерны стереотипные рабочие движения за смену при локальной нагрузке с участием кистей и пальцев рук (52 000), работа в режиме «сидя», неудобная рабочая поза. В соответствии с Руководством Р 2.2.2006–05 по тяжести труд оценивается как вредный, тяжелый труд 1-й степени – класс 3.1.

Условия труда рубщиков судовых характеризуются физической нагрузкой: подъемом и перемещением тяжестей до 50 кг, статической нагрузкой на обе руки в сочетании с локальной вибрацией, работой в неблагоприятных микроклиматических условиях, неудобной рабочей позой. В соответствии с Руководством Р 2.2.2006–05 по тяжести труд оценивается как вредный, тяжелый труд 3-й степени – класс 3.3.

В обязанности рубщика входит подготовка материала под сварку посредством подгонной рубки кромок металла, вырубка придерживающих листовых деталей, предназначенных для соединения набора корпуса судна(книц) и другие^{4,5,6}. Эти операции рубщики выполняют в основном ручным пневматическим инструментом ударного действия (рубильные молотки) и вращательного действия (шлифовальные машинки). Время непосредственной работы с пневматическим инструментом у рубщиков составляет 66–63 % от общего количества времени, затрачиваемого на работу.



Рис. 1. Положение рук пациента во время проведения процедуры
Fig. 1. The position of patient's hands during the medical procedure

¹ Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Руководство Р 2.2.2006–05. СПб.: ЦОТПБСППО, 2005. 144 с.

² Патент RU 2409399. Способ профилактики заболеваний верхних конечностей при различных видах физической нагрузки. Дата регистрации: 29.07.2009.

³ Профилактика профессиональных заболеваний верхних конечностей при различных видах физической нагрузки (с использованием низкоинтенсивного лазерного излучения): Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 12 с.

Все работы, выполняемые рубщиками с применением пневмоинструмента, требуют значительных физических усилий и статического мышечного напряжения.

При работе с пневмоинструментами (молотками, зубилами и т. п.) судовые рубщики подвергаются воздействию локальной вибрации на руки.

Опрос рубщиков выявил жалобы на общую усталость у 37 человек (97,4 %), максимальное количество жалоб предъявлялось на побеление пальцев рук у 20 человек (52,6 %), раздражительность – у 18 (47,4 %), вялость и слабость – у 14 (37 %), нарушение сна – у 29 (76,6 %), головные боли и боли в сердце – у 14 человек (37 %), небольшую отечность кистей рук – у 12 рубщиков (31,8 %) (табл. 1).

Кроме этого, 37 рубщиков (97,4 %) жаловались на боли в руках: в покое, при движении, во время работы, во время сна, отмечалась болезненность пальцев кистей рук.

При осмотре хирургом у рубщиков выявлялись гипестезия пальцев кистей рук, онемение мышц кисти и мышц предплечий, нарушение функции суставов, болезненность кистей рук при пальпации, изменение регионарного кровообращения.

Среди инженерно-технических работников 20 (80 %) жалуются на общую усталость, 16 (64 %) – на раздражительность, 11 (44 %) – на вялость и слабость, 19 (76 %) – на нарушение сна, 12 (48 %) – на головные боли, 9 (36 %) – боли в сердце, 4 (16 %) – на небольшую отечность кистей рук.

Кроме этого, 21 (84 %) инженер предъявлял жалобы на боли в руках: в покое, при движении, во время работы, во время сна, отмечалась болезненность пальцев кистей рук.

У представителей данной профессии при осмотре хирургом также выявлялись гипестезия пальцев кистей рук, онемение мышц кисти и мышц предплечий, нарушение функции суставов.

вов, болезненность кистей рук при пальпации, изменение регионарного кровообращения.

После проведения профилактических мероприятий рубщики меньше жаловались на общую усталость, раздражительность, вялость и слабость, плохой сон в 2,5 раза. Работающие меньше жаловались на головные боли в 2 раза, боли в сердце в 1,8 раза. Уменьшилось количество жалобы на боли в руках. Только двое рабочих отмечали сохранение некоторых незначительных болей в руках. Результаты представлены в табл. 1.

После проведения профилактических мероприятий субъективно ИТР меньше жаловались на общую усталость, раздражительность, вялость и слабость, плохой сон в 3 раза. Работающие меньше жаловались на головные боли, боли в сердце в 2 раза. Исчезли жалобы на боли в руках. Объективно улучшилось регионарное кровоснабжение (табл. 2).

Результаты объективного обследования рубщиков и ИТР выявили увеличение амплитуды кистей рук и мышц предплечий, что свидетельствует об улучшении кровоснабжения этих участков верхних конечностей. Амплитуда реографической кривой у ИТР увеличена после проведения профилактических мероприятий на основе низкоинтенсивного лазерного излучения на 12,2–14,7 %, у рубщиков на 8,9–22,1 %.

Ускорение скорости быстрого и медленного кровотока в кистях рук и мышцах предплечий говорит о снижении тонуса крупных и мелких сосудов кистей и предплечий рук. Наибольшие изменения выявлены при исследовании скорости быстрого кровотока. Все это свидетельствует об улучшении кровоснабжения кистей рук и предплечий и снижении спастического компонента.

В результате проведения профилактических мероприятий с использованием низкоинтенсивного лазерного излучения среди представителей профессиональных групп, а именно

Таблица 1. Характеристика жалоб, предъявляемых представителями обследуемых групп до/после профилактических мероприятий

Table 1. Description of health problems reported by chippers and engineering technicians before/after preventive low-level laser therapy

Жалобы / Complaints	Рубщики / Chippers		ИТР / Engineering technicians	
	n	%	n	%
Общая усталость / General fatigue	37/25	97,4/65,8	20/7	80/28
Раздражительность / Irritability	18/11	47,4/28,9	16/5	64/20
Слабость, вялость / Weakness, lethargy	14/8	37/21	11/4	44/16
Нарушение сна / Sleep disturbance	29/11	76,6/28,9	19/6	76/24
Головные боли / Headaches	14/7	37/18,4	12/6	48/24
Боли в сердце / Heart pain	14/8	37/21	9/5	36/20
Жалобы на боли в руках / Pain in the hands:	37/2	97,4/5,2	21/0	84/0
– в покое / at rest	18/1	47,3/2,63	12/0	48/0
– при движении / when moving	32/1	83,2/2,63	15/0	60/0
– во время работы / during work	25/1	65,8/2,63	18/0	72/0
– во время сна / during sleep	23/1	60,5/2,63	11/0	44/0
Небольшая отечность кистей рук / Slight hand swelling	12/0	31,8/0	4/0	16/0
Побеление пальцев рук / White fingers	20/2	52,6/5,2	1/0	4/0

⁴ ГОСТ 17770-86. ССБТ. Машины ручные. Требования к вибрационным характеристикам. М.: Изд-во стандартов, 1986. 6 с.

⁵ ГОСТ 12.1.012–90. Вибрационная безопасность. Общие требования к проведению измерений. М.: Изд-во стандартов, 1990. 46 с. Приложение 10 к ГОСТ 12.1.012–90. Вибрационная безопасность. Общие требования к проведению измерений.

⁶ ГОСТ 13641–80. Элементы металлического корпуса надводных кораблей и судов конструктивные. Термины и определения.

Таблица 2. Амплитуда реографической кривой (Ом) до и после проведения профилактических мероприятий у обследованных групп**Table 2. The amplitude of the rheraphic curve (Ohm) measured before and after preventive low-level laser therapy in the examined groups**

Параметры / Parameters	Время исследования / Time of measurement	Предплечье / Forearm		Кисть / Wrist	
		левое / left	правое / right	левая / left	правая / right
ИТР / Engineering technicians	До профилактики / Before prevention	0,102 ± 0,002	0,106 ± 0,001	0,110 ± 0,002	0,112 ± 0,002
	После профилактики / After prevention	0,117 ± 0,002	0,119 ± 0,001	0,123 ± 0,002	0,128 ± 0,002
Рубщики / Chippers	До профилактики / Before prevention	0,078 ± 0,003	0,071 ± 0,001	0,101 ± 0,002	0,104 ± 0,002
	После профилактики / After prevention	0,085 ± 0,002	0,080 ± 0,001	0,114 ± 0,002	0,127 ± 0,002

Примечание: жирным шрифтом выделены значения параметров, у которых различия с данными исследования до профилактических мероприятий достоверны. Уровень достоверности составляет 95 % ($p \leq 0,05$ по критерию Стьюдента).

Note: $p \leq 0,05$ compared with values before prevention.

Таблица 3. Скорость быстрого кровенаполнения (Ом/с) до и после проведения профилактических мероприятий**Table 3. The rate of rapid filling (Ohm/s) before and after preventive treatment**

Параметры / Parameters	Время исследования / Time of measurement	Предплечье / Forearm		Кисть / Wrist	
		левое / left	правое / right	левая / left	правая / right
ИТР / Engineering technicians	До профилактики / Before prevention	1,083 ± 0,01	1,091 ± 0,01	1,43 ± 0,01	1,42 ± 0,005
	После профилактики / After prevention	1,119 ± 0,01	1,117 ± 0,01	1,61 ± 0,01	1,63 ± 0,005
Рубщики / Chippers	До профилактики / Before prevention	1,071 ± 0,01	0,92 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,11 ± 0,005
	После профилактики / After prevention	1,093 ± 0,01	1,101 ± 0,01	1,28 ± 0,01	1,42 ± 0,005

Примечание: жирным шрифтом выделены значения параметров, у которых различия с данными исследования до профилактических мероприятий достоверны. Уровень достоверности составляет 95 % ($p \leq 0,05$ по критерию Стьюдента).

Note: $p \leq 0,05$ compared with the values before prevention.

инженерно-технических работников, рубщиков выявлено улучшение микроциркуляции кистей рук и предплечий верхних конечностей за счет снятия спастического компонента. Однако выявленные изменения различны и обусловлены различной тяжестью труда, а также с энергетической экспозицией лазерного излучения, действующей на кисти рук. Так, тяжесть труда ИТР характеризуется стереотипными рабочими движениями за смену при локальной нагрузке с участием кистей и пальцев рук, а у рубщиков – статической нагрузкой на обе руки в сочетании с локальной вибрацией. Наибольшие изменения выявлены при исследовании скорости быстрого кровотока. Спастический компонент в крупных сосудах проходит быстрее.

Обсуждение. На основании проведенных гигиенических исследований нами выявлены неблагоприятные условия труда, которые могут оказывать негативное влияние на состояние здоровья рабочих. Полученные результаты показали, что условия труда в каждой из профессий характеризуются комплексом неблагоприятных факторов, таких как физическая нагрузка с подъемом и перемещением тяжестей до 50 кг, статической нагрузкой на обе руки в сочетании с локальной вибрацией, работой в неблагоприятных микроклиматических условиях, неудобной рабочей позой, что отмечали и другие исследователи⁷ [14].

После воздействия профилактических мероприятий увеличилась амплитуда пульсовой кривой по данным реографии, что свидетельствует об увеличении кровенаполнения костно-мышечной системы верхних конечностей, исчезли жалобы на боли в руках в покое, при движении, во время работы, сна. По данным объективного обследования восстановилось функциональное состояние костно-мышечной системы у представителей

профессиональных групп. Лазерное излучение действует непосредственно на сосуды, изменяя их тонус, частоту и амплитуду сокращения [15]. За счет этих механизмов достигается быстрое восстановление микроциркуляторного русла [16]. Снятие ангиоспазма верхних конечностей связано с улучшением кровоснабжения рук.

Заключение. Таким образом, низкоинтенсивное лазерное излучение красной области спектра при действии на тыльную поверхность кистей рук эффективно снимает ангиоспазм верхних конечностей, приводит к улучшению кровоснабжения, улучшению общего состояния, качества жизни работающих.

Полученные результаты дают надежду на то, что дальнейшее внедрение разработанных методов профилактики предупредит развитие профессиональных заболеваний, замедлит инвалидизацию работающего населения.

Список литературы

- Перепадин К.К., Алексожина А.А., Сафонов С.Д. Анализ мирового рынка судостроения и исследование позиций России на рынке судостроения // Modern Science. 2020. № 6-1. С. 170–174.
- Левкина Е.В., Попова Е.Г. Проблемы и перспективы развития судостроительной отрасли в России // Карельский научный журнал. 2017. Т. 6. № 2 (19). С. 126–130.
- Мясникова К.Д. Современное состояние и развитие морского и речного флота России // Молодой ученый. 2016. № 13-1 (117). С. 66–69.
- Сачек А.В. Состояние условий и охраны труда на предприятиях судостроения и судоремонта Приморского края. Вологдинские чтения. 2008. № 5. С. 92–93.
- Наумова К. Загруженные верфи. Международный Военно-морской салон. Приложение № 112/П к газете Коммерсантъ от 29.06.2015. С. 17.
- Суслов В.Л., Сорокин Г.А., Гребеньков С.В. Анализ и гигиеническая оценка 9-летней

⁷ Сифун Н.А. Физиолого-гигиеническая характеристика трудовой деятельности и состояния здоровья молодых рабочих судоремонтной промышленности: Автoref. дис. ... канд. мед. наук. Киев, 1980. 24 с.

- динамики заболеваемости с временной утратой трудоспособности судостроителей. Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 5. С. 25–31. doi: 10.31089/1026-9428-2018-5-25-31
7. Трофимова М.В. Анализ условий труда и профессиональной заболеваемости работников судостроительного предприятия // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 9. С. 142–143.
 8. Шаповалова М.А., Мамедов И.Г. Организационно-управленческая модель системной оценки заболеваемости работников мужского пола судостроительной отрасли. Здоровье населения и среды обитания. 2020. № 1 (322). С. 9–12. doi: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-9-12
 9. Иванченко А.В., Саенко С.А., Дохов М.А., Баулин С.А. Прогноз риска возникновения временной утраты трудоспособности на основе комплексной оценки состояния здоровья, условий труда и качества жизни работников судостроения. *Acta Biomedica Scientifica*. 2013. № 3-2 (91). С. 79–82.
 10. Бабанов С.А., Воробьева Е.В. Особенности диагностики и течения вибрационной болезни в условиях современного производства // Трудный пациент. 2010. Т. 8. № 5. С. 28–30.
 11. Довгуша В.В., Егоров Ю.Н., Довгуша Л.В. Итоги 15-летнего периода медико-гигиенического обеспечения комплексной утилизации атомных подводных лодок. Экология человека. 2009. № 3. С. 3–8.
 12. Измиров Н.Ф., Монаенкова А.М., Артамонова В.Г. и др. Профессиональные заболевания. Москва: Медицина, 1996. Т. 2. 480 с.
 13. Ревенко С. В. Гармонические перспективы реографии // Нервно-мышечные болезни. 2012. № 4. С. 8–18.
 14. Корюкаев Ю.С., Калистратов Н.Я., Степанов В.В., Ферина С.Т. Первоочередные задачи улучшения условий труда в судостроении и судоремонте // Технология судостроения. 1991. № 1. С. 24–27.
 15. Малькова Н.Ю., Попов А.В. Использование низкоинтенсивного лазерного излучения для лечения профессионального миофиброза // Экология человека. 2018. № 1. С. 26–30. doi: 10.33396/1728-0869-2018-1-26-30
 16. Ушкова И.Н., Малькова Н.Ю. Профилактика заболеваний опорно-двигательного аппарата при статических, динамических нагрузках на руки и воздействии локальной вибрации // Медицина труда и промышленная экология. 2004. № 12. С. 41–43.

References

1. Perepadin, KK, Alekhozhina AA, Safronov SD. [Analysis of the global shipbuilding market and the study of the position of Russia on the shipbuilding market.] *Modern Science*. 2020;(6–1):170–174. (In Russ.)



Особенности развития вибрационной болезни у работников предприятий в российской Арктике

С.А. Сюрин

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская улица, д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Вибрационная болезнь является распространенной профессиональной патологией, характеризующейся поражением костно-мышечной, нервной и сосудистой систем организма

Цель исследования: изучение особенностей развития вибрационной болезни у работников предприятий в российской Арктике.

Материалы и методы. Изучены данные социально-гигиенического мониторинга по разделу «Условия труда и профессиональная заболеваемость» населения Арктической зоны Российской Федерации в 2007–2020 годах. Результаты обработаны с применением программного обеспечения Microsoft Excel 2016 и программы Epi Info, v. 6.04d

Результаты. В 2007–2020 годах в структуре вредных производственных факторов, выявленных на предприятиях, общая вибрация занимала седьмое (5,7 %), а локальная – десятое место (1,5 %). В структуре факторов, вызывавших профессиональную патологию, общая и локальная вибрация занимали соответственно третье и четвертое места, а совокупная доля двух видов вибрации (29,5 %) уступала только повышенной тяжести трудовых процессов. В 2007–2020 годах вибрационная болезнь была впервые диагностирована у 2234 работников, в число которых преимущественно входили мужчины (99,5 %) льготного пенсионного возраста ($51,0 \pm 0,1$ года), занятые добычей полезных ископаемых (91,3 %). Риск развития вибрационной болезни от локальной вибрации был выше, чем от общей вибрации: OR = 3,37; DI 2,48–4,59; $\chi^2 = 67,0$; $p < 0,001$. Средний годовой показатель заболеваемости при вибрационной болезни составил 4,23/10000 работников. За 14 лет число случаев вибрационной болезни и ее доля в структуре профессиональной патологии имели тенденцию к росту, а продолжительность стажа работников на момент диагностики заболевания снизилась с $24,9 \pm 0,3$ до $23,2 \pm 0,2$ года ($p < 0,001$).

Заключение. Требуют объяснения увеличение числа случаев вибрационной болезни и ее доли в структуре профессиональной патологии, а также уменьшение трудового стажа работников с данной патологией, не обусловленные ухудшением условий труда.

Ключевые слова: работники предприятий, общая и локальная вибрация, вибрационная болезнь, Арктика.

Для цитирования: Сюрин С.А. Особенности развития вибрационной болезни у работников предприятий в российской Арктике // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 57–64. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-57-64>

Сведения об авторе:

✉ Сюрин Сергей Алексеевич – д.м.н., главный научный сотрудник отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

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

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

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 14.03.22 / Принята к публикации: 30.03.22 / Опубликована: 31.05.22

Trends in Vibration Disease Rates among Industrial Workers in the Russian Arctic

Sergei A. Syurin

North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: Vibration disease is a prevalent occupational disorder of the musculoskeletal, nervous, and vascular systems.

Objective: To study recent trends in vibration disease rates among industrial workers in the Russian Arctic.

Materials and methods: Public health monitoring data on working conditions and occupational diseases in the population of the Russian Arctic for 2007–2020 were analyzed using Microsoft Excel 2016 and Epi Info, v. 6.04d.

Results: In 2007–2020, whole-body and hand-arm vibration ranked seventh (5.7 %) and tenth (1.5 %) in the general structure of industrial hazards identified at the local enterprises, respectively. Among etiologic factors of occupational diseases, these two types of vibration occupied the third and fourth places, while their cumulative exposure was second (29.5 %) only to the increased severity of labor processes. In 2007–2020, vibration disease was first diagnosed in 2,234 workers, mostly men (99.5 %) of early retirement age (51.0 ± 0.1 years) engaged in mining (91.3 %). The risk of developing vibration disease due to hand-arm vibration was higher than from whole-body vibration: RR = 3.37; CI 2.48–4.59; $\chi^2 = 67.0$; $p < 0.001$. The average annual incidence rate of vibration disease was 4.23 per 10,000 workers. Over 14 years, the number of vibration disease cases and its share in the structure of occupational disorders tended to increase while the number of years of employment in workers with vibration disease decreased from 24.9 ± 0.3 to 23.2 ± 0.2 ($p < 0.001$).

Conclusion: The increased number of vibration disease cases and a shorter length of service until the disease onset, which can hardly be attributed to deteriorating working conditions, require a proper explanation.

Keywords: industrial workers, whole-body vibration, hand-arm vibration, vibration disease, Arctic.

For citation: Syurin SA. Trends in vibration disease rates among industrial workers in the Russian Arctic. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):57–64. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-57-64>

Author information:

✉ Sergei A. Syurin, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Department for Environmental Research and Public Health in the Russian Arctic, North-West Public Health Research Center; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

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: Ethics approval was not required for this study.

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

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Received: March 14, 2022 / Accepted: March 30, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Вибрационная болезнь (ВБ) относится к широко распространенным нарушениям здоровья профессиональной этиологии, отличительной чертой которой является комплексное поражение костно-мышечной, нервной, сосудистой и других систем организма [1, 2]. В последние три года в России по официальным данным ВБ занимала второе место в структуре профессиональной патологии от воздействия вредных производственных факторов физической природы с долями 42,88 % в 2018 году¹, 42,65 % в 2019 году² и 29,43 %, в 2020 году³.

Согласно современным научным данным в основе возникновения и прогрессирования патологических изменений при ВБ лежат сложные нейрогуморальные и нервно-рефлекторные расстройства [3–5]. Первично возникая вследствие воздействия промышленной вибрации, они могут усиливаться охлаждающим микроклиматом рабочих мест, физическими перегрузками, работой в вынужденных и неудобных позах, а также другими вредными производственными факторами и их сочетанием [6–9].

Медико-социальное значение ВБ заключается в том, что, несмотря на постоянное улучшение вибрационных характеристик производственного оборудования, применение современных средств индивидуальной защиты от вибрации, организационных и медицинских методов профилактики, достигнуть существенных положительных результатов пока не удается. Во-первых, на высоком уровне остаются показатели заболеваемости ВБ как в целом в России, так и в ее регионах [10–12]. Во-вторых, в связи с комплексными и часто необратимыми изменениями органов и систем организма, ВБ продолжает представлять одну из важнейших причин снижения или потери трудоспособности у работников, прежде всего, горнодобывающих предприятий в России [13–15]. Так же как и в России, у работников промышленных предприятий в зарубежных странах повышенные уровни производственной вибрации связаны с повышенным риском развития нарушений здоровья (боли различной локализации, нейросенсорные и ангиодистонические нарушения, патология костно-мышечной системы и другие) и снижением профессиональной трудоспособности [16–19].

Таким образом, вопросы поддержания и укрепления здоровья работников, экспонированных к производственной вибрации, сохраняют свою актуальность и, вероятно, еще далеки от оптимального решения. Есть все основания полагать, что получение новых знаний об особенностях формирования ВБ в условиях современного производства, в том числе в условиях российской Арктики, позволит разработать более эффективные способы ее профилактики.

Цель исследования состояла в изучении особенностей развития вибрационной болезни у работников предприятий в российской Арктике.

Материал и методы. Изучены данные социально-гигиенического мониторинга по разделу «Условия труда и профессиональная заболеваемость» населения Арктической зоны Российской Федерации в 2007–2020 годах, границы которой определены Указами Президента Российской Федерации № 296 от 02 мая 2014 года⁴ и № 220 от 13 мая 2019 года⁵. Сведения были предоставлены ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Москва. Результаты периодических медицинских осмотров (без персональной информации) и данные санитарно-гигиенических характеристик при подозрении на профессиональное заболевание работников предприятий Мурманской области (без персональной информации) были получены в Кольском филиале ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (г. Кировск, Мурманская область).

Результаты исследований обработаны с применением программного обеспечения Microsoft Excel 2016 и программы Epi Info, v. 6.04d. Использовались *t*-критерий Стьюдента для независимых совокупностей, критерий согласия χ^2 , относительный риск (ОР) и 95 % доверительный интервал (ДИ). Числовые данные представлены как абсолютные и процентные значения, среднее арифметическое и стандартное отклонение средней арифметической ($M \pm t$). Уровень значимости нулевой гипотезы менее 0,05 принимался как критический.

Результаты. По данным социально-гигиенического мониторинга «Условия труда и профессиональная заболеваемость» в 2007–2020 годах работники расположенных в российской Арктике предприятий подвергались воздействию тринадцати вредных производственных факторов, а также их сочетанному влиянию. Ежегодное число лиц, экспонированных к локальной вибрации, варьировало от 5374 (2010 год) до 9339 (2008 год), составляя в среднем 5960 человек. При воздействии общей вибрации эти колебания находились в пределах 18 750 (2010 год) – 24 753 (2017 год) работника при среднем годовом показателе 22 138,7 работника. Несмотря на отмеченные колебания, 14-летний тренд числа лиц, экспонированных к двум видам вибрации, не демонстрировал значимого увеличения или снижения (направление линий тренда параллельно линии абсцисс, рис. 1).

В структуре вредных производственных факторов (без учета их сочетанного действия) общая вибрация занимала седьмое, а локальная – десятое место. Совокупная доля двух видов вибрации (7,2 %) находилась на шестом месте, уступая шуму, тяжести и напряженности труда, неионизирующем электромагнитным полям и излучениям, химическим факторам (рис. 2).

В 2007–2020 годах развитие профессиональных заболеваний у работников предприятий в российской Арктике было обусловлено действием

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019.

² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020.

³ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021.

⁴ Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».

⁵ Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2019 № 220 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».

девяти факторов. В их структуре общая и локальная вибрация занимали соответственно третье и четвертое места, а совокупная доля двух видов вибрации (29,5 %) уступала только повышенной тяжести трудовых процессов (рис. 3).

В 2007–2020 годах ВБ была впервые диагностирована у 2234 работников предприятий в российской Арктике, в их число преимущественно входили мужчины (99,5 %) льготного пенсионного возраста ($51,0 \pm 0,1$ лет), занятые добычей полезных ископаемых (91,3 %). Из работников добывающих предприятий 1909 (93,6 %) человек осуществляли добычу рудного сырья (медно-никелевой, апатит-нефелиновой, железной и других видов руд). В шахтной и карьерной добычей угля был занят 121 (5,9 %) человек, а в добыче природного газа и нефти – 10 (0,5 %) работников. ВБ от локальной вибрации была диагностирована у 1062 работников, а от общей – у 1172 работников. С учетом общего числа лиц, экспонированных к вибрации, риск развития ВБ

от локальной вибрации был выше, чем от общей вибрации: ОР = 3,37; ДИ 2,48–4,59; $\chi^2 = 67,0$; $p < 0,001$. Средняя годовая заболеваемость ВБ составила 4,23 случая на 10 000 работников с вредными условиями труда.

Характеристика ВБ, возникшей от воздействия двух разных видов вибрации, за исключением пола работника, вида экономической деятельности и обстоятельств развития заболевания, имела существенные отличия (табл. 1). Так, при локальной вибрации были меньше возраст работника и продолжительность трудового стажа на момент выявления заболевания. Наиболее характерным было развитие ВБ у проходчиков и уже в 1,5–2,5 раза реже – у машинистов погрузочно-доставочной машины, машинистов буровой установки и горнорабочих очистного забоя. Почти две трети заболеваний вызывались локальной вибрацией выше 9 дБ (классы условий труда 3,3–4,0), обусловленной главным образом несовершенством технологических процессов.

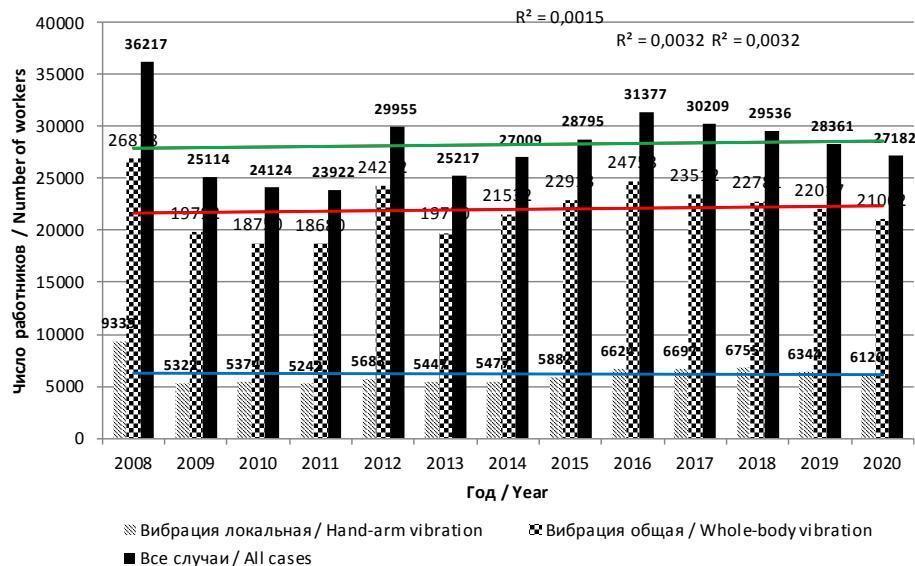


Рис. 1. Ежегодное число работников, экспонированных к локальной и общей вибрации на предприятиях в российской Арктике в 2008–2020 годах

Fig. 1. The annual number of industrial workers exposed to hand-arm and whole-body vibration in the Russian Arctic, 2008–2020

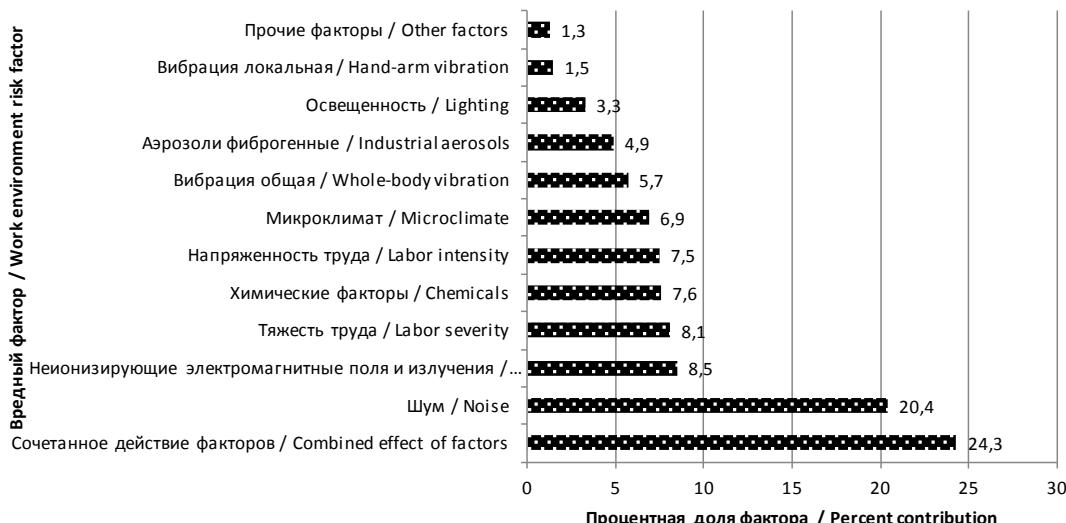


Рис. 2. Структура вредных производственных факторов на предприятиях в российской Арктике в 2007–2020 годах

Fig. 2. The structure of work environment risk factors identified in industries of the Russian Arctic, 2007–2020

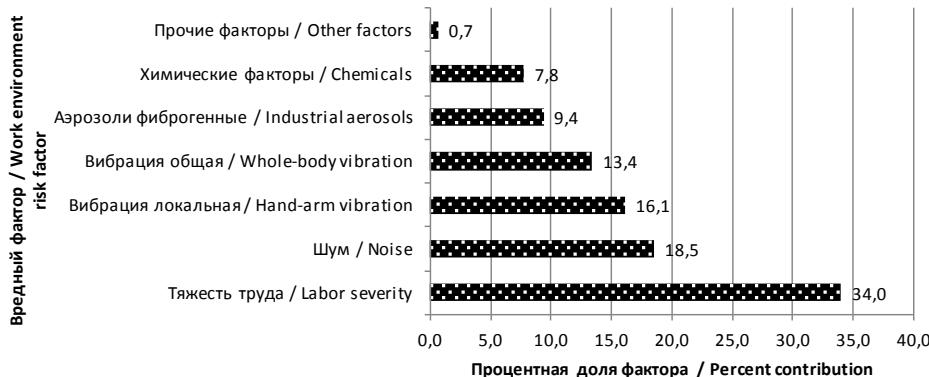


Рис. 3. Структура вредных производственных факторов, вызывавших развитие профессиональной патологии у работников предприятий в российской Арктике в 2007–2020 годах

Fig. 3. The structure of work environment risk factors that induced occupational diseases in industrial workers of the Russian Arctic, 2007–2020

При общей вибрации ВБ чаще развивалась у машинистов погрузочно-доставочной машины, машинистов буровой установки и водителей автомобиля. Почти в 90 % случаев уровень общей вибрации не превышал 12 дБ (классы условий труда 3.1–3.2). Основным обстоятельством возникновения экспозиции к вредному фактору было несовершенство технологических процессов (как и при общей вибрации). Меньшую роль играли конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования.

В течение 14 лет ежегодное число впервые диагностированной ВБ от локальной вибрации

варьировало в широком диапазоне 22–134 случаев, а от общей вибрации – 41–159 случаев, при этом наибольший уровень показателей отмечался в 2014–2015 годах (рис. 4). Соотношение форм ВБ от локальной и общей вибрации постоянно изменялось: 9 лет преобладала ВБ от локальной, а 5 лет – от общей вибрации. В 2007–2020 годах отмечалась тенденция к росту числа как всех форм ВБ, так и ВБ от локальной и общей вибрации, но при локальной вибрации она была более выраженной (восходящие линии трендов).

Средняя годовая доля больных ВБ в общей структуре больных всеми нозологическими фор-

Таблица 1. Общая характеристика работников и условий развития вибрационной болезни
Table 1. Description of vibration disease cases and their working conditions

Показатель / Parameter	Локальная вибрация / Hand-arm vibration n = 1062	Общая вибрация / Whole-body vibration n = 1172	p
Пол / Sex: мужчины / men женщины / women	1058 (99,6 %) 4 (0,4 %)	1164 (99,3 %) 8 (0,7 %)	0,324
Возраст, лет / Age, years	50,1 ± 0,2	51,7 ± 0,2	< 0,001
Стаж, лет / Length of service, years	22,8 ± 0,2	24,9 ± 0,2	< 0,001
Наиболее распространенные профессии / Most prevalent occupations			
Проходчик / Tunneler	332 (31,3 %)	38 (3,2 %)	< 0,001
Машинист погрузочно-доставочной машины / Loader driver	182 (17,1 %)	260 (22,2 %)	0,003
Машинист буровой установки / Drilling rig operator	146 (13,7 %)	230 (19,6 %)	< 0,001
Горнорабочий очистного забоя / Breakage face miner	135 (12,7 %)	48 (4,1 %)	< 0,001
Крепильщик / Timberman	83 (7,8 %)	36 (3,1 %)	< 0,001
Водитель автомобиля / Truck driver	17 (1,6 %)	179 (15,3 %)	< 0,001
Машинист экскаватора / Excavator operator	7 (0,7 %)	108 (9,2 %)	< 0,001
Класс условий труда при развитии вибрационной болезни / Class of working conditions of vibration disease cases			
Класс 2, вибрация < ПДУ / Class 2, vibration below the exposure limit value	2 (0,2 %)	0	0,138
Класс 3.1 / Class 3.1, ≤ 3 / ≤ 6 дБ / dB*	143 (13,5 %)	333 (28,4 %)	< 0,001
Класс 3.2 / Class 3.2, ≤ 6 / ≤ 12 дБ / dB	265 (25,0 %)	715 (61,0 %)	< 0,001
Класс 3.3 / Class 3.3, ≤ 9 / ≤ 18 дБ / dB	372 (35,0 %)	112 (9,6 %)	< 0,001
Класс 3.4 / Class 3.4, ≤ 12 / ≤ 24 дБ / dB	223 (21,0 %)	9 (0,8 %)	< 0,001
Класс 4 / Class 4, > 12 / > 24 дБ / dB	57 (5,4 %)	3 (0,3 %)	< 0,001
Обстоятельства развития вибрационной болезни / Possible reasons for vibration disease development			
Несовершенство технологических процессов / Imperfection of technological processes	729 (68,6 %)	790 (67,4 %)	0,532
Конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования / Design flaws of machines, mechanisms and other equipment	303 (28,5 %)	257 (21,9 %)	0,001
Несовершенство рабочих мест / Imperfection of workplaces	27 (2,5 %)	123 (10,5 %)	0,001
Ненадежность машин, механизмов и другого оборудования / Malfunction of machines, mechanisms, and other equipment	3 (0,3 %)	2 (0,2 %)	0,577

Примечание. * – уровень локальной / уровень общей вибрации.

Note: * – level of hand-arm / whole-body vibration.

мами профессиональных заболеваний составила 29,0 %, колеблясь от 15,5 % в 2007 году до 43,3 % в 2015 году, и имея общую тенденцию к увеличению ($p < 0,001$). Вследствие этого риск развития ВБ в последние 5 лет изученного периода времени (2016–2020 года) был выше, чем в первые пять (2007–2011 годы): ОР = 1,77; ДИ 1,61–1,94; $\chi^2 = 151,2$; $p < 0,001$.

Для углубленной характеристики особенностей формирования ВБ были изучены показатели возраста и продолжительности стажа на момент первичной регистрации заболевания в начале, середине и в конце 2007–2020 годов (табл. 2). При ВБ от локальной вибрации снижение возраста отмечено в 2016–2020 годах по сравнению с 2007–2011 годами ($p < 0,001$), а стажа уже в 2012–2015 годах по сравнению с 2007–2011 годами ($p = 0,034$). При ВБ от общей вибрации снижение возраста и стажа было более выраженным и имело статистическую значимость при сравнении между собой всех трех временных периодов. При совокупном учете двух форм ВБ снижение возраста по сравнению с исходным уровнем происходило в 2016–2020 годах ($p < 0,001$), а стажа как в 2012–2015 годах ($p = 0,013$), так и в 2016–2020 годах ($p < 0,001$).

Проведена дополнительная оценка возможных связей возраста и продолжительности стажа с фактом установления диагноза профессионального заболевания. Для этого изучено распределение заболевших ВБ работников по возрастным группам с учетом льготного пенсионного возраста и по стажевым группам с учетом средней продолжительности стажа у данной категории работников. Были выделены три возрастные группы: до пенсионная (менее 45 лет), предпенсионно-пенсионная (45–55 лет) и послепенсионная (более 55 лет). Градация стажевых групп включала: средний стаж ($M \pm 10$ %, лет), укороченный стаж ($< M \pm 10$ %, лет) и удлиненный стаж ($> M \pm 10$ %, лет). Установлено, что в допенсионную возрастную группу вошли 124 больных ВБ от локальной вибрации и 93 больных от общей вибрации. В предпенсионно-пенсионной группе таких больных было 787 и 806 соответственно, в послепенсионной – 151 и 269 работников соответственно. Следовательно, на момент установления ВБ 71,3 % работников находились в предпенсионно-пенсионном возрасте, только 9,7 % работников – в допенсионном и 18,8 % работников – в послепенсионном возрасте.

Совсем другим было распределение больных ВБ в трех стажевых группах. Укороченный стаж определялся в 306 случаях ВБ от локальной

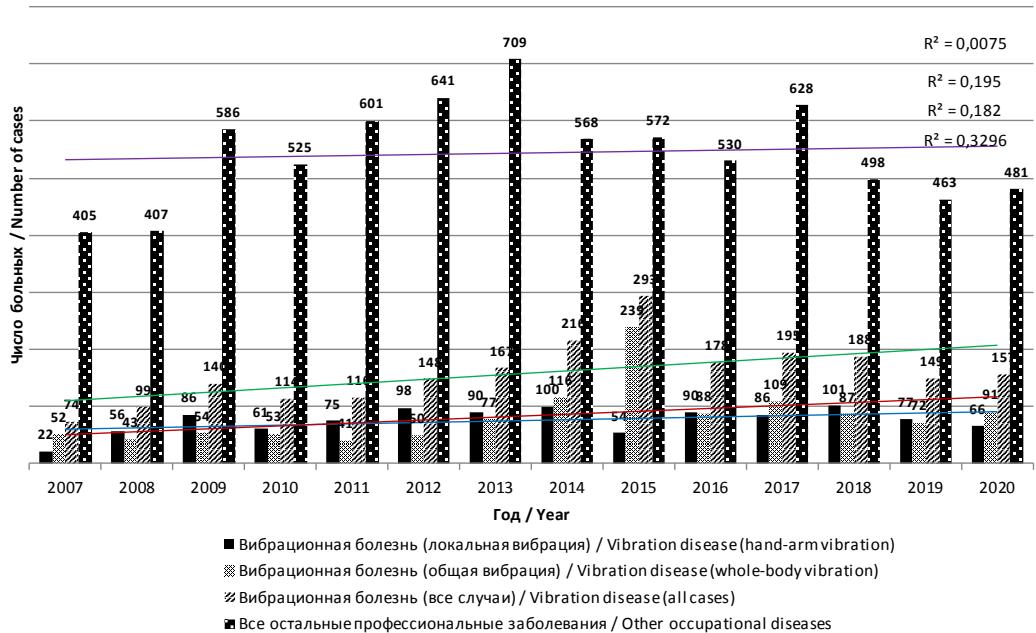


Рис. 4. Ежегодное число впервые выявленных больных вибрационной болезнью и всеми профессиональными заболеваниями в российской Арктике в 2007–2020 годах

Fig. 4. Annual incident cases of vibration disease and of all occupational diseases in industrial workers of the Russian Arctic, 2007–2020

Таблица 2. Возраст и стаж работников при первичном выявлении вибрационной болезни в российской Арктике в 2007–2020 годах
Table 2. Age and length of service of incident cases of vibration disease among industrial workers in the Russian Arctic, 2007–2020

Форма вибрационной болезни / Vibration disease type	Годы / Years					
	2007–2011		2012–2015		2016–2020	
	Возраст, лет / Age, years	Стаж, лет / Years of employment	Возраст, лет / Age, years	Стаж, лет / Years of employment	Возраст, лет / Age, years	Стаж, лет / Years of employment
Локальная вибрация / Hand-arm vibration	50,7 ± 0,3	23,4 ± 0,3	50,8 ± 0,3	22,5 ± 0,31	49,2 ± 0,22,3	22,5 ± 0,32,3
Общая вибрация / Whole-body vibration	52,9 ± 0,3	26,7 ± 0,4	52,1 ± 0,21	25,1 ± 0,31	50,7 ± 0,22,3	23,8 ± 0,32,3
Все случаи / All cases	51,7 ± 0,2	24,9 ± 0,3	51,6 ± 0,2	24,0 ± 0,21	50,0 ± 0,1	23,2 ± 0,22,3

Примечание. ¹ – статистически значимые различия ($p < 0,05$) между первым и вторым периодами; ² – между первым и третьим периодами; ³ – между вторым и третьим периодами.

Notes: ¹ statistically significant differences ($p < 0,05$) between the first and second time spans; ² between the first and third time spans; ³ between the second and third time spans.

вибрации и в 360 случаях ВБ от общей вибрации. Средняя продолжительность стажа отмечалась у 447 и 389 работников, а удлиненный стаж — у 309 и 423 работников соответственно с ВБ от локальной и ВБ от общей вибрации. Таким образом, доли трех стажевых групп составили 29,8, 37,4 и 32,8 % работников соответственно, что существенно отличалось от характера распределения работников в трех возрастных группах.

Помимо этого, у 91 работника горнодобывающего предприятия ретроспективно изучены хронологические особенности выявления начальных и умеренных проявлений воздействия вибрации: вегетативной дисфункции кистей, ангиодистонического синдрома, вегетативно-сенсорной полинейропатии, артрозов и других нарушений (рис. 5). Изменения состояния здоровья каждого горняка оценивали с первого года работы на руднике (предварительный медицинский осмотр) до года прекращения трудовой деятельности после выявления ВБ (периодические медицинские осмотры). Установлено, что наиболее ранние по времени патологические изменения диагностируются по результатам медицинского осмотра за 18–25 лет до прекращения трудовой деятельности. Их доля составила 8,8 % всех заболеваний. В последующие 15 лет до прекращения трудовой деятельности было выявлено 56,0 % связанных с вибрацией нарушений, что составило 3,7 % случаев в год. Их количество резко возросло за один год до (15,4 %) и в год прекращения трудовой деятельности (19,8 %).

Обсуждение. Проведенное исследование подтверждает медико-гигиеническую значимость производственной вибрации, являющейся шестым по распространенности вредным производственным фактором и второй по частоте причиной развития профессиональных заболеваний у работников предприятий в российской Арктике. Интересно отметить, что если вышеуказанный уровень распространенности производственной вибрации, превышающей установленные ПДУ, является ниже общероссийского, то частота развития связанных с вибрацией профессиональных заболеваний его превышает. Также в Арктике в еще большей степени, чем в России в целом, ВБ развивается у горняков, непосредственно занятых добычей рудного сырья и каменного угля.

Однако основной результат выполненного исследования, заслуживающий внимания и обсуждения, состоит в том, что комплексные технические, организационные и медицинские меры, направленные на профилактику ВБ, не дают ожидаемых результатов. Более того, сохраняется тенденция к росту числа заболевших работников и увеличению доли ВБ в структуре всей профессиональной патологии. Вызывает тревогу сокращение продолжительности трудового стажа работников предприятий в российской Арктике, обусловленное ВБ.

Уровень заболеваемости ВБ трудно оценить, так как отсутствуют достоверные эпидемиологические сведения, единые диагностические критерии и регистры профессиональных заболеваний, как в нашей стране, так и за рубежом [2]. Обычно в литературе представлены данные о процентной доле ВБ в общей структуре профессиональной патологии в каком-либо регионе или виде экономической деятельности. Полученные нами данные показывают, что процентная доля ВБ в структуре профессиональной патологии в российской Арктике (29,0 %) существенно не отличалась от показателей в Мурманской области (12,5–28,1 %), превышала их уровень в Самарской области (7,0–18,9 %), но была ниже, чем в Иркутской области (21,1–35,9 %) и в Республике Башкортостан (32–36 %) [10–12, 20]. Уровень заболеваемости ВБ в российской Арктике (4,23 на 10 000 работников) удалось сравнить только с обобщенным показателем у работников предприятий тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения России (0,98 на 10 000 работников) [21], который он превысил в 4,32 раза.

Российские эпидемиологические данные трудно сравнивать с зарубежными, так как применяемые в большинстве стран диагнозы white finger syndrome [16, 19, 24] и low back pain [18, 22, 23] только частично соответствуют диагнозу ВБ от локальной или общей вибрации. Следует отметить, что в зарубежной литературе отсутствуют данные о росте числа случаев ВБ на фоне снижения виброопасности технологических процессов.

Известно, что прежде всего на формирование профессиональной патологии влияют интенсивность и продолжительность экспозиции работника

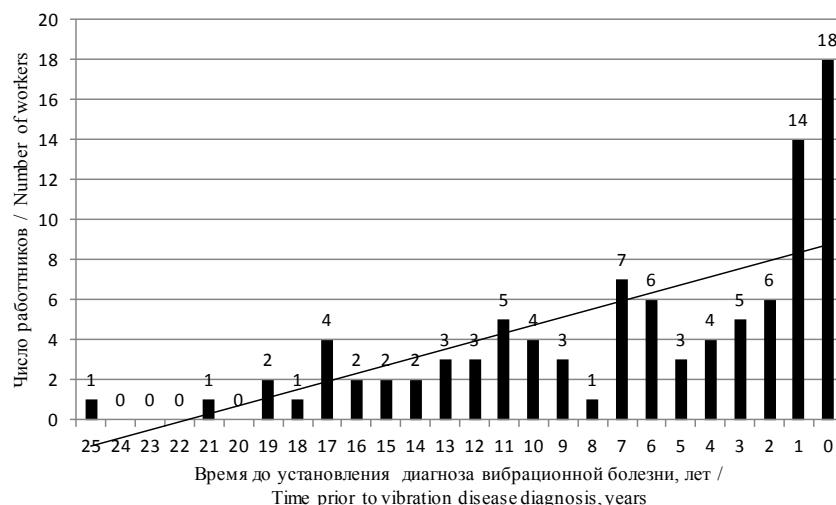


Рис. 5. Хронология выявления вибрационных нарушений (до установления диагноза вибрационной болезни) у работников горнодобывающих предприятий

Fig. 5. Chronology of detecting vibration-related disorders (prior to diagnosis of vibration disease) in miners

к вредным производственным факторам [5]. Но нами не было выявлено данных о существенных изменениях, особенно ухудшении, условий труда в предшествующие годы и в начале 2007–2020 годов. Следовательно, не были установлены возможные причинно-следственные связи между этими двумя явлениями.

Следует оценить и другие факторы, которым отводится роль, хотя и второстепенная, во влиянии на показатели профессиональной заболеваемости. Во-первых, это незаинтересованность работников в выявлении профессиональных заболеваний, так как компенсации за утрату трудоспособности существенно ниже заработной платы. Среди иных значимых факторов можно отметить и незаинтересованность работодателя в установлении профессиональной патологии у работников своего предприятия из-за экономических и репутационных потерь. Также на выявляемость профессиональной патологии влияют ограниченные диагностические возможности и недостаточная подготовка медицинских работников в вопросах установления ранних стадий профессиональных заболеваний при проведении плановых медицинских осмотров работников предприятий [25–27]. Однако все эти факторы оказывают понижающее действие на показатели профессиональной заболеваемости.

Из причин, способных повышать уровень профессиональной заболеваемости, можно отметить три. Во-первых, это продолжение трудовой деятельности после выявления ранних и умеренных проявлений вибрационной патологии, что приводит в конечном счете к формированию выраженных форм ВБ [20]. Во-вторых, это желание работника официально зарегистрировать профессиональное заболевание после потери мотивации к продолжению трудовой деятельности. Обычно это происходит при выходе на пенсию, а компенсационные выплаты расцениваются как заслуженное дополнение к ней [28]. О такой возможности может свидетельствовать установление 71,3 % случаев ВБ в пенсионном возрасте вне зависимости от продолжительности стажа. В этой связи также нужно отметить резкий рост числа заболеваний за один год до и в год прекращения трудовой деятельности. Очевидно, что ВБ не может развиться за год у работников, у которых она не определялась при регулярных ежегодных осмотрах в течение 20–30 лет. В-третьих, увеличивать число случаев ВБ способно характерное для северных рудников воздействие вибрации в условиях охлаждающего микроклимата рабочих мест [7, 9]. Таким образом, проведенный анализ показывает целый спектр факторов, потенциально способных влиять на показатели заболеваемости ВБ, и каждый из них требует дополнительных исследований.

Заключение. В 2007–2020 годах в российской Арктике ВБ диагностировалась преимущественно у мужчин пенсионного возраста, занятых на горнодобывающих предприятиях в профессиях проходчик, машинист погрузочно-доставочной и машинист буровой установки. Число случаев ВБ и ее доля в структуре профессиональной патологии имели тенденцию к росту, а продолжительность трудового стажа работников – к снижению, происходивших без ухудшения условий труда. Установленные факты показывают необходимость продолжения исследований комплекса факторов, способных оказывать влияние на показатели заболеваемости ВБ на предприятиях в Арктике.

Список литературы

1. Bovenzi M. Health risks from occupational exposures to mechanical vibration. *Med Lav.* 2006;97(3):535–541.
2. Русанова Д.В., Кулешова М.В., Катаманова Е.В. и др. Вибрационная болезнь: гигиенические и лечебные аспекты // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 12. С. 1180–1183. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1180-1183
3. Бабанов С.А., Татаровская Н.А. Вибрационная болезнь: современное понимание и дифференциальный диагноз // Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. 2013. Т. 21. № 35. С. 1777–1784.
4. Азовская Т.А., Вакурова Н.В., Лаврентьева Н.Е. О современных аспектах диагностики и классификации вибрационной болезни // Русский медицинский журнал. 2014. Т. 22. № 16. С. 1206–1209
5. Чистова Н.П., Маснашиева Л.Б., Кудаева И.В. Вибрационная болезнь: дозостажевые характеристики и особенности клинической картины при воздействии локальной вибрации и сочетанном воздействии локальной и общей вибрации // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29 № 12. С. 30–35. doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-12-30-35
6. Лахман О.Л., Колесов В.Г., Панков В.А., Рукавишников В.С., Шаяхметов С.Ф., Дьякович М.П. Вибрационная болезнь от воздействия локальной вибрации у горнорабочих в условиях Сибири и Севера. Восточно-Сибирский научный центр экологии человека СО РАМН, Рукавишников В.С. (редактор). Иркутск: Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии Сибирского отделения РАМН, 2008. 208 с.
7. Шпагина Л.Н., Захаренков В.В., Филимонов С.Н. Особенности клиники и течения вибрационной болезни у шахтеров виброопасных профессий Кузбасского региона // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2012. № 5-2 (87). С. 67–69.
8. Сюрин С.А., Шилов В.В. Особенности вибрационной болезни горняков при современных технологиях добычи рудного сырья в Кольском Заполярье // Здравоохранение Российской Федерации. 2016. Т. 60. № 6. С. 312–316. doi: 10.18821/0044-197X-2016-60-6-312-316
9. Burström L, Nilsson T, Walström J. Combined exposure to vibration and cold. *Barents Newsletters on Occupational Health and Safety.* 2015;18(1):17–18.
10. Попов М.Н., Азовская Т.А., Васюкова Г.Ф. Выявление и профилактика наиболее распространенных профессиональных заболеваний в Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 2–2. С. 362–366.
11. Кулешова М.В., Панков В.А., Дьякович М.П., и др. Вибрационная болезнь у работников авиастроительного предприятия: факторы формирования, клинические проявления, социально-психологические особенности // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 10. С. 915–920. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920
12. Чеботарев А.Г. Состояние условий труда и профессиональной заболеваемости работников горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. 2018. № 1 (137). С. 92–95. doi: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-92-95
13. Рочева И.И., Желепова О.В., Лештаева Н.Р., Михайлов С.С. вибрационная болезнь у горнорабочих Мурманской области // Медицина труда и промышленная экология. 2004. № 2. С. 44–47.
14. Скрипаль Б.А. Состояние здоровья и заболеваемость рабочих подземных рудников горно-химического комплекса Арктической зоны Российской Федерации // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 6. С. 23–26.
15. Сюрин С.А., Горбанев С.А. Производственная вибрация и вибрационная патология на предприятиях в Арктической зоне России // Российская Арктика. 2019. № 6. С. 28–36. doi: 10.24411/2658-4255-2019-10064
16. Budd D, Holness DL, House R. Functional limitations in workers with hand-arm vibration syndrome (HAVS). *Occup Med (Lond).* 2018;68(7):478–481. doi: 10.1093/occmed/kqy097
17. Gerhardsson L, Ahlstrand C, Ersson P, Gustafsson E. Vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high frequency vibrations. *J Occup Med Toxicol.* 2020;15:18. doi: 10.1186/s12995-020-00269-w

18. Krajnak K. Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2018;21(5):320-334. doi: 10.1080/10937404.2018.1557576
19. Nilsson T, Wahlström J, Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases – A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2017;12(7):e0180795. doi: 10.1371/journal.pone.0180795
20. Сюрин С.А. Севернее и глубже. Вибрационная болезнь у горняков апатитовых рудников Кольского Заполярья: риски и особенности развития // Безопасность и охрана труда. 2015. № 4. С. 24–27.
21. Артамонова В.Г., Лагутина Г.Н. Вибрационная болезнь // Профессиональные заболевания. Под ред. Н.Ф. Измерова. Москва: Медицина, 1996. Т. 2. С. 141–162.
22. Gerhardsson L, Ahlstrand C, Ersson P, Jonsson P, Gustafsson E. Vibration related symptoms and signs in quarry and foundry workers. *Int Arch Occup Environ Health.* 2021;94(5):1041-1048. doi: 10.1007/s00420-021-01660-8
23. Bovenzi M, Schust M, Mauro M. An overview of low back pain and occupational exposures to whole-body vibration and mechanical shocks. *Med Lav.* 2017;108(6):419-433. doi: 10.23749/mdl.v108i6.6639
24. Johanning E, Stillo M, Landsbergis P. Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Ind Health.* 2020;58(6):539-553. doi: 10.2486/indhealth.2020-0133
25. Гудинова Ж.В., Жернакова Г.Н. Профессиональная заболеваемость в России: региональные вариации и факторы формирования // Социальные аспекты здоровья населения. 2011; 1(17). С. 9.
26. Ретнев В.М. Профессиональные заболевания: современное состояние, проблемы и совершенствование диагностики // Безопасность в техносфере. 2014. Т. 3. № 4. С. 40–44. doi: 10.12737/5314
27. Мигунова Ю.В. Динамика профессиональной заболеваемости в России: сущность, признаки, особенности проявления на региональном уровне // Теория и практика общественного развития. 2021. № 6 (160). С. 37–40. doi: 10.24158/tipor.2021.6.5
28. Сюрин С.А. Стажевые особенности профессиональной патологии работников промышленных предприятий в Арктике // Медицина труда и промышленная экология. 2020. Т. 60. № 8. С. 511–517. doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-8-511-517

References

1. Bovenzi M. Health risks from occupational exposures to mechanical vibration. *Med Lav.* 2006;97(3):535-541.
2. Rusanova DV, Kuleshova MV, Katamanova EV, et al. Vibration disease: hygienic and medical aspects. *Gigiena i Sanitariya.* 2016;95(12):1180-1183. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1180-1183
3. Babanov SA, Tatarovskaya NA. [Vibration disease: Current understanding and differential diagnosis.] *Russkiy Meditsinskiy Zhurnal. Meditsinsko Obozrenie.* 2013;21(35):1777-1784. (In Russ.)
4. Azovskova TA, Vakurova NV, Lavrentieva NE. [On modern aspects of diagnosis and classification of vibration disease.] *Russkiy Meditsinskiy Zhurnal.* 2014;22(16):1206-1209. (In Russ.)
5. Chistova NP, Masnavieva LB, Kudaeva IV. Vibration disease: Exposure level and duration-dependent characteristics and features of the clinical picture following local and combined local and whole body vibration. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2021;29(12):30-35. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-12-30-35
6. Lakhman OL, Kolesov VG, Pankov VA, Rukavishnikov VS, Shayakhmetov SF, Dyakovich MP. *Vibration Disease of Miners in Siberia and the Russian North Caused by Exposure to Local Vibration.* Rukavishnikov VS, ed. Irkutsk: Scientific Center for Reconstructive and Restorative Surgery, Siberian Branch of RAMS; 2008. (In Russ.)
7. Shpagina LN, Zakharenkov VV, Filimonov SN. Peculiarities of clinic and course of vibration disease in the vibration exposed miners of Kuzbass region. *Byulleten' Vostochno-Sibirskego Nauchnogo Tsentr Sibirskego Otdeleniya Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk.* 2012;(5-2(87)):67-69. (In Russ.)
8. Syurin SA, Shilov VV. The characteristics of vibration disease of miners in conditions of modern technologies of mining ore raw materials in the Kola High North. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii.* 2016;60(6):312-316. (In Russ.) doi: 10.18821/0044-197X-2016-60-6-312-316
9. Burström L, Nilsson T, Walström J. Combined exposure to vibration and cold. *Barents Newsletters on Occupational Health and Safety.* 2015;18(1):17-18.
10. Popov MN, Azovskova TA, Vasjukova GF. Detection and prevention of the most common occupational diseases in Samara region. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentr Rossiyskoy Akademii Nauk.* 2015;17(2-2):362-366. (In Russ.)
11. Kuleshova MV, Pankov VA, Dyakovich MP, et al. The vibration disease in workers of the aircraft enterprise: factors of the formation, clinical manifestations, socio-psychological features (dynamic following-up). *Gigiena i Sanitariya.* 2018;97(10):915-920. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920
12. Chebotarev AG. Working environment and occupational morbidity of mine personnel. *Gornaya Promyshlennost'.* 2018;1(137):92-95. (In Russ.) doi: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-92-95
13. Rocheva II, Zheleleva OV, Leshtayeva NR, Mikhailov SS. Vibration disease in miners of Mourmansk region. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2004;(2):44-47. (In Russ.)
14. Skripal BA. Health state and morbidity of underground mines in mining chemical enterprise in Arctic area of Russian Federation. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2016;(6):22-26. (In Russ.)
15. Syurin SA, Gorbaney SA. Production vibration and vibration-related pathology at enterprises in the Arctic. *Rossiyskaya Arktika.* 2019;(6):26-32. (In Russ.) doi: 10.24411/2658-4255-2019-10064
16. Budd D, Holness DL, House R. Functional limitations in workers with hand-arm vibration syndrome (HAVS). *Occup Med (Lond).* 2018;68(7):478-481. doi: 10.1093/occmed/kqy097
17. Gerhardsson L, Ahlstrand C, Ersson P, Gustafsson E. Vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high frequency vibrations. *J Occup Med Toxicol.* 2020;15:18. doi: 10.1186/s12995-020-00269-w
18. Krajnak K. Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2018;21(5):320-334. doi: 10.1080/10937404.2018.1557576
19. Nilsson T, Wahlström J, Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases – A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2017;12(7):e0180795. doi: 10.1371/journal.pone.0180795
20. Syurin SA. Vibration disease among miners at apatite mines Kola High North: The risks and features of development. *Bezopasnost' i Okhrana Truda.* 2015;(4):24-27. (In Russ.)
21. Artamonova VG, Lagutina GN. [Vibration disease.] In: [Occupational Diseases.] Izmerov NF, ed. Moscow: Meditsina Publ.; 1996;2:141-162. (In Russ.)
22. Gerhardsson L, Ahlstrand C, Ersson P, Jonsson P, Gustafsson E. Vibration related symptoms and signs in quarry and foundry workers. *Int Arch Occup Environ Health.* 2021;94(5):1041-1048. doi: 10.1007/s00420-021-01660-8
23. Bovenzi M, Schust M, Mauro M. An overview of low back pain and occupational exposures to whole-body vibration and mechanical shocks. *Med Lav.* 2017;108(6):419-433. doi: 10.23749/mdl.v108i6.6639
24. Johanning E, Stillo M, Landsbergis P. Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Ind Health.* 2020;58(6):539-553. doi: 10.2486/indhealth.2020-0133
25. Gudinova ZhV, Zhernakova GN. Professional morbidity in Russia: Regional variations and causes. *Sotsial'nye Aspekty Zdorov'ya Naseleniya.* 2011;(1(17)):9. (In Russ.)
26. Retnev VM. Occupational illness: Current state, problems and improvement of diagnostics. *Bezopasnost' v Tekhnosfere.* 2014;3(4):40-44. (In Russ.) doi: 10.12737/5314
27. Migunova YuV. The dynamics of occupational morbidity in Russia: The essence and signs, features of manifestation at the regional level. *Teoriya i Praktika Obshchestvennogo Razvitiya.* 2021;(6(160)):37-40. (In Russ.) doi: 10.24158/tipor.2021.6.5
28. Syurin SA. Features of occupational pathology with varying experience in Arctic enterprise workers. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2020;60(8):511-517. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-8-511-517



Результаты исследований генотоксических эффектов диоксинов в зависимости от полиморфизмов генов детоксикации ксенобиотиков и стажа работы пожарных

В.Е. Крийт¹, Ю.Н. Сладкова¹, С.Б. Мельнов², В.Л. Рейнук³, А.О. Пятибрат⁴

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

² ФУО «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, д. 23/1, г. Минск, 220070, Беларусь

³ ФГБУ «Научно-клинический центр токсикологии им. акад. С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства», ул. Бехтерева, д. 1А, г. Санкт-Петербург, 192019, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет», ул. Литовская, д. 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация

Резюме

Введение. Трудовая деятельность пожарных связана с высоким риском для здоровья и жизни. Во время пожаротушения пожарные подвергаются влиянию комплекса факторов различной природы, ведущее место среди которых занимает химический фактор. Среди токсичных продуктов горения наибольшую опасность представляют вещества, обладающие генотоксичностью, с высоким кумулятивным эффектом и очень длительным периодом выведения, в число которых входят диоксины и диоксиноподобные полихлорированные бифенилы, образующиеся при низкотемпературном горении хлорсодержащих органических соединений.

Цель исследования – изучение кариопатологических проявлений генотоксических эффектов диоксинов у пожарных в зависимости от стажа профессиональной деятельности и различных полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков.

Материалы и методы. Оценку цитогенетического статуса пожарных проводили с помощью расширенного микроядерного теста букального эпителия. В исследовании принимали участие 252 пожарных и 86 спасателей и лиц других профессий с 2019 по 2022 г. Оценку риска возникновения цитогенетических аномалий в эпителиоцитах определяли с помощью расчетных методик и выражали в виде индекса накопления цитогенетических нарушений. На каждого обследуемого готовили два мазка букального эпителия и анализировали две тысячи неповрежденных клеток.

Результаты. В сравнении с контрольной группой отмечено увеличение частоты кариопатологических аномалий в клетках букального эпителия пожарных в зависимости от стажа работы и концентрации диоксинов в липидах крови. Анализ взаимосвязи различных полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков, диоксинов в липидах крови пожарных и индекса накопления цитогенетических нарушений показал, что лица с сочетанием 6 генотипов (EPHX1 Туг/Туг, CYP1A1 A/A, GSTT1 I/I, GSTM1 I/I, GSTP1 A/A, GSTP1 C/C) характеризовались наличием ферментов детоксикации ксенобиотиков с высокой активностью и большей устойчивостью к возникновению кариопатологических изменений под воздействием генотоксикантов.

Заключение. Выявленные в представленном исследовании уровни цитогенетических нарушений свидетельствуют о неблагоприятном воздействии токсичных продуктов горения, которым подвергаются сотрудники ГПС МЧС России при выполнении задач по пожаротушению.

Ключевые слова: пожарные, диоксины, полиморфизм, гены детоксикации ксенобиотиков, индекс накопления цитогенетических нарушений.

Для цитирования: Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Мельнов С.Б., Рейнук В.Л., Пятибрат А.О. Результаты исследований генотоксических эффектов диоксинов в зависимости от полиморфизмов генов детоксикации ксенобиотиков и стажа работы пожарных // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 65–75. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-65-75>

Сведения об авторах:

Крийт Владимир Евгеньевич – к.х.н., руководитель отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: v.kriit@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1530-4598>.

Сладкова Юлия Николаевна – старший научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: Sladkova.julia@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>.

Мельнов Сергей Борисович – д.б.н., профессор кафедры экологической и молекулярной медицины ФУО «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета; e-mail: sbmelnov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9820-4188>.

Рейнук Владимир Леонидович – д.м.н., доцент, врио директора ФГБУ «Научно-клинический центр токсикологии им. акад. С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства»; e-mail: institute@toxicology.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546>.

Пятибрат Александр Олегович – старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»; e-mail: a5brat@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Крийт В.Е., Рейнук В.Л.; сбор данных: Крийт В.Е., Пятибрат А.О., Сладкова Ю.Н.; анализ и интерпретация результатов: Крийт В.Е., Рейнук В.Л., Пятибрат А.О., Сладкова Ю.Н., Мельнов С.Б.; литературный обзор: Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н.; подготовка рукописи: Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: Исследование одобрено на заседании Локального этического комитета ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора (протокол № 2018/2.2 от 21.12.2018). От участников исследования получено добровольное информированное согласие.

Финансирование: исследование без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 17.03.22 / Принята к публикации: 12.05.22 / Опубликована: 31.05.22

Results of Studying Genotoxic Effects of Dioxins Depending on Polymorphisms of Xenobiotic Detoxification Genes and the Length of Service of Firefighters

Vladimir E. Kriyt,¹ Yuliya N. Sladkova,¹ Sergey B. Melnov,² Vladimir L. Reiniuk,³ Aleksandr O. Pyatibrat⁴

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

² International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, 23/1 Dolgobrodskaya Street, Minsk, 220070, Republic of Belarus

³ Scientific and Clinical Center for Toxicology named after Academician S.N. Golikov, 1A Bekhterev Street, Saint Petersburg, 192019, Russian Federation

⁴ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya Street, Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

Summary

Introduction: The work of firefighters is associated with a high risk to health and life. During firefighting, firemen are exposed to a combination of various factors, among which chemical agents rank first. Of all the toxic products of combustion, the most dangerous are genotoxic substances having a high cumulative effect and a very long clearance time, including dioxins and dioxin-like polychlorinated biphenyls generated during low-temperature combustion of organic chlorine compounds.

Objective: To study karyopathological manifestations of the genotoxic effects of dioxins in firefighters, depending on the length of service and various polymorphic variants of the xenobiotic detoxification genes.

Materials and methods: The cytogenetic status of firefighters was assessed using an extended micronucleus test of buccal epithelium. The study was conducted in 2019–2022 involving 252 firefighters, 86 rescuers and other professionals. The risk of cytogenetic abnormalities in epithelial cells was assessed using calculation methods and expressed as an index of accumulation of cytogenetic disorders. For each subject, two smears of buccal epithelium were prepared followed by the analysis of two thousand intact cells.

Results: We noted an increase in the frequency of karyotype aberrations in buccal epithelial cells of firefighters compared to controls correlating with the length of service and dioxin concentrations in blood lipids. The analysis of the relationship between various polymorphic variants of xenobiotic detoxification genes, dioxins in blood lipids of firefighters, and the index of accumulation of cytogenetic damage showed that individuals with a combination of six genotypes (EPHX1 Tyr/Tyr, CYP1A1 A/A, GSTT1 I/I, GSTM1 I/I, GSTP1 A / A, and GSTP1 C/C) possessed xenobiotic detoxification enzymes with high activity and better resistance to karyotypic changes induced by genotoxins.

Conclusion: The levels of cytogenetic disorders established in the present study give evidence of adverse health effects of occupational exposure to toxic combustion products in firefighters of the State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations.

Keywords: firefighters, dioxins, polymorphism, xenobiotic detoxification genes, index of accumulation of cytogenetic abnormalities.

For citation: Kriyt VE, Sladkova YN, Melnov SB, Reiniuk VL, Pyatibrat AO. Results of studying genotoxic effects of dioxins depending on polymorphisms of xenobiotic detoxification genes and the length of service of firefighters. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):65–75. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-65-75>

Author information:

✉ Vladimir E. Kriyt, Cand. Sci. (Chem.), Head of the Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: v.krii@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1530-4598>.

Yuliya N. Sladkova, Senior Researcher, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center; e-mail: Sladkova.julia@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>.

Sergey B. Melnov, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of Environmental and Molecular Medicine, International Sakharov Environmental Institute; e-mail: sbmelnov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9820-4188>.

Vladimir L. Reiniuk, Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Acting Director, Scientific and Clinical Center for Toxicology named after Academician S.N. Golikov; e-mail: institute@toxicology.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546>.

Aleksandr O. Pyatibrat, Senior Researcher, Saint Petersburg State Pediatric Medical University; e-mail: a5brat@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>.

Author contributions: study conception and design: Kriyt V.E., Reiniuk V.L.; data collection: Kriyt V.E., Pyatibrat A.O., Sladkova Y.N.; analysis and interpretation of results: Kriyt V.E., Reiniuk V.L., Pyatibrat A.O., Sladkova Y.N., Melnov S.B.; literature review: Kriyt V.E., Sladkova Y.N.; draft manuscript preparation: Kriyt V.E., Sladkova Y.N. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the North-West Public Health Research Center (Minutes No. 2.2/2018 of December 21, 2018). Written informed consent was obtained from all participants in the study.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 17, 2022 / Accepted: May 12, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Трудовая деятельность пожарных связана с высоким риском для здоровья и жизни, что требует для этого контингента особенного правового статуса, более широких льгот и высоких социальных гарантий, чем в отношении работников, не подвергающихся угрозе жизни при выполнении профессиональных задач.

Нормативные акты, регулирующие контроль за состоянием здоровья пожарных, закреплены в ст. 4 Федерального закона от 28 марта 1998 г. № 52-ФЗ¹ и не отражают влияние профессиональных вредных факторов пожаротушения.

Несовершенство правовой базы по охране здоровья пожарных приводит к тому, что про-

филактические осмотры не дают возможности мониторинга по выявлению хронических интоксикаций токсичными продуктами горения. Их оценивают только при госпитализации по поводу острых отравлений, которые регистрируются как несчастные случаи на производстве. В настоящее время в системе МЧС России гигиенические исследования по оценке условий труда пожарных при выполнении профессиональных задач проводятся редко, а длительное воздействие токсичных продуктов горения на организм пожарных не регистрируется².

Во время пожаротушения пожарные подвергаются влиянию комплекса факторов различной

¹ Федеральный закон от 28 марта 1998 г. № 52-ФЗ «Об обязательном государственном страховании жизни и здоровья военнослужащих, граждан, призванных на военные сборы, лиц рядового и начальствующего состава органов внутренних дел Российской Федерации, Государственной противопожарной службы, сотрудников учреждений и органов уголовно-исполнительной системы, сотрудников войск национальной гвардии Российской Федерации, сотрудников органов принудительного исполнения Российской Федерации» в редакции от 27 декабря 2019 г.

природы, ведущее место среди которых занимает химический фактор. Это объясняется непрогнозируемым токсическим эффектом от воздействия широкого спектра продуктов горения, качественные и количественные характеристики которых трудно определимы и, в первую очередь, зависят от используемых при строительстве полимерных и полимерсодержащих материалов. Согласно литературным данным, при качественном анализе продуктов горения на пожаре выделяется более 100 химических соединений, часть которых обладает эффектом суммации [1, 2]. Необходимо отметить, что существенную опасность представляют низкотемпературные пожары, что обусловлено образованием в продуктах горения диоксинов и диоксиноподобных соединений. Данные соединения обладают высокой химической устойчивостью и выраженным кумулятивным эффектом, длительное время сохраняются в организме человека и вызывают отсроченные эффекты [3–7]. Самым опасным, по отношению к которому и применяется термин «диоксин», является 2,3,7,8-тетрахлорбензо-пара-диоксин (ТХДД) [8]. Период полуыведения для ТХДД составляет примерно 7 лет [9–11].

Понятие «диоксины» включает в себя две большие группы полихлорированных дibenзодиоксинов (ПХДД) и полихлорированных дibenзофuranов (ПХДФ) с различным числом и расположением атомов хлора. ПХДД и ПХДФ обычно встречаются в смесях и представляют собой группу из 210 трициклических, хлорсодержащих ароматических химических веществ (75 конгенеров ПХДД и 135 конгенеров ПХДФ). Мониторингу подлежат только 17 из них, которые отличает 2,3,7,8-положение атомов хлора и очень высокая токсичность [12–15].

Образование диоксинов связано с низкотемпературными процессами горения полимерных и полимерсодержащих хлорированных соединений в диапазоне температур от 200 до 900 °C, а также с побочными технологическими процессами различных отраслей промышленности. Основным отличием от других профессий является то, что пожарные подвергаются воздействию диоксинов в составе сложного комплекса токсичных веществ [16]. Существует много путей поступления диоксинов в организм человека, одним из которых является поступление через органы дыхания, характерное для профессиональной деятельности пожарных [17, 18]. Наибольший вклад в поступление диоксинов в организм людей связан с потреблением продуктов питания (более 90 % содержания диоксинов в организме), прямое вдыхание составляет незначительную долю совокупного воздействия диоксинов и составляет менее 5 % поступления с пищей. Однако в некоторых чрезвычайных ситуациях (например, на территориях, расположенных вблизи источников загрязнения) доля воздействия диоксинов за счет вдыхания может приближаться к значениям, соответствующим поглощению их с пищей². Поступление с питьевой водой является незначительным. По-видимому, это можно объяснить молекулярной структурой диоксинов и устойчивостью их к разложению, а также способностью к аккумуляции в жирсодержащих тканях живых организмов и перемещению по пищевой цепи [12, 19].

По результатам ранее проведенного исследования [7, 20] нами были сделаны предположения, что высокие концентрации диоксинов в воздухе на всех этапах ликвидации пожаров и высокие концентрации диоксинов в липидах крови пожарных в зависимости от стажа работы позволяют говорить об ингаляционном пути поступления диоксинов как одном из основных для данной профессио-нальной группы. Кроме того, в зависимости от полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков и концентрации диоксинов в липидах крови, были выделены генотипы 6 кандидатных генов, при которых у пожарных были выявлены статистически значимые изменения концентрации диоксинов в крови.

Дальнейшее исследование было связано с изучением кариопатологических проявлений генотоксических эффектов диоксинов. В последние годы внимание исследователей привлекает проблема медицинской значимости генотоксических поражений генома, что особенно актуально для пожарных, подвергающихся ежедневному воздействию генотоксикантов с высокими кумуляционными свойствами.

Цель исследования — изучение кариопатологических проявлений генотоксических эффектов диоксинов у пожарных в зависимости от стажа профессиональной деятельности и различных полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков.

Материалы и методы. Оценку цитогенетического статуса пожарных проводили с помощью расширенного микроядерного теста букального эпителия. У 252 пожарных (основная группа) и 86 спасателей и лиц других профессий (контрольная группа) после тщательного прополаскивания полости рта с внутренней поверхности щеки собирали клетки слизистой оболочки и наносили их на предварительно обезжиренное предметное стекло. На каждого обследуемого готовили 2 мазка букального эпителия и анализировали две тысячи (2000) неповрежденных клеток [21]. Препараты фиксировали с помощью стандартной методики Карнua (этанол и ледяная уксусная кислота в соотношении 3:1). Окраску хроматина проводили с помощью ацетоорсина, а цитоплазму контрастировали с помощью светлого зеленого. Анализ показателей кариопатологических изменений проводили микроскопированием готовых препаратов с применением микроскопа Bresser Advance ICD (Германия), оснащенного видеокамерой с увеличением $\times 400$ –600, определяли частоту встречаемости клеток с микроядрами, протрузиями, ядерными мостами, атипичных клеток, патологических митозов и других кариопатологических изменений. Пролиферативные нарушения оценивали по частоте дву- и многоядерных клеток. Показатели ранней деструкции ядер определяли по частоте встречаемости клеток с вакуолизированными ядрами, конденсацией хроматина и началом кариолизиса. Маркерами поздней деструкции ядра являлись наличие в клетках выраженного кариорексиса, кариопикноза и полного кариолизиса. Оценку риска возникновения

² Рукавишников В.С., Лахман О.Л., Дорогова В.Б. и др. Профилактика профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний у пожарных: (методические рекомендации). Ангарск: Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии Сибирского отделения РАМН, 2006. 52 с.

³ Рекомендации по качеству воздуха в Европе. / Пер. с англ. М.: Издательство «Весь Мир», 2004. 312 с.

цитогенетических аномалий в эпителиоцитах проводили в соответствии с методическими рекомендациями «Оценка цитологического и цитогенетического статуса слизистых оболочек полости носа и рта у человека»⁴ и выражали в виде индекса накопления цитогенетических нарушений (Iac – index of accumulation of cytogenetic damage), представленного произведением интегрального показателя цитогенетических нарушений (Ic – cytogenetic index) и интегрального показателя пролиферации (Ip – index of proliferation), деленным на апоптотический индекс (Iapop – apoptotic index):

$$Iac = (Ic \times Ip / Iapop) \times 100, \text{ где}$$

Ic – сумма клеток с микроядрами и протрузиями;

Ip – сумма многоядерных клеток;

Iapop – апоптотический индекс, представленный суммой клеток с кариорексисом, кариопикнозом и кариолизисом.

Рассчитанный Iac позволяет отнести обследованных к какой-либо из групп риска в зависимости от величины показателей. Считается, что при $Iac < 2$ – низкий риск. Умеренный риск характеризуется значениями Iac от 2 до 4. Для Iac более 4 характерен высокий уровень риска накопления цитогенетических нарушений [22, 23].

Для оценки взаимосвязи степени кариопатологических изменений и активности ферментов детоксикации ксенобиотиков из 120 вариантов комбинаций генотипов 6 генов-кандидатов выбрали 2 крайних варианта сочетания генов, при которых у сотрудников ФПС МЧС России были выявлены статистически значимые цитогенетические изменения в клетках букального эпителия. В первой

обобщенной группе пожарных – $(22,1 \pm 1,4) \%$ оказалось сочетание 6 генотипов (EPHX1 Туг/Туг, CYP1A1 A/A, GSTT1 I/I, GSTM1 I/I, GSTP1 A/A, GSTP1 C/C), ассоциированных с высокой активностью ферментов детоксикации ксенобиотиков 1-й и 2-й фазы биотрансформации. Вторую обобщенную группу пожарных – $(14,5 \pm 1,2) \%$ составили лица, имеющие сочетание других 6 генотипов (EPHX1 Туг/His, CYP1A1 A/G, GSTT1 I/D, GSTM1 I/D, GSTP1 A/G, GSTP1 T/T).

Исследование одобрено на заседании Локального этического комитета (протокол № 2018/2.2 от 21.12.2018). От участников исследования получено добровольное информированное согласие. Исследования проводились в период с 2019 по 2022 г.

Результаты. Для оценки генотоксического эффекта диоксинов провели анализ клеток букального эпителия. Определяли цитогенетические показатели, представленные микроядрами, протрузиями ядер, атипичными формами ядер, а также межъядерными мостами; оценивали показатели пролиферации клеток, представленные дву- и многоядерными клетками, клетками со сдвоенными ядрами, отмечали раннюю стадию деструкции ядер по интерпретации конденсации хроматина, перинуклеарных вакуолей, вакуолизации ядер, а также выявляли признаки поздней стадии деструкции ядер, характеризующиеся кариорексисом, кариопикнозом, полным кариолизисом. Результаты исследований показателей кариопатологических изменений в зависимости от стажа работы и концентрации диоксинов в липидах крови представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Показатели кариопатологических изменений у пожарных в зависимости от стажа работы в условиях пожаротушения (%), $M \pm \sigma$

Table 1. Indicators of karyotype aberrations in firefighters depending on the years of employment (‰), $M \pm \sigma$

Частота клеток, имеющих: / Frequency of cells having:	Стаж работы, лет / Years of employment			Контроль / Controls $n = 82 (1)$
	0–1 $n = 76 (2)$	2–5 $n = 96 (3)$	≥ 6 $n = 62 (4)$	
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators				
Микроядра / Micronuclei	$0,52 \pm 0,07^*$	$0,74 \pm 0,05^{*\#}$	$0,93 \pm 0,04^{*\#}$	$0,16 \pm 0,04$
Протрузии / Protrusions	$0,37 \pm 0,12^*$	$0,85 \pm 0,07^{*\#}$	$1,17 \pm 0,05^{*\#}$	$0,21 \pm 0,02$
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	$0,24 \pm 0,16^*$	$1,23 \pm 0,41^{*\#}$	$1,25 \pm 0,05^{*\#}$	$0,76 \pm 0,12$
Интегральный цитогенетический показатель суммы клеток (с микроядрами и протрузиями) / Integral cytogenetic indicator of the sum of cells (with micronuclei and protrusions)	$0,89 \pm 0,13^*$	$1,59 \pm 0,15^{*\#}$	$2,17 \pm 0,26^{*\#}$	$0,37 \pm 0,14$
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators				
Два ядра / Two nuclei	$2,32 \pm 0,15^*$	$2,51 \pm 0,37^{*\#}$	$3,28 \pm 0,08^*$	$0,64 \pm 0,05$
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	$0,91 \pm 0,04^*$	$1,63 \pm 0,56^{*\#}$	$2,31 \pm 0,41^{*\#}$	$0,18 \pm 0,07$
Три и более ядер / Three or more nuclei	$0,37 \pm 0,06^*$	$1,14 \pm 0,28^{*\#}$	$1,46 \pm 0,62^{*\#}$	$0,21 \pm 0,12$
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferative index	$3,44 \pm 1,08^*$	$5,24 \pm 0,18^{*\#}$	$7,05 \pm 1,36^{*\#}$	$0,64 \pm 0,05$
Показатели начала деструкции (апоптоза/некроза) / Indicators of the onset of destruction (apoptosis/necrosis)				
Перинуклеарные вакуоли / Perinuclear vacuoles	$71,83 \pm 7,57^*$	$52,62 \pm 8,26^{*\#}$	$43,92 \pm 8,56^{*\#}$	$86,23 \pm 9,13$
Вакуолизация ядра / Vacuolization of the nucleus	$1,75 \pm 0,23^*$	$2,37 \pm 0,92^*$	$5,46 \pm 1,41^{*\#}$	$0,78 \pm 0,16$
Конденсация хроматина / Chromatin condensation	$12,48 \pm 1,35^*$	$9,15 \pm 1,37^{*\#}$	$8,76 \pm 0,96^{*\#}$	$12,32 \pm 1,52$
Показатели завершения деструкции (апоптоза/некроза) / Indicators of completion of destruction (apoptosis/necrosis)				
Повреждение кариолеммы / Damaged karyolemma	$6,45 \pm 0,17^*$	$7,14 \pm 1,63^*$	$7,85 \pm 1,38^{*\#}$	$2,63 \pm 0,37$
Кариорексис / Karyorrhexis	$4,25 \pm 1,05^*$	$6,32 \pm 1,08^*$	$7,15 \pm 0,78^{*\#}$	$3,75 \pm 0,07$
Кариопикноз / Karyopyknosis	$14,65 \pm 3,62^*$	$18,76 \pm 3,06^{*\#}$	$22,67 \pm 3,08^{*\#}$	$12,32 \pm 2,19$
Кариолизис / Karyolysis	$38,55 \pm 4,24^*$	$34,95 \pm 5,49^{*\#}$	$31,75 \pm 4,83^{*\#}$	$47,62 \pm 8,25$
Апоптотические тела / Apoptotic bodies	$33,84 \pm 3,03^*$	$19,54 \pm 2,8^{*\#}$	$24,23 \pm 2,91^{*\#}$	$26,17 \pm 2,18$
Индекс апоптоза / Apoptotic index	$57,45 \pm 6,52^*$	$60,03 \pm 7,03^*$	$61,57 \pm 6,84^*$	$64,01 \pm 8,42$

Примечание: * – к контрольной группе, $p < 0,001$; # – к группе пожарных со стажем до 1 года, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the control group, $p < 0,001$; # statistically different from the group of firefighters with less than 1 year of employment, $p < 0,001$.

⁴ Беляева Н.Н., Сычева Л.П., Журков В.С. Оценка цитологического и цитогенетического статуса слизистых оболочек полости носа и рта у человека: методические рекомендации. М., 2005. 37 с.

Таблица 2. Показатели кариопатологических изменений (%) у пожарных в зависимости от концентрации диоксинов в липидах крови, $M \pm \sigma$
Table 2. Indicators of karyotype aberrations (%) in firefighters depending on the concentration of dioxins in blood lipids, $M \pm \sigma$

Частота клеток, содержащих: / Frequency of cells having:	Пожарные, концентрации диоксинов липидов крови, pg/g липидов (WHOPCDD/F, PCB-TEQ) / Firefighters, dioxin concentrations in blood lipids, pg/g lipids (WHOPCDD/F, PCB-TEQ)			Контроль / Controls
	≤ 100	101–350	> 350	
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators				
Микроядра / Micronuclei	$0,68 \pm 0,04$	$0,81 \pm 0,17$	$0,89 \pm 0,09$	$0,16 \pm 0,04$
Протрузии / Protrusions	$0,42 \pm 0,08$	$0,79 \pm 0,12$	$1,03 \pm 0,17$	$0,21 \pm 0,02$
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	$0,32 \pm 0,2$	$1,26 \pm 0,38$	$1,14 \pm 0,14$	$8,16 \pm 0,52$
Цитогенетический индекс / Cytogenetic index	$0,64 \pm 0,12$	$1,17 \pm 0,08$	$2,52 \pm 0,18$	$0,37 \pm 0,09$
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators				
Два ядра / Two nuclei	$2,12 \pm 0,17$	$2,42 \pm 0,21$	$3,79 \pm 0,13$	$0,64 \pm 0,05$
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	$1,22 \pm 0,04$	$1,58 \pm 0,23$	$2,12 \pm 0,24$	0
Три и более ядра / Three or more nuclei	$0,42 \pm 0,06$	$1,16 \pm 0,28$	$1,31 \pm 0,55$	0
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferative index	$3,76 \pm 1,12$	$5,16 \pm 0,16$	$7,22 \pm 1,23$	$0,64 \pm 0,09$
Показатели начала деструкции (апоптоза/некроза) / Indicators of the onset of destruction (apoptosis/necrosis)				
Перинуклеарные вакуоли / Perinuclear vacuoles	$69,56 \pm 0,07$	$56,72 \pm 0,26$	$45,15 \pm 1,62$	$86,23 \pm 9,13$
Вакуолизация ядра / Vacuolization of the nucleus	$2,26 \pm 14,5$	$3,37 \pm 8,72$	$6,41 \pm 16,32$	$0,78 \pm 0,16$
Конденсация хроматина / Chromatin condensation	$11,56 \pm 1,7$	$9,72 \pm 1,21$	$9,14 \pm 1,3$	$12,32 \pm 1,52$
Показатели завершения деструкции (апоптоза/некроза) / Indicators of completion of destruction (apoptosis/necrosis)				
Повреждение кариолеммы / Damaged karyolemma	$6,25 \pm 0,23$	$7,34 \pm 1,52$	$7,65 \pm 1,27$	$2,63 \pm 0,37$
Кариорексис / Karyorrhexis	$5,29 \pm 0,07$	$5,34 \pm 0,12$	$7,02 \pm 0,4$	$3,75 \pm 0,07$
Кариопикноз / Karyopyknosis	$16,14 \pm 0,15$	$18,76 \pm 1,06$	$21,89 \pm 0,09$	$12,32 \pm 2,19$
Кариолизис / Karyolysis	$35,84 \pm 0,12$	$34,95 \pm 0,53$	$33,92 \pm 1,14$	$47,62 \pm 8,25$
Апоптотические тела / Apoptotic bodies	$34,26 \pm 4,12$	$21,17 \pm 1,54$	$28,26 \pm 2,73$	$26,17 \pm 2,18$
Индекс апоптоза / Apoptotic index	$54,22 \pm 6,52$	$59,05 \pm 6,47$	$62,83 \pm 5,94$	$64,01 \pm 8,42$

Примечание: * – к контрольной группе, $p < 0,001$; # – к группе пожарных со стажем до 1 года, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the control group, $p < 0,001$; # statistically different from the group of firefighters with less than 1 year of employment, $p < 0,001$.

Далее была проанализирована частота кариопатологических изменений у пожарных, участвующих в пожаротушении, в зависимости от полиморфизма генов детоксикации ксенобиотиков первой и второй фазы биотрансформации (табл. 3–7).

По результатам оценки полиморфизма генов, ассоциированных с высокой активностью ферментов детоксикации ксенобиотиков 1-й и 2-й фазы биотрансформации, обследуемые были разделены на две группы: первую группу составили лица с сочетанием 6 генотипов (EPHX1 Туг/Туг, CYP1A1

Таблица 3. Показатели кариопатологических изменений у сотрудников ФПС МЧС России в зависимости от полиморфных вариантов гена EPHX1, %
Table 3. Indicators of karyotype aberrations in firefighters of the State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations depending on polymorphic variants of the EPHX1 gene, %

Показатель / Indicator	Полиморфные варианты гена EPHX1 / Polymorphic variants of the EPHX1 gene		
	Tyr/Tyr	Tyr/His	His/His
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators			
Микроядра / Micronuclei	$0,49 \pm 0,08^*$	$0,82 \pm 0,07^*$	$0,98 \pm 0,12$
Протрузии / Protrusions	$0,41 \pm 0,11^*$	$0,67 \pm 0,12^*$	$1,09 \pm 0,09$
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	$0,52 \pm 0,15^*$	$0,97 \pm 0,21^*$	$1,12 \pm 0,07$
Цитогенетический индекс / Cytogenetic index	$0,91 \pm 0,02^*$	$1,42 \pm 0,07^*$	$2,36 \pm 0,04$
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators			
Два ядра / Two nuclei	$1,87 \pm 0,26^*$	$2,31 \pm 0,18^*$	$4,23 \pm 0,24$
Три и более ядер / Three or more nuclei	$0,61 \pm 0,18^*$	$1,08 \pm 0,36^*$	$1,24 \pm 0,64$
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	$1,17 \pm 0,12^*$	$1,49 \pm 0,31^*$	$2,19 \pm 0,27$
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferative index	$3,65 \pm 0,32^*$	$4,88 \pm 0,17^*$	$7,66 \pm 0,28$
Показатели апоптоза / Apoptosis indicators			
Кариорексис / Karyorrhexis	$6,29 \pm 0,92^*$	$5,28 \pm 1,34$	$5,89 \pm 1,78$
Кариопикноз / Karyopyknosis	$21,62 \pm 3,49^*$	$16,52 \pm 2,34^*$	$14,24 \pm 2,64$
Полный кариолизис / Complete karyolysis	$37,42 \pm 4,35^*$	$35,82 \pm 5,82^*$	$32,29 \pm 4,18$
Апоптотический индекс / Apoptotic index	$65,33 \pm 6,4^*$	$57,62 \pm 5,97^*$	$52,42 \pm 5,89$

Примечание: * – относительно группы пожарных с генотипом His/His, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the group of firefighters with the His/His genotype, $p < 0,001$.

Таблица 4. Показатели кариопатологических изменений у сотрудников ФПС МЧС России в зависимости от полиморфных вариантов гена CYP1A1, %**Table 4. Indicators of karyotype aberrations in firefighters of the State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations depending on polymorphic variants of the CYP1A1 gene, %**

Показатель / Indicator	Полиморфные варианты гена CYP1A1 / Polymorphic variants of the CYP1A1 gene		
	A/A	A/G	G/G
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators			
Микроядра / Micronuclei	0,51 ± 0,12*	0,79 ± 0,11*	0,92 ± 0,16
Протрузии / Protrusions	0,38 ± 0,14*	0,62 ± 0,14*	1,12 ± 0,11
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	0,61 ± 0,18*	0,88 ± 0,26*	1,03 ± 0,15
Цитогенетический индекс / Cytogenetic index	0,89 ± 0,11*	1,52 ± 0,12*	2,04 ± 0,13
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators			
Два ядра / Two nuclei	1,79 ± 0,17*	2,29 ± 0,21*	4,31 ± 0,16
Три и более ядер / Three or more nuclei	0,58 ± 0,12*	1,12 ± 0,19*	1,29 ± 0,59
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	1,12 ± 0,09*	1,51 ± 0,14*	2,23 ± 0,21
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferative index	3,49 ± 0,31*	4,92 ± 0,36*	7,83 ± 0,48
Показатели апоптоза / Apoptosis indicators			
Кариорексис / Karyorrhexis	5,38 ± 1,49	5,31 ± 1,27	5,92 ± 1,72
Кариопикноз / Karyopyknosis	19,58 ± 3,41	17,49 ± 3,21	16,29 ± 3,52
Полный кариолизис / Complete karyolysis	34,51 ± 4,42	33,78 ± 3,91	33,18 ± 5,26
Апоптотический индекс / Apoptotic index	59,47 ± 7,56	57,58 ± 7,12	56,39 ± 7,45

Примечание: * – относительно группы пожарных с генотипом G/G, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the group of firefighters with the D/D genotype, $p < 0,001$.

Таблица 5. Показатели кариопатологических изменений у сотрудников ФПС МЧС России в зависимости от полиморфных вариантов гена GSTM1, %**Table 5. Indicators of karyotype aberrations in firefighters of the State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations depending on polymorphic variants of the GSTM1 gene, %**

Показатель / Indicator	Полиморфные варианты гена GSTM1 / Polymorphic variants of the GSTM1 gene		
	I/I	I/D	D/D
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators			
Микроядра / Micronuclei	0,43 ± 0,07*	0,78 ± 0,09*	1,04 ± 0,09
Протрузии / Protrusions	0,39 ± 0,14*	0,62 ± 0,15*	1,18 ± 0,12
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	0,34 ± 0,12*	0,87 ± 0,27*	1,26 ± 0,11
Цитогенетический индекс / Cytogenetic index	0,82 ± 0,6*	1,4 ± 0,08*	2,22 ± 0,14
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators			
Два ядра / Two nuclei	1,93 ± 0,29*	2,28 ± 0,21*	4,12 ± 0,27
Три и более ядер / Three or more nuclei	0,72 ± 0,24*	1,14 ± 0,41*	1,12 ± 0,78
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	1,23 ± 0,18*	1,52 ± 0,24*	2,04 ± 0,29
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferative index	3,88 ± 0,18*	4,94 ± 0,29	7,28 ± 0,32
Показатели апоптоза / Apoptosis indicators			
Кариорексис / Karyorrhexis	5,51 ± 2,12	5,31 ± 1,29	5,76 ± 1,62
Кариопикноз / Karyopyknosis	19,73 ± 3,54*	18,49 ± 3,39*	16,15 ± 4,72
Полный кариолизис / Complete karyolysis	36,51 ± 5,41*	33,78 ± 5,56*	31,13 ± 4,04
Апоптотический индекс / Apoptotic index	61,75 ± 3,47	56,58 ± 2,59	53,04 ± 4,12

Примечание: * – относительно группы с генотипом D/D, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the group of firefighters with the D/D genotype, $p < 0,001$.

Таблица 6. Показатели кариопатологических изменений у сотрудников ФПС МЧС России в зависимости от полиморфных вариантов гена GSTT1, %**Table 6. Indicators of karyotype aberrations in firefighters of the State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations depending on polymorphic variants of the GSTT1 gene, %**

Показатель / Indicator	Полиморфные варианты гена GSTT1 / Polymorphic variants of the GSTT1 gene		
	I/I	I/D	D/D
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators			
Микроядра / Micronuclei	0,38 ± 0,12*	0,79 ± 0,11*	1,12 ± 0,14
Протрузии / Protrusions	0,36 ± 0,11*	0,59 ± 0,09*	1,14 ± 0,12
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	0,48 ± 0,12*	0,93 ± 0,24*	1,21 ± 0,06
Цитогенетический индекс / Cytogenetic index	0,74 ± 0,11*	1,38 ± 0,23*	2,26 ± 0,31
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators			
Два ядра / Two nuclei	1,78 ± 0,22*	2,28 ± 0,19*	4,32 ± 0,21*
Три и более ядер / Three or more nuclei	0,57 ± 0,12*	1,11 ± 0,31*	1,31 ± 0,52*
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	1,03 ± 0,09*	1,38 ± 0,26*	2,26 ± 0,21*
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferation index	3,38 ± 0,22*	4,77 ± 0,28*	7,89 ± 0,36*
Показатели апоптоза / Apoptosis indicators			
Кариорексис / Karyorrhexis	5,39 ± 1,48	5,31 ± 2,32	5,92 ± 1,72
Кариопикноз / Karyopyknosis	23,59 ± 3,43*	16,49 ± 3,42*	12,31 ± 4,58
Полный кариолизис / Karyolysis	39,38 ± 4,31*	34,79 ± 5,91*	30,36 ± 5,07
Апоптотический индекс / Apoptotic index	68,36 ± 5,38*	56,59 ± 4,92*	48,59 ± 4,56

Примечание: * – относительно группы пожарных с генотипом D/D, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the group of firefighters with the D/D genotype, $p < 0,001$

Таблица 7. Показатели кариопатологических изменений у сотрудников ФПС МЧС России в зависимости от полиморфных вариантов гена GSTP1, %**Table 7. Indicators of karyotype aberrations in firefighters of the State Fire Service of the Russian Ministry of Emergency Situations depending on polymorphic variants of the GSTP1 gene, %**

Показатель / Indicator	Полиморфные варианты гена GSTP1 / Polymorphic variants of the GSTP1 gene		
	A/A	A/G	G/G
Цитогенетические показатели / Cytogenetic indicators			
Микроядра / Micronuclei	0,56 ± 0,21*	0,72 ± 0,12	0,74 ± 0,25
Протрузии / Protrusions	0,52 ± 0,23*	0,72 ± 0,18*	0,97 ± 0,21
Ядра атипичной формы / Atypical nuclei	0,61 ± 0,22*	0,91 ± 0,24*	0,98 ± 0,19
Цитогенетический индекс / Cytogenetic index	1,08 ± 0,07*	1,61 ± 0,15*	1,71 ± 0,21
Пролиферативные показатели / Proliferation indicators			
Два ядра / Two nuclei	1,92 ± 0,31*	2,27 ± 0,22*	4,11 ± 0,28
Три и более ядер / Three or more nuclei	0,69 ± 0,36*	1,12 ± 0,31*	1,17 ± 0,73
Сдвоенные ядра / Twin nuclei	1,23 ± 0,21*	1,52 ± 0,35*	2,14 ± 0,32
Интегральный пролиферативный показатель / Integral proliferation index	3,84 ± 0,29*	4,91 ± 0,32*	7,42 ± 0,43
Показатели апоптоза / Apoptosis indicators			
Кариорексис / Karyorrhexis	6,51 ± 1,58*	5,31 ± 1,29	5,74 ± 1,82
Кариопикноз / Karyopyknosis	21,67 ± 3,53*	16,49 ± 3,42*	15,19 ± 2,68
Полный кариолизис / Karyolysis	37,51 ± 4,42*	35,79 ± 4,85*	32,14 ± 3,27
Апоптотический индекс / Apoptotic index	65,69 ± 5,67*	57,59 ± 5,31	53,07 ± 6,12

Примечание: * – относительно группы с генотипом G/G, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the group of firefighters with the G/G genotype, $p < 0,001$.

A/A, GSTT1 I/I, GSTM1 I/I, GSTP1 A/A, GSTP1 C/C), ассоциированных с высокой активностью ферментов ($22,1 \pm 1,4\%$); во вторую группу вошли обследуемые ($14,5 \pm 1,2\%$) с сочетанием других 6 генотипов (EPHX1 Tyr/His, CYP1A1 A/G, GSTT1 I/D, GSTM1 I/D, GSTP1 A/G, GSTP1 T/T), отличающихся достоверно более высокой концентрацией диоксинов в крови. В группах сравнения рассчитан индекс накопления цитогенетических нарушений. Результаты представлены в табл. 8.

Обсуждение. В настоящее время большое количество работ, раскрывающих влияние токсичных продуктов горения на организм человека, посвящено

профессиональной деятельности пожарных как категории лиц, наиболее часто сталкивающихся с этими продуктами в процессе выполнения профессиональных задач по пожаротушению. Однако в данных работах анализ генотоксических эффектов токсичных продуктов горения с помощью цитогенетических методик не проводился [1, 3, 4, 9–11, 15–18]. В работах, посвященных цитогенетическому мониторингу, оценивается цитогенетический статус разных групп населения в связи с загрязнением окружающей среды, который может служить биомаркером уровня загрязнения среды генотоксикантами, дает возможность выявления

Таблица 8. Индексы цитогенетических нарушений, пролиферации, апоптоза и накопления цитогенетических нарушений в клетках buccalного эпителия у пожарных с различными генотипами генов детоксикации ксенобиотиков

Table 8. Indices of cytogenetic damage, proliferation, apoptosis, and accumulation of cytogenetic abnormalities in buccal epithelial cells of firefighters with different genotypes of xenobiotic detoxification genes

Индексы цитогенетического действия / Indices of cytogenetic effect	Все пожарные / All firefighters	I обобщенная группа / Merged group I	II обобщенная группа / Merged group II	Контроль / Control
Ic	$1,72 \pm 0,64^*$	$1,18 \pm 0,07^{\#}$	$2,14 \pm 0,12^*$	$0,37 \pm 0,13$
Ip	$5,57 \pm 1,08^{\#}$	$4,16^* \pm 1,47$	$7,42 \pm 1,62^*$	$1,36 \pm 0,09$
Ia _{por}	$59,55 \pm 8,96^{\#}$	$63,23 \pm 8,4^{\#}$	$55,76 \pm 9,24^*$	$64,01 \pm 8,42$
Ia _c	$16,72 \pm 4,15^{\#}$	$8,56 \pm 0,41^{\#}$	$28,37 \pm 3,26^*$	$0,79 \pm 0,31$

Примечание: * – относительно контрольной группы, $p < 0,001$; # – относительно II группы пожарных обобщенной группы, $p < 0,001$.

Notes: * statistically different from the control group, $p < 0,001$; # statistically different from firefighters of merged group II, $p < 0,001$.

зон риска, позволяет определять неблагоприятные факторы, действующие на человека, а также высокий уровень клеток с цитогенетическими повреждениями на ранних стадиях патологии [6, 21, 22, 24].

Полученные нами результаты определяют зависимость кариопатологических изменений от стажа профессиональной деятельности, связанной с пожаротушением. Показатели, представленные в табл. 1, свидетельствуют, что у пожарных, подвергающихся воздействию комплекса генотоксических факторов, поступающих в окружающую среду в виде токсичных продуктов горения при пожарах, отмечается увеличение частоты кариопатологических аномалий в клетках buccalного эпителия по сравнению с контрольной группой. В зависимости от стажа частота встречаемости клеток с микроядрами и с прорезиями в 2–3 раза выше, чем в контрольной группе. Ядра с атипичной формой, причина возникновения которых заключается в нарушениях строения генома (в частности, дупликаций его участков) [22], также чаще определяются в группах пожарных со стажем более года. Также у пожарных достоверно чаще ($p < 0,001$) регистрировались признаки патологической пролиферации клеток, характеризующиеся увеличением частоты встречаемости двуядерных и трехядерных клеток, клеток, содержащих сдвоенные ядра, что, в свою очередь, свидетельствует об усилении процессов компенсаторной пролиферации новых клеток [21]. Показатели ранней деструкции ядер, представленные образованием перинуклеарных вакуолей, в 4 раза выше у пожарных со стажем больше 5 лет в сравнении с группой контроля. В этой группе в 4 раза чаще наблюдались и случаи кариорексиса. В то же время у пожарных увеличено количество клеток с кариопикнозом и кариорексисом по сравнению с контрольной группой. При этом частота встречаемости этих клеток уменьшается с увеличением стажа. В группе пожарных с большим стажем отмечались более низкие значения конденсации хроматина, что связано с увеличением пластичности buccalного эпителия – повреждение генома связано с репарационными процессами, что требует активизации считывания генетической информации [8].

В работах, посвященных воздействию диоксинов на организм пожарных, основное внимание уделяется концентрациям диоксинов в липидах крови и коррелирующими с ними изменениями системы биотрансформации ксенобиотиков, но проводимый анализ касается в основном одной уникальной высокоякспонированной диоксинами когорты (пожарные, участвовавшие в ликвидации пожара в 1992 году на кабельном заводе в городе

Шелехове), и не оценивается цитогенетический статус пожарных [11, 15–18]. В представленном нами исследовании определена зависимость генотоксических эффектов диоксинов от их концентрации в организме. Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что у пожарных отмечается увеличение частоты кариопатологических аномалий в клетках buccalного эпителия в зависимости от концентрации диоксинов в липидах крови и по сравнению с контрольной группой. У пожарных с высокой концентрацией диоксинов в липидах крови частота встречаемости клеток с микроядрами и с прорезиями в 2–3 раза выше, чем частота этих цитогенетических нарушений в контрольной группе ($p \leq 0,001$). Частота встречаемости атипичных ядер выше в группах пожарных с высокой концентрацией диоксинов липидов крови, что демонстрирует увеличение генетических аномалий. В то же время у пожарных с большей концентрацией диоксинов в липидах крови с высокой достоверностью чаще определялись признаки пролиферативных нарушений. Показатели ранней деструкции ядер, представленные образованием перинуклеарных вакуолей, в 4 раза выше у пожарных с концентрацией диоксинов выше 350 пг/г липидов, чем у лиц группы контроля. Также в этой группе в 4 раза чаще наблюдался и кариорексис. Повышение частоты образования перинуклеарных вакуолей и вакуолизация ядер у пожарных с высокой концентрацией диоксинов в липидах крови свидетельствует о наличии признаков некроза. В то же время у пожарных увеличено количество клеток с кариопикнозом и кариорексисом, что свидетельствует о нарастании апоптоза. Вероятно, что при воздействии токсичных продуктов горения, в том числе диоксинов, происходит повышение случаев апоптоза, что приводит к повышению уровня некротических процессов в клетках buccalного эпителия [6].

Анализ зависимости концентраций диоксинов в липидах крови пожарных от различных полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков был представлен в наших предыдущих статьях [7, 20]. Также подавляющее большинство работ, посвященных хроническому воздействию диоксинов, направлено на изучение взаимосвязи уровня диоксинов в организме человека с различными полиморфными вариантами генов детоксикации ксенобиотиков [10, 11, 19]. В то же время в этих работах не рассматривается взаимосвязь активности ферментов детоксикации ксенобиотиков и кариопатологических изменений. Вместе с тем в исследовании по изучению начальных проявлений интоксикации у клинически здорового населения загрязненных диоксинами

территорий Вьетнама анализ реакций клеточных и субклеточных структур в организме человека на равные по дозовой экспозиции воздействия диоксинами свидетельствует, что их разнообразие определяется вариабельностью индивидуальной чувствительности, обусловленной спецификой генотипа, пола и возраста [24].

Проведенный в представленном исследовании анализ кариопатологических изменений в клетках букального эпителия сотрудников ФПС МЧС России в зависимости от различных полиморфных вариантов гена, кодирующего эпоксидгидролазу, важнейшего фермента биотрансформации, преобразующего эпоксиды из деградированных ароматических соединений в трансдигидродиолы, показал, что носители генотипа Туг/Туг, ассоциированного с высокой активностью фермента, отличаются достоверно более низкой частотой встречаемости кариопатологических изменений (табл. 3). Статистически достоверно повышенные уровни цитогенетических нарушений в группах с полиморфизмами гена EPHX1 с низкой активностью эпоксидгидролазы свидетельствуют о недостаточности детоксикационной функции фермента, кодируемого при этом полиморфизме, что способствует кумуляции диоксинов и увеличению их генотоксического эффекта на клеточные структуры организма сотрудников ФПС МЧС России при выполнении задач по пожаротушению. Также у пожарных, носителей полиморфных вариантов Туг/Туг, частота встречаемости клеток с пролиферативными нарушениями статистически значимо ниже, чем у носителей полиморфизмов, ассоциированных с низкой детоксикационной способностью фермента. Апоптотический индекс, наоборот, выше в группе носителей полиморфизма, связанного с высокой активностью фермента.

Анализ особенностей цитогенетических нарушений в клетках букального эпителия сотрудников ФПС МЧС России при различных вариантах гена, кодирующего цитохром Р450 1A1, монооксигеназу печени, важнейшего фермента первой фазы детоксикации ксенобиотиков, показал, что носители генотипа А/А, ассоциированного с высокой активностью фермента, отличаются достоверно более низкой частотой встречаемости кариопатологических изменений (табл. 4). Статистически достоверно повышенные уровни цитогенетических нарушений в группах с полиморфизмами, ассоциированными с низкой активностью монооксигеназы, свидетельствуют о недостатке детоксикационной функции фермента при данном полиморфизме и увеличении генотоксического эффекта диоксинов на организм пожарных. Также у пожарных, носителей полиморфных вариантов А/А, частота встречаемости клеток с пролиферативными нарушениями статистически значимо ниже, чем у носителей полиморфизмов, ассоциированных с низкой детоксикационной способностью фермента. В то же время по оценке апоптотического индекса в группах с различными полиморфизмами гена CYP1A1 статистически достоверных различий выявлено не было.

Результаты оценки связи активности ферментов детоксикации ксенобиотиков второй фазы биотрансформации с уровнем цитогенетических нарушений при воздействии токсичных продуктов горения на организм пожарных при пожаротушении

свидетельствуют, что при полиморфизмах, ассоциированных с высокой активностью фермента, определяется достоверно более низкая частота встречаемости кариопатологических изменений.

У носителей генотипа D/D гена GSTM1, кодирующего аминокислотную последовательность фермента мю-1 глутатион-S-трансферазы, отмечается более высокая частота цитогенетических и пролиферативных изменений клеток букального эпителия, а также более низкий показатель индекса апоптоза (табл. 5).

Носители делеционного генотипа D/D гена GSTT1, кодирующего аминокислотную последовательность фермента тета-1 глутатион-S-трансферазы, характеризовались достоверно более высокими показателями частоты встречаемости цитогенетических и пролиферативных нарушений (табл. 6). При этом частота апоптотических изменений, наоборот, среди носителей гомозиготного генотипа D/D была ниже. В литературных источниках представлены сведения о частоте носителей генотипа D/D: в европеоидной популяции их определяется 15–30 %, в негроидной – около 25 %, а в монголоидной – до 58 %. В русской популяции европейской части России частота делеционного генотипа определяется примерно в 18 % случаев [25].

Носители аллеля А гена GSTP1, кодирующего аминокислотную последовательность фермента пи-1 глутатион-S-трансферазы, демонстрировали более низкую частоту встречаемости клеток с цитогенетическими и пролиферативными изменениями в сравнении с носителями гомозиготного генотипа G/G (табл. 7). У носителей аллеля А глутатион-S-трансфераза ассоциирована с большей детоксикационной активностью ксенобиотиков за счет связывания глутатиона с субстратами. Полиморфизм гена GSTP1 определяется заменой нуклеотида аденина (A) на гуанин (G), приводящей к замене аминокислоты в пептидной цепи молекулы фермента, и связана со снижением его активности, что приводит к повышению кумуляции токсикантов в организме и, в свою очередь, увеличению частоты встречаемости клеток с кариопатологией.

Вышеизложенные результаты подтверждаются данными, представленными в табл. 8, свидетельствующими, что у лиц первой обобщенной группы индекс накопления цитогенетических нарушений Iac достоверно ниже, чем у лиц второй обобщенной группы, генотипы генов которых ассоциированы с низкой детоксикационной активностью.

Заключение. Таким образом, у пожарных в зависимости от стажа работы и концентрации диоксинов в липидах крови отмечено увеличение частоты кариопатологических аномалий в клетках букального эпителия в сравнении с контрольной группой. Анализ взаимосвязи различных полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков, диоксинов в липидах крови пожарных и индекса накопления цитогенетических нарушений показал, что лица с сочетанием 6 генотипов (EPHX1 Туг/Туг, CYP1A1 А/А, GSTT1 I/I, GSTM1 I/I, GSTP1 А/А, GSTP1 C/C) характеризовались наличием ферментов детоксикации ксенобиотиков с высокой активностью и большей устойчивостью к возникновению кариопатологических изменений под воздействием генотоксикантов. Полученные в результате проведенного исследования уровни

цитогенетических нарушений свидетельствуют о неблагоприятном воздействии токсичных продуктов горения (в т. ч. диоксинов), которому подвергаются сотрудники при выполнении задач по пожаротушению.

Список литературы

1. Рукавишников В.С., Колычева И.В. Лахман О.Л. Современные аспекты сохранения и укрепления здоровья пожарных // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 12. С. 1175–1179. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1175-1179
2. Рукавишников В.С., Колычева И.В. Медицина труда пожарных: итоги и перспективы исследований // Медицина труда и промышленная экология. 2007. № 6. С. 1–5.
3. Рукавишников В.С., Колычева И.В., Дорогова В.Б., Бударина Л.А. Некоторые подходы к мониторингу условий труда и состояния здоровья пожарных // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2005. № 2 (40). С. 7–14.
4. Стрельцова И.В., Скутова А.В. Медицинские аспекты профессиональной деятельности пожарных // Научный журнал. 2017. № 5 (18). С. 105–106.
5. Адамян В.Л., Мальков И.В. Медико-биологические аспекты трудовой деятельности пожарных // Центральный научный вестник. 2017. Т. 2. № 19 (36). С. 3.
6. Софонов Г.А., Румак В.С., Умнова Н.В., Белов Д.А., Турбабина К.А. Возможные риски хронического воздействия малых доз диоксинов для здоровья населения: к методологии выявления токсических эффектов // Медицинский академический журнал. 2016. Т. 16. № 3. С. 7–18.
7. Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Санников М.В., Пятибрат А.О. Оценка концентрации диоксинов в липидах крови пожарных в зависимости от полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10 (331). С. 65–74. doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-65-74
8. Кузьмина Н.С., Лыонг Т.М., Рубанович А.В. Изменения метилирования ДНК, индуцированные диоксинами и диоксиноподобными соединениями, как возможный предиктор развития заболеваний // Генетика. 2020. Т. 56. № 10. С. 1136–1149. doi: 10.31857/S0016675820100069
9. Chernyak YI, Shelepchikov AA, Brodsky ES, Grassman JA. PCDD, PCDF, and PCB exposure in current and former firefighters from Eastern Siberia. *Toxicol Lett.* 2012;213(1):9–14. doi: 10.1016/j.toxlet.2011.09.021
10. Chernyak YI, Merinova AP, Shelepchikov AA, Kolesnikov SI, Grassman JA. Impact of dioxins on antipyrene metabolism in firefighters. *Toxicol Lett.* 2016;250:251–35–41. doi: 10.1016/j.toxlet.2016.04.006
11. Chernyak YI, Grassman JA. Impact of AhRR (565C > G) polymorphism on dioxin dependent CYP1A2 induction. *Toxicol Lett.* 2020;320:58–63. doi: 10.1016/j.toxlet.2019.12.002
12. Румак В.С., Умнова Н.В. Диоксины и безопасность биосистем: результаты натурных исследований // Жизнь Земли. 2018. Т. 40. № 3. С. 308–323.
13. Каракея С.В., Кухарчик Т.И. Источники поступления стойких органических загрязнителей в окружающую среду: опыт выявления и изучения // Природопользование. 2012. № 22. С. 157–164.
14. Румак В.С., Умнова Н.В. Биомониторинг состояния загрязненной диоксинами среды в окрестностях свалки: к минимизации риска для здоровья населения // Химическая безопасность. 2020. Т. 4. № 2. С. 68–79. doi: 10.25514/CHS.2020.2.18005
15. Chernyak YI, Shelepchikov AA, Feshin DB, Brodsky ES, Grassman JA. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls in the serum of firefighters who participated in extinguishing the 1992 fire at a cable manufacturing plant in Irkutsk oblast. *Dokl Biol Sci.* 2009;429:562–566. doi: 10.1134/S0012496609060234
16. Черняк Ю.И., Шелепчиков А.А., Грассман Д.А. Модификация диоксин-сигнального пути у высокоэкспонированных пожарных // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2007. № 2(54). С. 65–71.
17. Черняк Ю.И., Грассман Д.А. Воздействие диоксинов на пожарных // Медицина труда и промышленная экология. 2007. № 6. С. 18–21.
18. Шелепчиков А.А., Черняк Ю.И., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Грассман Д.А. Полихлорированные дibenzo-p-дтоксины, дibenзофураны и бифенилы в сыворотке крови пожарных Иркутского региона // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2012. Т. 110. № 3. С. 53–59.
19. Софонов Г.А., Рембовский В.Р., Радилов А.С., Могиленкова Л.А. Современные взгляды на механизм токсического действия диоксинов и их санитарно-гигиеническое нормирование // Медицинский академический журнал. 2019. Т. 19. № 1. С. 17–28. doi: 10.17816/MAJ19117-28
20. Крийт В.Е., Санников М.В., Сладкова Ю.Н., Пятибрат А.О. Влияние полиморфизмов генов детоксикации ксенобиотиков и стажа работы на уровень кумуляции диоксинов в организме сотрудников МЧС России // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2020. № 2. С. 55–68. doi: 10.25016/2541-7487-2020-0-2-55-68
21. Сычева Л.П. Применение цитогенетического мониторинга в оценке влияния факторов окружающей среды на здоровье человека // Российский журнал восстановительной медицины. 2016. № 1. С. 48–60.
22. Сычева Л.П. Цитогенетический мониторинг для оценки безопасности среды обитания человека // Гигиена и санитария. 2012. № 6. С. 68–72.
23. Шинкарук Е.В., Агбалян Е.В. Цитогенетический статус жителей гыданского полуострова // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 9. С. 865–868. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-9-865-868
24. Румак В.С., Умнова Н.В., Софонов Г.А. Молекулярные и клеточные аспекты токсичности диоксинов // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69. № 3–4. С. 77–84. doi: 10.15690/vramn.v69.i3-4.1000
25. Хрунин А.В., Хохрин Д.В., Лимборская С.А. Полиморфизм генов глутатион-S-трансфераз в популяции русского населения Евразийской части России // Генетика. 2008. Т. 44. № 10. С. 1429–1434.

References

1. Rukavishnikov VS, Kolycheva IV, Lakhman OL. Modern aspects of the conservation and promotion of health of firefighters. *Gigiena i Sanitariya.* 2016;95(12):1175–1179. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1175-1179
2. Roukavishnikov VS, Kolycheva IV. Industrial hygiene for firemen: Results and prospects of research. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2007;(6):1–5. (In Russ.)
3. Rukavishnikov VS, Kolycheva IV, Dorogova VB, Budarina LA. Some approaches to monitoring of work conditions and health state in the fire fighters. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo Nauchnogo Tsentr Sibirskogo Otcheleniya Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk.* 2005;(2(40)):7–14. (In Russ.)
4. Streltsova IV, Skutova AV. [Medical aspects of professional activities of firefighters.] *Nauchnyy Zhurnal.* 2017;(5(18)):105–106. (In Russ.)
5. Adamyan VL, Malkov IV. Medical and biological aspects of labor activities of fire. *Tsentral'nyy Nauchnyy Vestnik.* 2017;2(19(36)):3. (In Russ.)
6. Sofronov GA, Roumak VS, Umnova NV, Belov DA, Turbabina KA. Chronicle exposure to low concentrations of dioxins and possible risks for human health: Some aspects of toxic effects revealing. *Meditinskii Akademicheskiy Zhurnal.* 2016;16(3):7–18. (In Russ.)
7. Kriyt VE, Sladkova YN, Sannikov MV, Pyatibrat AO. Evaluation of blood lipid concentrations of dioxins

- in firefighters depending on polymorphic variants of xenobiotic detoxification genes. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(10(331)):65-74. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-65-74
- Kuzmina NS, Rubanovich AV, Luong TM. Changes in DNA methylation induced by dioxins and dioxin-like compounds as potential predictor of disease risk. *Russian Journal of Genetics*. 2020;56(10):1180-1192. doi: 10.1134/S1022795420100063
 - Chernyak YI, Shelepchikov AA, Brodsky ES, Grassman JA. PCDD, PCDF, and PCB exposure in current and former firefighters from Eastern Siberia. *Toxicol Lett*. 2012;213(1):9-14. doi: 10.1016/j.toxlet.2011.09.021
 - Chernyak YI, Merinova AP, Shelepchikov AA, Kolesnikov SI, Grassman JA. Impact of dioxins on antipyrine metabolism in firefighters. *Toxicol Lett*. 2016;250-251:35-41. doi: 10.1016/j.toxlet.2016.04.006
 - Chernyak YI, Grassman JA. Impact of AhRR (565C > G) polymorphism on dioxin dependent CYP1A2 induction. *Toxicol Lett*. 2020;320:58-63. doi: 10.1016/j.toxlet.2019.12.002
 - Roumak VS, Umnova NV. Dioxins and biosystems safety: Field research results. *Zhizn' Zemli*. 2018;40(3):308-323. (In Russ.)
 - Kakareka SV, Kukharchyk TI. Sources of persistent organic pollutants: The experience of revealing and study. *Prirodopol'zovanie*. 2012;(22):157-164. (In Russ.)
 - Roumak VS, Umnova NV. Biomonitoring of dioxins-contaminated environment in the landfill vicinity: To minimize human health risks. *Khimicheskaya Bezopasnost'*. 2020;4(2):68-79. (In Russ.) doi: 10.25514/CHS.2020.2.18005
 - Chernyak YI, Shelepchikov AA, Feshin DB, Brodsky ES, Grassman JA. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls in the serum of firefighters who participated in extinguishing the 1992 fire at a cable manufacturing plant in Irkutsk oblast. *Dokl Biol Sci*. 2009;429:562-566. doi: 10.1134/S0012496609060234
 - Chernyak YI, Shelepchikov AA, Grassman JA. Modification of the dioxin signaling pathway in highly exposed firefighters. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo Nauchnogo Tsentra Sibirskogo Otdeleniya Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk*. 2007;(2(54)):65-71. (In Russ.)
 - Tchernyak YuI, Grassman DA. Influence of dioxines on firemen. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2007;(6):18-21. (In Russ.)
 - Shelepchikov AA, Chernyak YuI, Brodsky ES, Feshin DB, Grassman JA. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in blood serum of firefighters of Irkutsk Oblast. *Sibirskiy Meditsinskiy Zhurnal (Irkutsk)*. 2012;110(3):53-59. (In Russ.)
 - Sofronov GA, Rembovskiy VR, Radilov AS, Mogilenkova LA. Modern views on the mechanism of the toxic action of dioxins and their hygienic rationing. *Meditinskiy Akademicheskiy Zhurnal*. 2019;19(1):17-28. (In Russ.) doi: 10.17816/MAJ19117-28
 - Kriyt VE, Sannikov MV, Sladkova YuN, Pyatibrat AO. Influence of xenobiotic detoxification gene polymorphisms and experience on the level of accumulation of dioxins in Emercom of Russia employees. *Mediko-Biologicheskie i Sotsial'no-Psichologicheskie Problemy Bezopasnosti v Chrezvychainykh Situatsiyakh*. 2020;(2):55-68. (In Russ.) doi: 10.25016/2541-7487-2020-0-2-55-68
 - Sycheva LP. Application of cytogenetic monitoring in the estimation of the influence of environmental factors on human health. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2016;1(1):48-60. (In Russ.)
 - Sycheva LP. Cytogenetic monitoring for assessment of safety of environmental health. *Gigiena i Sanitariya*. 2012;91(6):68-72. (In Russ.)
 - Shinkaruk EV, Agbalyan EV. Cytogenetic status of the residents of the Gydansky Peninsula (Gydan). *Gigiena i Sanitariya*. 2016;95(9):865-868. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-9-865-868
 - Roumak VS, Umnova NV, Sofronov GA. Molecular and cellular aspects of dioxin toxicity. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk*. 2014;69(3-4):77-84. (In Russ.) doi: 10.15690/vramn.v69.i3-4.1000
 - Khrunin AV, Khokhrin DV, Limborska SA. Glutathione-S-transferase gene polymorphism in Russian populations of European part of Russia. *Russian Journal of Genetics*. 2008;44(10):1241-1245. doi: 10.1134/S1022795408100153





Общая и профессиональная патология при производстве чернового никеля и меди

А.Н. Кизеев, С.А. Сюрин

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

Резюме

Введение. Условия труда при производстве чернового никеля и меди создают повышенный риск развития профессиональной патологии.

Цель настоящего исследования – получение новых данных о развитии нарушений здоровья у работников, осуществляющих производство чернового никеля и меди в Арктике.

Материалы и методы. Проведен анализ формирования общей и профессиональной патологии у 760 работников, занятых в производстве чернового никеля и меди в 2008–2020 годах.

Результаты. Основным вредным фактором при переработке файнштейна являются соединения никеля с превышением ПДК на различных технологических участках в 7,6–157,0 раза. По данным периодического медицинского осмотра 2008 года, в структуре общей патологии наиболее распространенными были болезни глаза (18,4 %), костно-мышечной системы (14,7 %) и органов дыхания (12,5 %). С увеличением стажа на каждые 10 лет происходил рост показателей заболеваемости болезней костно-мышечной системы, системы кровообращения и эндокринной системы ($p < 0,001$). В 2009–2020 годах у 50 из 760 (6,6 %) работников было впервые диагностировано 91 профессиональное заболевание, среди которых преобладали болезни органов дыхания (68,9 %), а средний уровень заболеваемости составил 0,998 случая в год на 100 работников. Наиболее часто профессиональная патология развивалась у машинистов мельниц (16,7 % работников) и плавильщиков (13,4 % работников) с показателями заболеваемости 1,389 и 1,122 случая в год на 100 работников соответственно. Установлено, что частота профессиональной патологии зависела от степени риска ее развития. При исходном очень высоком риске профессиональные заболевания развивались у 32,9 %, высоком риске – у 17,6 %, среднем – у 12,0 %, умеренном – у 2,0 % и низком – у 0,3 % работников.

Заключение. Получены новые данные об особенностях формирования общей и профессиональной патологии при производстве чернового никеля и меди, использование которых позволит проводить их более раннюю и целенаправленную профилактику.

Ключевые слова: переработка файнштейна, условия труда, риски здоровью, профессиональная патология, ретроспективное исследование.

Для цитирования: Кизеев А.Н., Сюрин С.А. Общая и профессиональная патология при производстве чернового никеля и меди // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 76–85. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-76-85>

Сведения об авторах:

Кизеев Алексей Николаевич – к.б.н., с.н.с. отдела исследований среди обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации; e-mail: aleksei.kizeev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

✉ Сюрин Сергей Алексеевич – д.м.н., главный научный сотрудник отдела исследований среди обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Сюрин С.А.; сбор данных: Кизеев А.Н.; анализ и интерпретация результатов: Сюрин С.А.; литературный обзор: Сюрин С.А.; подготовка рукописи: Сюрин С.А., Кизеев А.Н. Авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: работа выполнялась в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол и дизайн исследования были обсуждены и одобрены локальным комитетом ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора от 12.05.2021, протокол № 35.3. От всех участников исследования было получено информированное добровольное согласие.

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

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

Статья получена: 14.03.22 / Принята к публикации: 01.04.22 / Опубликована: 31.05.22

General Medical Conditions and Occupational Diseases in Workers Engaged in Crude Nickel and Copper Production

Aleksei N. Kizeev, Sergei A. Syurin

North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: Working conditions in the production of crude nickel and copper pose an increased risk of occupational diseases.

Objective: To collect new data on health disorders in workers engaged in the production of crude nickel and copper in the Arctic.

Materials and methods: We analyzed general medical conditions and occupational diseases in 760 workers engaged in the production of crude nickel and copper in 2008–2020.

Results: Nickel compounds, workplace air concentrations of which exceed the permissible exposure limit by 7.6–157.0 times in various unit process areas, represent the main occupational hazard in converter matte processing. According to the regular check-up data for 2008, the most prevalent general medical conditions included diseases of the eye (18.4 %), musculoskeletal (14.7 %) and respiratory (12.5 %) systems. Every 10-year increment in the length of service was associated with an increase in the incidence of diseases of the musculoskeletal, circulatory and endocrine systems ($p < 0.001$) in the workers. In 2009–2020, 91 occupational diseases were first diagnosed in 50 of 760 employees, among which respiratory diseases prevailed (68.9 %), and the average annual incidence rate was 0.998 cases per 100 workers. Mill and smelter operators (16.7 % and 13.4 % of all workers, respectively) were at higher risk of developing an occupational disease, and their annual incidence rates were 1.389 and 1.122 cases per 100 workers, respectively. We observed a clear dose-response relationship between the exposure and occupational disease rates in the workers concerned: occupational diseases developed in 32.9 % of workers with very high occupational exposure and in 17.6 %, 12.0 %, 2.0 %, and 0.3 % of workers exposed to high, medium, moderate, and low levels of airborne nickel compounds.

Conclusion: We have obtained new data on non-occupational and occupational disorders in the crude nickel and copper production workers enabling early and targeted disease prevention.

Keywords: converter matte processing, working conditions, health risks, occupational diseases, retrospective study.

For citation: Kizeev AN, Syurin SA. General medical conditions and occupational diseases in workers engaged in crude nickel and copper production. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):76–85. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-76-85>

Author information:

Aleksei N. Kizeev, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Department for Environmental Research and Public Health in the Russian Arctic, North-West Public Health Research Center; e-mail: aleksei.kizeev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

✉ Sergei A. Syurin, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Department for Environmental Research and Public Health in the Russian Arctic, North-West Public Health Research Center; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

Author contributions: study conception and design: Syurin S.A.; data collection: Kizeev A.N.; analysis and interpretation of results: Syurin S.A.; literature review: Syurin S.A.; draft manuscript preparation: Syurin S.A., Kizeev A.N. Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The work was performed in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The study protocol and design were discussed and approved by the Local Ethics Committee of the North-West Public Health Research Center (Minutes No. 35.3 of May 12, 2021). Written informed consent was obtained from all participants in the study.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: March 14, 2022 / Accepted: April 1, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. Получение никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд представляет сложную последовательность взаимосвязанных технологических процессов, в которой важным звеном является разделение и переработка файнштейна. Разделение предварительно измельченного файнштейна происходит во флотомашинах с получением пенного и камерного продуктов, представляющих собой черновые медный и никелевый концентраты. Последующая технология получения частично восстановленного никелевого огарка включает в себя операции обезвоживания никелевого концентратата, его окислительного обжига в печах кипящего слоя и восстановительного обжига в трубчатых вращающихся печах. Основная часть никелевого порошка трубчатых печей поступает на анондную плавку в дуговые электропечи. Готовый металл разливается по изложницам карусельной машины и направляется на электролитическое рафинирование с получением катодных никеля и меди¹. Переработка файнштейна сопровождается выбросом в воздух производственных помещений и окружающую атмосферу газов с высоким содержанием диоксида и других соединений серы. Кроме того, образуется пыль, содержащая соединения кремния, металлический никель, оксиды и сульфиды никеля, соединения меди и другие компоненты [1–3].

Несмотря на модернизацию производства, условия труда на медно-никелевых предприятиях в целом, и в пиromеталлургических цехах в частности, являются одними из наиболее вредных и опасных [4–6]. Их работники подвергаются воздействию различных по составу и концентрации пылегазовых аэрозолей, приводящих к возникновению характерной для этого вида деятельности респираторной патологии, в том числе злокачественных новообразований [7–9]. Также при пиromеталлургическом производстве отмечаются повышенная тяжесть трудового процесса и неудовлетворительные параметры микроклимата рабочих мест. Часто возникает экспозиция к шуму, реже – к локальной и общей вибрации, неионизирующему электромагнитным полям, инфракрасному излучению [7, 10, 11]. Поэтому, помимо патологии органов дыхания, у работников медно-никелевой промышленности выявляются высокие уровни болезней костно-мышечной и нервной систем, кожи и других органов [12–14]. Поскольку в настоящее время производство никеля в России осуществляется в Арктике, важно принимать во внимание влияние климатических условий региона на состояние здоровья работаю-

щего населения [15, 16]. Доказано, что сочетание вредных производственных и климатических факторов способно ускорять и изменять развитие профессиональных заболеваний [17].

Таким образом, вопросы сохранения здоровья работников медно-никелевой промышленности не новы, однако они пока далеки от оптимального решения. Поэтому логично полагать, что получение новых знаний об особенностях формирования общей и профессиональной патологии позволит разработать более эффективные способы ее прогнозирования и профилактики.

Цель исследования заключалась в получении новых данных о развитии нарушений здоровья у работников, осуществляющих производство чернового никеля и меди в Арктике.

Материалы и методы исследования. У 760 работников рафинировочного цеха изучены деперсонализированные базы данных периодического медицинского осмотра 2008 года и первичной профессиональной патологии, установленной у этих же работников в 2009–2020 годах. Исследование носило ретроспективный характер с начальной точкой в 2008 году и конечной точкой в 2020 году. Изменение статуса наблюдаемых лиц (переход в число больных с профессиональной патологией или выбытие из группы наблюдения по другим причинам) отслеживалось ежегодно по кодовому номеру работника предприятия. Списки наблюдаемых лиц предоставлялись администрацией предприятия перед каждым ежегодным периодическим медицинским осмотром. Случаи первичной профессиональной патологии ежеквартально вносились в областной регистр профессиональных заболеваний. В течение 12 лет анализировались конечные точки исследования (случай профессионального заболевания) в сопоставлении с исходным состоянием здоровья наблюдавшего лица в 2008 году. Исходы общих заболеваний, выявленных в 2008 году, но не ставших профессиональными, не являлись предметом настоящего исследования.

Для гигиенической оценки условий труда использованы результаты аттестации рабочих мест и производственного контроля концентрации вредных веществ в воздухе рабочих помещений. Данные периодического медицинского осмотра 2008 года и сведения о первичной профессиональной патологии в 2009–2020 годах были получены в Кольском филиале ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (Мурманская область, г. Кировск). Вторым источником информации служили результаты социально-гигиенического мониторинга по разделу

¹ ИТС 12-2019 «Производство никеля и кобальта». Москва: Бюро НДТ, 2019. 187 с.

«Условия труда и профессиональная заболеваемость» населения Мурманской области в 2008–2020 годах (предоставлены ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Москва).

Для обработки результатов исследования были использовано программное обеспечение Microsoft Excel 2016 и программа Epi Info, v. 6.04d. Определялись *t*-критерий Стьюдента для независимых совокупностей, критерий согласия χ^2 , относительный риск (ОР) и 95 % доверительный интервал (ДИ). Числовые данные представлены в виде абсолютных значений, процентной доли, среднего арифметического и стандартной ошибки среднего арифметического ($M \pm m$). Критический уровень значимости нулевой гипотезы принимался равным 0,05.

Результаты исследования. Гигиеническая оценка условий труда показала, что основным вредным фактором у работников рафинировочного цеха являются соединения никеля с превышением ПДК по никелю на различных технологических участках в 7,6–157,0 раза. При этом наиболее высокие показатели определялись на участке дробления

файнштейна, в электропечном и обжиговом отделениях, отделении пылеулавливания. Превышение концентрации кобальта в 2–4 раза имело место на участке дробления и в электропечном и обжиговом отделении. Концентрация меди на всех производственных участках не превышала гигиенических нормативов (табл. 1). В 2009–2020 годах в цехе не проводилась модернизация технологических процессов, которая приводила бы к смене класса вредности условий труда работников, занятых в производстве чернового никеля и меди.

Работники рафинировочного цеха имели высокую степень экспозиции к вредным производственным факторам, соответствовавшей условиям труда классов вредности 3.2–4. Наиболее значимым из них был химический фактор. Меньшее влияние оказывали шум, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, повышенные параметры трудового процесса. Из работников основных специальностей наиболее вредные условия труда отмечались у обжигальщиков, плавильщиков, дробильщиков, машинистов мельниц (табл. 2).

Периодический медицинский осмотр в 2008 году был проведен у 760 работников рафинировочного цеха (95,6 % списочного состава).

Таблица 1. Среднесменная концентрация вредных веществ в воздухе рабочих помещений, мг/м³

Table 1. Mean work shift concentrations of industrial pollutants in the workplace air of different production sites, mg/m³

Вредное вещество / Pollutant	Никель / Nickel	Медь / Copper	Кобальт / Cobalt	Диоксид серы / Sulfur dioxide	Углерода оксид / Carbon monoxide	Серная кислота / Sulfuric acid	Сероуглерод / Carbon disulfide
Подразделение цеха / Workshop site	ПДК, мг/м ³ / MPC, mg/m ³						
	0,05	1,00	0,05	10,0	20,0	1,0	10,0
Участок флотации / Flotation site	0,380	0,19	0,008	ND	ND	ND	0,74
Участок измельчения / Grinding site	0,920	0,24	0,016	ND	ND	ND	ND
Участок дробления / Crushing site	7,849	0,37	0,215	ND	ND	ND	ND
Промывное отделение / Flushing division	ND	ND	ND	24,3	ND	0,12	ND
Обжиговое отделение / Roasting division	3,450	0,17	0,103	15,7	5,84	ND	ND
Электропечное отделение / Electric furnace division	5,168	ND	0,185	ND	6,40	ND	ND
Отделение пылеулавливания / Dust collection division	2,935	ND	ND	13,5	ND	ND	ND

Примечание: ND – не обнаружено.

Notes: MPC, maximum permissible concentration; ND, not detected.

Таблица 2. Класс условий труда у работников наиболее распространенных специальностей

Table 2. Class of working conditions for major jobs

Факторы производственной среды и трудового процесса / Occupational risk factors	Обжигальщик / Roaster furnace operator	Плавильщик / Smelter operator	Слесарь-ремонтник / Locksmith - repairman	Электромонтер / Electrician	Машинист крана / Crane operator	Дробильщик / Crusher operator	Машинист мельниц / Mill operator
Химический / Chemicals	3,4–4	3,4–4	3,3–4	3,2–3,3	3,3–4	3,4–4	3,3–4
Фиброгенные аэрозоли / Fibrous dusts	3,1–3,3	3,1–3,2	3,1–3,2	3,1	3,1	3,2–3,3	3,2–3,3
Шум / Noise	3,2	3,1–3,3	3,1–3,3	3,1–3,2	3,1–3,2	3,2–3,3	3,2–3,3
Микроклимат / Microclimate	3,1	3,1–3,2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Тяжесть труда / Labor severity	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1–3,2	3,1–3,2	3,2
Общая оценка / Total score	3,4–4	3,4–4	3,3–4	3,2–3,3	3,3–4	3,4–4	3,3–4

Среди участвовавших в медицинском осмотре лиц было 675 (88,8 %) мужчин и 85 (11,2 %) женщин. Их средний возраст составил $39,5 \pm 0,3$ лет, а трудовой стаж – $15,7 \pm 0,3$ года. Регулярно курили 425 (55,9 %) работников. Экспозиция к табачному дыму, оцененная по индексу курения [18], находилась на уровне $10,30 \pm 0,36$ пачка/лет. В число прошедших осмотр вошли 120 (15,8 %) обжигальщиков, 119 (15,7 %) плавильщиков, 114 (15,0 %) слесарей-ремонтников, 86 (11,3 %) электромонтеров, 65 (8,6 %) машинистов крана, 31 (4,1 %) электрогазосварщик, 27 (3,6 %) чистильщиков газоходов и еще 198 работников менее многочисленных специальностей. Не участвовавшие в 2008 году в медицинском осмотре работники в последующем в группу наблюдения не включались.

По результатам медицинского осмотра практически здоровыми (отсутствие заболеваний) были признаны 114 (15,0 %) человек. У остальных 646 (85,0 %) работников выявлялось от одного до десяти хронических непрофессиональных заболеваний, что составило $2,29 \pm 0,36$ случая у одного работника. На основании результатов медицинского осмотра 15 человек были направлены на обследование в областной центр профпатологии в связи с подозрением на развитие у них профессиональных заболеваний.

По данным применяемой нами методики определения вероятности формирования профессиональной патологии (с учетом стажа, возраста, условий труда и установленных непрофессиональных заболеваний) низкий риск определялся у 308 (40,5 %), умеренный – у 247 (32,5 %), средний – у 75 (9,9 %), высокий – у 51 (6,7 %) и очень высокий – у 79 (10,4 %) работников.

Анализ структуры непрофессиональной патологии, с учетом продолжительности экспозиции к вредным производственным факторам, показал, что у работников рафинировочного цеха наибо-

лее часто выявляются заболевания глаза (первое место), костно-мышечной системы, органов дыхания и пищеварения, системы кровообращения. Показатели заболеваемости этих классов болезней превышают 20 случаев на 100 работников. Реже (5–20 случаев на 100 работников) диагностируются заболевания эндокринной и мочеполовой систем, инфекционные болезни, новообразования, болезни кожи. Нарушения здоровья других классов определялись в единичных случаях. Важно отметить, что курение повышало риск возникновения хронических бронхолегочных заболеваний: ОР = 2,98; ДИ 1,69–5,28; $\chi^2 = 16,0$; $p < 0,001$.

Установлено, что с увеличением продолжительности стажа на каждые 10 лет происходит рост показателей заболеваемости болезней костно-мышечной системы ($p < 0,001$), системы кровообращения ($p < 0,001$ –0,009) и эндокринной системы ($p < 0,001$ –0,032). При увеличении стажа с 11–20 лет до более 20 лет отмечается рост уровня заболеваемости респираторной патологией ($p < 0,001$), желудочно-кишечными ($p < 0,001$), урогенитальными ($p < 0,001$) заболеваниями, а также новообразованиями ($p < 0,001$). Значимого влияния изменения продолжительности стажа на распространность других классов болезней не отмечалось (табл. 3).

Число нозологических форм заболеваний, выявляемых у одного работника, при стаже 11–20 лет было выше, чем при стаже до 10 лет ($2,03 \pm 0,12$ и $1,57 \pm 0,11$ случая, $p = 0,005$), а при стаже более 20 лет – выше, чем при стаже 11–20 лет ($3,23 \pm 0,20$ и $2,03 \pm 0,12$ случая, $p < 0,001$). За наблюдаемые стажевые периоды в структуре хронических непрофессиональных заболеваний произошли незначительные изменения, которые проявлялись увеличением доли болезней костно-мышечной системы (с 7,6 до 19,0 %, $p = 0,016$) и снижением доли болезней глаза (с 25,3 до 13,7 %, $p < 0,001$).

Таблица 3. Структура общей патологии в зависимости от продолжительности стажа (случаи/случай на 100 работников / % в структуре всех заболеваний)

Table 3. General medical conditions and the length of service of crude nickel and copper production workers (cases / rate per 100 workers / % of all conditions)

Класс болезней МКБ-10 / ICD-10 category	Стаж, лет / Years of employment			Всего / Total
	< 11	11–20	> 20	
Глаза и его придаточного аппарата / Diseases of the eye and adnexa	86/39,6/25,3	124/42,2/20,7	110/44,2/13,7	320/42,1/18,4
Костно-мышечной системы / Diseases of the musculoskeletal system	26/12,0/ 7,6	77/26,2/12,9	153/61,4/19,0	256/33,7/14,7
Органов дыхания / Diseases of the respiratory system	54/24,9/15,9	68/23,1/11,4	96/38,6/11,9	218/28,7/12,5
Системы кровообращения / Diseases of the circulatory system	28/12,9/8,2	80/27,2/13,4	94/37,8/11,7	202/26,6/11,6
Органов пищеварения / Diseases of the digestive system	49/22,6/14,4	60/20,4/10,0	85/34,1/10,6	194/25,5/11,1
Эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ / Endocrine, nutritional and metabolic diseases	17/7,8/5,0	41/13,9/6,9	63/25,3/7,8	121/15,9/6,9
Инфекционные и паразитарные болезни / Certain infectious and parasitic diseases	27/12,4/7,9	44/15,0/12,9	48/19,3/6,0	119/15,7/6,8
Мочеполовой системы / Diseases of the genitourinary system	19/8,8/5,6	31/10,5/5,2	55/22,1/6,8	105/13,8/6,0
Новообразования / Neoplasms	10/4,6/2,9	18/6,1/3,0	35/14,1/4,3	63/8,3/3,6
Кожи и подкожной клетчатки / Diseases of the skin and subcutaneous tissue	13/6,0/3,8	26/8,8/4,3	22/8,8/2,7	61/8,0/3,5
Уха и сосцевидного отростка / Diseases of the ear and mastoid process	6/2,8/1,8	15/5,1/2,5	17/6,8/2,1	38/5,0/2,2
Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин / Injury, poisoning and certain other consequences of external causes	5/2,3/1,5	8/2,7/1,3	23/9,2/2,9	36/4,7/2,1
Крови и органов кроветворения / Diseases of the blood and blood-forming organs	0	4/1,4/0,7	2/0,8/0,2	6/0,8/0,3
Нервной системы / Diseases of the nervous system	0	2/0,7/0,3	1/0,4/0,1	3/0,4/0,2

Особенности уровней заболеваемости не-профессиональной патологии были изучены у работников четырех наиболее распространенных специальностей, имеющих отличия в условиях труда (табл. 4). Установлено, что у плавильщиков, по сравнению с обжигальщиками, чаще развивались болезни костно-мышечной ($p < 0,001$) и мочеполовой ($p = 0,003$) систем, кожи ($p < 0,001$) и системы кровообращения ($p = 0,002$). Также у плавильщиков болезни костно-мышечной системы были более распространены, чем у слесарей-ремонтников ($p < 0,001$) и электромонтеров ($p < 0,001$). Помимо этого, у слесарей-ремонтников чаще выявлялись болезни уха по сравнению обжигальщиками ($p = 0,049$).

В 2009–2020 годах было впервые диагностировано 91 профессиональное заболевание у 50 работников рафинировочного цеха (46 мужчин и 4 женщины), проходивших периодический медицинский осмотр в 2008 году. За 12 лет в связи с выходом на пенсию по старости, установлением профессионального заболевания и сменой места работы из группы наблюдения выбыли 302 человека.

На момент выявления профессиональной патологии средний возраст работников составил $53,2 \pm 0,8$ года, а трудовой стаж на предприятии – $29,3 \pm 0,8$ года. Регулярно курили 44 человека с ИК = $16,16 \pm 1,09$ пачка/год. Одно профессиональное заболевание было установлено у 23, два – у 17, три – у 7, четыре – у двух и пять – у одного работника, что составило $1,82 \pm 0,14$ случая/

работник. В течение 12 лет профессиональными больными были признаны 16 плавильщиков, 6 слесарей-ремонтников, 4 обжигальщика, по три дробильщика, машиниста крана, машиниста мельниц и сменного мастера, два флотатора и стропальщика, по одному работнику еще восьми специальностей.

В течение 2009–2020 годов показатели ежегодной выявляемости профессиональной патологии существенно отличались: от 2 (2012 год) до 15 (2019 год) случаев профессиональных заболеваний и от одного (2018 год) до 7 (2013 и 2019 годы) работников, у которых они диагностировались (рисунок). В целом за двенадцатилетний период число заболеваний имело незначительную тенденцию к увеличению (восходящая линия тренда), а число работников – к снижению (нисходящая линия тренда).

Развитие профессиональных заболеваний у работников рафинировочного цеха обусловливали три вредных производственных фактора (табл. 5). Основным из них был химический фактор, на который приходилось почти три четверти всех заболеваний. В число вредных веществ входили никель, соли никеля в виде гидроаэрозоля, никеля оксиды, сульфиды и смеси соединений никеля (файнштейн, никелевый концентрат и агломерат, оборотная пыль очистных устройств). В 67,0 % случаев эти соединения создавали опасность развития острого отравления. Доли остальных двух вредных факторов – шум и повышенная тяжесть трудового процесса – составили соответственно 14,3 и 11,0 %.

Таблица 4. Структура общей патологии у работников основных специальностей
(случаи / случаи на 100 работников / % доли в структуре всех заболеваний)

Table 4. General medical conditions in crude nickel and copper production workers of the main jobs
(cases / rate per 100 workers / % of all conditions)

Класс болезней МКБ 10 / ICD-10 category	Специальность / Job			
	Обжигальщик / Roaster furnace operator	Плавильщик / Smelter operator	Слесарь-ремонтник / Locksmith-repairman	Электромонтер / Electrician
Костно-мышечной системы / Diseases of the musculoskeletal system	17/14,2/8,2	67/56,3/21,8	35/30,7/12,1	19/22,1/10,2
Глаза и его придаточного аппарата / Diseases of the eye and adnexa	46/38,3/22,2	42/35,3/13,7	37/32,5/12,8	45/52,3/24,2
Органов дыхания / Diseases of the respiratory system	39/32,5/18,8	34/28,6/11,1	35/29,4/12,1	24/27,9/12,9
Системы кровообращения / Diseases of the circulatory system	22/18,3/10,6	43/36,1/14,0	28/24,6/9,7	22/25,6/11,8
Органов пищеварения / Diseases of the digestive system	29/24,2/14,0	25/21,0/8,1	36/31,6/9,7	19/22,1/10,2
Эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ / Endocrine, nutritional and metabolic diseases	13/10,8/6,3	13/10,9/4,2	25/21,9/8,6	11/12,8/5,9
Уха и сосцевидного отростка / Diseases of the ear and mastoid process	4/3,3/1,9	7/5,9/2,3	11/9,6/3,8	3/3,5/1,6
Кожи и подкожной клетчатки / Diseases of the skin and subcutaneous tissue	2/1,7/1,0	19/16,0/6,2	10/8,8/3,4	6/7,0/3,2
Инфекционные и паразитарные болезни / Certain infectious and parasitic diseases	17/14,2/8,2	24/20,2/7,8	21/18,4/7,2	19/22,1/10,2
Мочеполовой системы / Diseases of the genitourinary system	7/5,8/3,4	22/18,5/7,2	15/13,2/5,2	8/9,3/4,3
Травмы, отравления и другие последствия воздействия внешних причин / Injury, poisoning and certain other consequences of external causes	4/3,3/1,9	5/4,2/1,6	4/3,5/1,4	4/4,7/2,2
Новообразования / Neoplasms	6/5,0/2,9	7/5,9/2,3	10/8,8/3,4	7/8,1/3,8
Нервной системы / Diseases of the nervous system	1/0,8/0,5	0	0	0
Крови и органов кроветворения / Diseases of the blood and blood-forming organs	0	1/0,8/0,3	1/0,9/0,3	0

Обстоятельствами, делавшими возможным влияние вредных факторов на работников, были несовершенство технологических процессов, конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования, а также несовершенство санитарно-технических установок. Почти половина профессиональных заболеваний развивались при условиях труда класса 4. Примерно равные доли (13,2–17,6 %) заболеваний возникали при классах 3,2–3,4 и единичные случаи – при классе 3,1.

Из пяти классов профессиональных болезней, выявленных у работников рафинировочного цеха, наиболее распространеными (почти 70 % случаев) были заболевания органов дыхания, как верхних дыхательных путей, так бронхов и легких. В 5 раз реже выявлялись болезни уха и костно-мышечной системы. На злокачественные новообразования приходилось 4,4 % заболеваний (рак почек – 2 случая, рак гортани и головного мозга – по одному случаю).

У работников рафинировочного цеха самой распространенной нозологической формой профессионального патологии был хронический бронхит. В 2 раза реже развивалась нейросенсорная тугоухость, в 3 раза реже – бронхиальная астма и хроническая обструктивная болезнь легких. Время формирования случаев профессиональной патологии после проведенного в 2008 году медицинского осмотра колебалось от 1 года до 12 лет при среднем показателе $6,20 \pm 0,53$ года. Риск выявления профессиональных болезней органов дыхания повышался у работников, которые по данным ранее проведенных медицинских осмотров включались в диспансерную группу «Риск хронических неспецифических заболеваний легких (предбронхит)», имели ранее диагностированный хронический бронхит и/или патологию верхних дыхательных путей: $OP = 13,7$; $DI = 7,40–25,6$; $\chi^2 = 112,3$; $p < 0,001$. Также среди работников с профессиональной патологией было больше курящих лиц, чем среди работников, не имевших профессиональных заболеваний ($p < 0,001$). Вероятность выявления нейросенсорной тугоухости возрастала в случае ранее установленных признаков воздействия шума и начальных нарушений функции слуха: $OP = 21,6$; $DI = 7,75–60,2$; $\chi^2 = 64,5$; $p < 0,001$. Уровень профессиональной

заболеваемости металлургов в 2009–2020 годах составил 0,998 случая в год на 100 работников. В течение 12 лет профессиональная патология сформировалась у 6,57 % работников.

Особенности формирования профессиональной патологии изучены в 7 группах специалистов, имевших в своем составе 3 и более заболевших работников. Установлено, что самый низкий минимальный и средний стаж при развитии заболеваний отмечался у слесарей-ремонтников, при этом средний стаж был меньше, чем у плавильщиков ($p = 0,050$) и машинистов мельницы ($p = 0,025$). Также у слесарей-ремонтников выявлялось меньшее число заболеваний у одного работника, чем у плавильщиков ($p = 0,004$). Более значительно выделенные группы специалистов отличались по доле работников с профессиональной патологией и уровням профессиональной заболеваемости. Их максимальные значения определялись у машинистов мельницы, а минимальные – у обжигальщиков. Различия по первому показателю составили 5,06 раз, а по второму – 4,99 раз (табл. 6).

Риск развития профессиональной патологии у плавильщиков превышал уровень по цеху в целом ($OP = 2,04$; $DI = 1,20–3,47$; $\chi^2 = 6,98$; $p = 0,008$), а также был выше, чем у обжигальщиков ($OP = 5,38$; $DI = 1,61–5,28$; $\chi^2 = 17,9$; $p = 0,002$) и слесарей-ремонтников ($OP = 2,55$; $DI = 1,04–6,30$; $\chi^2 = 4,54$; $p = 0,033$). Помимо этого, у машинистов мельниц вероятность формирования профессиональной патологии была выше, чем у обжигальщиков ($OP = 6,67$; $DI = 1,46–30,5$; $\chi^2 = 7,50$; $p = 0,006$).

В течение 12 лет профессиональные заболевания были диагностированы у 32,9 % работников, у которых в 2008 году прогнозировался очень высокий риск их развития. При высоком риске таких работников было 17,6 %, при среднем – 12,0 %, при умеренном – 2,0 % и при низком риске – 0,3 %. Среднее время формирования профессиональной патологии при очень высоком риске составило $3,92 \pm 0,62$ года. В случае высокого риска оно увеличилось до $6,88 \pm 0,92$ года, при среднем – до $8,90 \pm 0,81$ года, при умеренном – до $10,40 \pm 0,98$ года. В случае низкого риска заболевание возникло только у одного работника через 12 лет после медицинского осмотра. Различия в продолжительности периода

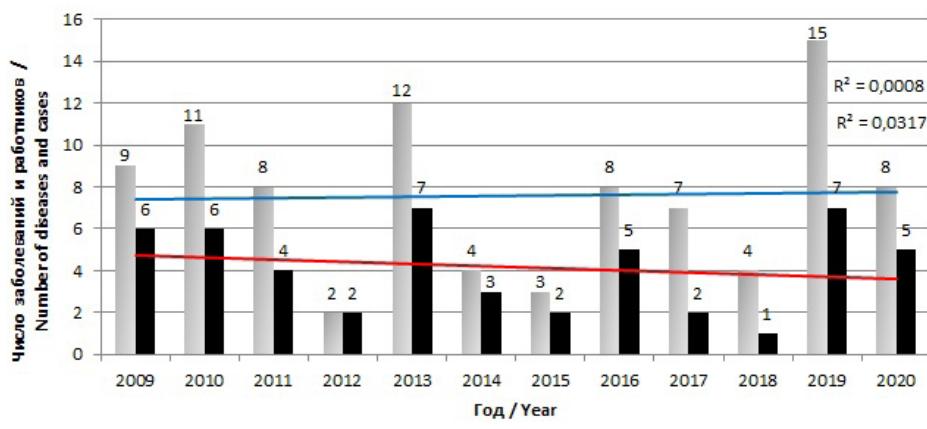


Рисунок. Ежегодное число случаев впервые выявляемых профессиональных заболеваний и работников с профессиональными заболеваниями, 2009–2020 гг.

Figure. The annual number of incident occupational diseases and cases in crude nickel and copper production workers, 2009–2020

формирования патологии были существенными между очень высокой и высокой ($p = 0,012$), очень высокой и средней ($p < 0,001$), очень высокой и умеренной ($p < 0,001$), а также высокой и умеренной ($p = 0,024$) степенями риска.

Обсуждение. Проведенное исследование обращает внимание, прежде всего, на то, что у работников пирометаллургического передела никеля и меди, занятых переработкой файнштейна, сохраняется повышенный уровень профессиональной заболеваемости. В 2009–2020 годах в обследованной группе работников он превышал общероссийские показатели при всех видах экономической деятельности в 67,0 раза, а при металлургическом производстве – в 16,6 раза^{2,3,4}. Объяснением этому феномену могут служить условия труда на предприятии, включающие характерное для Арктики сочетание вредных производственных и климатических факторов [19, 20]. Однако основная причина столь существенных различий, вероятно, заключается в более точном учете данных о заболеваемости при проведении ретроспективного исследования.

В структуре профессиональной патологии работников рафинировочного цеха продолжают преобладать заболевания органов дыхания,

и прежде всего хронический бронхит [9, 10, 21]. Очевидно, что это обусловлено высокими концентрациями вредных веществ (в первую очередь соединений никеля) в воздухе производственных помещений, а также недостаточной эффективностью применяемых средств индивидуальной защиты органов дыхания. Так же, как показывает проведенное исследование, повышает риск формирования профессиональных заболеваний продолжение трудовой деятельности работниками с уже установленной с различной степенью достоверности хронической патологией органов дыхания. Такие лица составляют группу очень высокого риска развития профессиональной патологии (у 32,9 % работников за 12 лет). Однако по различным причинам они продолжают работать по специальности еще в течение от одного года до одиннадцати лет после первичного установления хронического заболевания органов дыхания.

Надо отметить, что вопрос определения оптимальной продолжительности стажа (с учетом баланса «здоровье/экономическая целесообразность») актуален не только в случае профессиональной патологии. Экспериментальными исследованиями доказано, что увеличение по времени экспозиции

Таблица 5. Характеристика профессиональной патологии работников рафинировочного цеха

Table 5. Description of occupational diseases in refinery workers

Показатель / Indicator	Число случаев (%) / Number of cases (%)
Вредные производственные факторы / Harmful production factors	
Химический, в том числе: / Chemicals, including: вещества, опасные для развития острого отравления / Chemicals inducing acute poisoning вещества первого класса опасности / Hazard class 1 chemicals вещества второго класса опасности / Hazard class 2 chemicals	68 (74,7) 61 (67,0) 5 (5,5) 2 (2,2)
Шум / Noise	13 (14,3)
Тяжесть трудового процесса / Labor severity	10 (11,0)
Обстоятельства / Circumstances	
Несовершенство технологических процессов / Imperfection of technological processes	37 (40,7)
Конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования / Design flaws of machines, mechanisms and other equipment	30 (33,0)
Несовершенство санитарно-технических установок / Imperfection of sanitary and technical installations	24 (26,4)
Итоговый класс условий труда / Resulting class of working conditions	
Класс 3.1 / Class 3.1	3 (3,3)
Класс 3.2 / Class 3.2	16 (17,6)
Класс 3.3 / Class 3.3	16 (17,6)
Класс 3.4 / Class 3.4	12 (13,2)
Класс 4 / Class 4	44 (48,4)
Класс болезней / Disease category	
Болезни органов дыхания, в том числе: / Diseases of the respiratory system, including those of: верхних дыхательных путей / Upper airways бронхов и легких / Bronchi and lungs	62 (68,9) 49 (54,4) 13 (14,4)
Болезни уха и сосцевидного отростка / Diseases of the ear and mastoid process	13 (14,4)
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани / Diseases of musculoskeletal system and connective tissue	10 (11,0)
Новообразования / Neoplasms	4 (4,4)
Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин / Injury, poisoning and certain other consequences of external causes	2 (2,2)
Наиболее распространенные нозологические формы / Most prevalent diseases	
Хронический бронхит / Chronic bronchitis	28 (30,8)
Нейросенсорная тугоухость / Sensorineural hearing loss	13 (14,3)
Бронхиальная астма / Bronchial asthma	10 (11,0)
Хроническая обструктивная болезнь легких / Chronic obstructive pulmonary disease	10 (11,0)
Радикулопатия / Radiculopathy	8 (8,8)
Хронический ларингит / Chronic laryngitis	4 (4,4)

Таблица 6. Характеристика профессиональной патологии у работников различных специальностей

Table 6. Description of occupational diseases in workers of various jobs

Показатель / Indicator	Специальность / Job						
	Плавильщик / Smelter operator	Слесарь-ремонтник / Locksmith-repairman	Машинист мельницы / Mill operator	Дробильщик / Crusher operator	Сменный мастер / Shift master	Машинист крана / Crane operator	Обжигальщик / Roaster furnace operator
Минимальный стаж, лет / Minimum length of service, years	24	15	31	24	24	25	22
Средний стаж, лет / Mean length of service, years	30,5 ± 1,0	23,7 ± 3,1	36,3 ± 2,9	30,0 ± 4,5	27,3 ± 1,8	27,2 ± 2,3	27,0 ± 3,5
Доля работников с профессиональной патологией, % / Proportion of workers with occupational diseases, %	13,4	5,3	16,7	12,5	15,8	4,6	3,3
Среднее число профессиональных заболеваний у одного работника / Mean number of occupational diseases per worker	2,13 ± 0,24	1,17 ± 0,16	1,33 ± 0,33	1,33 ± 0,33	1,33 ± 0,33	2,00 ± 0,99	2,31 ± 1,15
Профессиональная заболеваемость, случаи/год/100 работников / Annual occupational disease incidence rate, per 100 workers	1,122	0,439	1,389	1,041	1,316	0,385	0,278

к соединениям никеля повышает степень их токсического действия на ткани организма человека [22]. Убедительно показан также вклад курения в развитие общей и профессиональной патологии органов дыхания, что подчеркивает важность отказа от этой вредной привычки на максимально раннем этапе производственной карьеры металлургов.

В структуре профессиональной патологии обследованной группы работников 4,4 % заняли злокачественные новообразования. Их локализация в респираторных органах характерна для работников медно-никелевых предприятий [23–25], а заболеваемость значительно превышает показатели в других отраслях промышленности России [26]. Выявленные 2 случая рака почек менее типичны и могут быть объяснены путями выведения никеля из организма [27].

Установлено, что из всех специалистов, занятых в процессе переработки файнштейна, наиболее подвержены развитию профессиональной патологии плавильщики и машинисты мельниц. Поэтому именно эти группы работников нуждаются в улучшении условий труда и совершенствовании медицинских методов сохранения их здоровья. Выполненное исследование доказывает целесообразность установления пяти степеней риска в развитии профессиональной патологии, необходимых для ранней и целенаправленной ее профилактики. При этом особого внимания заслуживает группа работников с очень высоким риском, так как у трети из них в течение 12 лет формируются профессиональные заболевания. Важно, что градация степеней риска может быть выполнена по результатам периодического медицинского осмотра.

Заключение. В структуре общей патологии работников, занятых в производстве чернового

никеля и меди, наиболее распространенными являются болезни глаза (18,4 %), костно-мышечной системы (14,7 %) и органов дыхания (12,5 %). С увеличением стажа на каждые 10 лет происходит рост числа болезней костно-мышечной системы, системы кровообращения и эндокринной системы ($p < 0,001$). В течение 12 лет профессиональная патология развивается у 6,6 % всех работников, а наиболее часто — у машинистов мельниц (16,7 % работников) и плавильщиков (13,4 % работников). Ее уровень в 67 раз превосходит показатели для всех видов экономической деятельности и в 16,6 раза — металлургического производства в России. Для уменьшения профессиональной заболеваемости, помимо снижения экспозиции работников к аэрозолям соединений никеля, необходимы дифференцированные медицинские профилактические мероприятия. Они должны быть ориентированы на степень риска развития профессиональной патологии, который определяется у каждого работника с первого дня трудовой деятельности по данным ежегодных периодических медицинских осмотров.

Список литературы

- Липатов Г.Я., Адриановский В.И., Шарипова Н.П., Борисенко Л.А. Выбросы вредных веществ от металлургических корпусов никелевых заводов // Фундаментальные исследования. 2014. № 10-4. С. 689–692.
- Касиков А.Г. Пылевые выбросы медно-никелевого производства и последствия их воздействия на организм человека в условиях Крайнего Севера // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 9. № 4. С. 58–63.
- Ревич Б.А. Риски здоровью населения в «горячих точках» от химического загрязнения арктического макрорегиона // Проблемы прогнозирования. 2020. № 2 (179). С. 148–157.

² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2012.

³ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2016.

⁴ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021.

4. Thanasias E, Koutsoumplias D, Vlastos D, Halkos G, Matthopoulos D, Makropoulos V. Evaluation of genetic damage to workers in a nickel smelting industry. *Occup Dis Environ Med*. 2019;7(1):21-35. doi: 10.4236/odem.2019.71003
5. Липатов Г.Я., Адриановский В.И., Гоголева О.И. Химические факторы профессионального риска у рабочих основных профессий в металлургии меди и никеля // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 2. С. 64–67.
6. Адриановский В.И., Липатов Г.Я., Кузьмина Е.А., Злыгостева Н.В. Смертность от злокачественных новообразований работающих, занятых в комплексной переработке отходов металлургии меди // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 1. С. 32–36. doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-1-32-36
7. Гамбарян М.Г. Эпидемиологические особенности хронических респираторных заболеваний в ряде регионов российской Арктики с развитым промышленным производством // Профилактическая медицина. 2014. Т. 17. № 6. С. 71–78.
8. Сюрин С.А., Шилов В.В. Бронхолегочная патология у работников никелевой промышленности: особенности развития, диагностики и клиники // Профилактическая и клиническая медицина. 2015. № 4 (57). С. 50–56.
9. Pavela M, Uitti J, Pukkala E. Cancer incidence among copper smelting and nickel refining workers in Finland. *Am J Ind Med*. 2017;60(1):87-95. doi: 10.1002/ajim.22662
10. Горбанев С.А., Сюрин С.А. Профессиональная патология у работников медно-никелевой промышленности в Кольской Арктике (1989–2018 гг.) // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10 (331). С. 22–27. doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-22-27
11. Никанов А.Н., Чащин В.П., Новикова Ю.А., Гудков А.Б., Попова О.Н. Производственно-обусловленная заболеваемость среди рабочих цветной металлургии при пиromеталлургическом способе получения никеля // Медицина труда и промышленная экология. 2021. Т. 61. № 5. С. 305–310. doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-5-305-310
12. Рочева И.И., Лештаева Н.Р. Условия труда и состояние здоровья работниц на предприятиях никелевого производства Кольского Заполярья // Экология человека. 2008. № 10. С. 47–49.
13. Черкай З.Н., Шилов В.В. К вопросу о профессиональной заболеваемости работников в горно-металлургической промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S7. С. 641–650.
14. Шеенкова М.В. Патология верхних отделов желудочно-кишечного тракта при воздействии аэрозолей цветных металлов // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 9. С. 809–810. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-811-812
15. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2015. № 1 (17). С. 70–75.
16. Салтыкова М.М., Бобровницкий И.П., Яковлев М.Ю., Банченко А.Д., Нагорнев С.Н. Новый подход к анализу влияния погодных условий на организм человека // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 11. С. 1038–1042. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-11-1038-42
17. Сюрин С.А., Ковшов А.А. Условия труда и риск профессиональной патологии на предприятиях Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2019. № 10. С. 15–23. doi: 10.33396/1728-0869-2019-10-15-23
18. Чучалин А.Г. Хроническая обструктивная болезнь легких и сопутствующие заболевания // Пульмонология. 2008. № 2. С. 5–14. doi: 10.18093/0869-0189-2008-0-2-5-14
19. Петрова П.Г. Эколого-физиологические аспекты адаптации человека к условиям Севера // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. Серия: «Медицинские науки». 2019. № 2(15). С. 29–38. doi: 10.25587/SVFU.2019.2(15).31309
20. Талыкова Л.В., Быков В.Р. Исследование эффектов профессионального воздействия в условия Арктической зоны // Российская Арктика. 2021. № 3 (14). С. 41–53. doi: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04
21. Сюрин С.А., Гущин И.В., Никанов А.Н. Профессиональная патология работников различных производств медно-никелевой промышленности Крайнего Севера // Экология человека. 2012. № 6. С. 8–12.
22. Zhao Y, Cheng N, Dai M, et al. Dynamic variation of histone H3 trimethyl Lys4 (H3K4me3) and heterochromatin protein 1 (HP1) with employment length in nickel smelting workers. *Biomarkers*. 2017;22(5):420-428. doi: 10.1080/1354750X.2016.1203996
23. Seilkop SK, Lightfoot NE, Berriault CJ, Conard BR. Respiratory cancer mortality and incidence in an updated cohort of Canadian nickel production workers. *Arch Environ Occup Health*. 2017;72(4):204-219. doi: 10.1080/19338244.2016.1199532
24. Серебряков П.В., Федина И.Н., Рушкевич О.П. Особенности формирования злокачественных новообразований органов дыхания у работников предприятий по добыче и переработке медно-никелевых руд // Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 9. С. 9–15.
25. Sciannameo V, Ricceri F, Soldati S, et al. Cancer mortality and exposure to nickel and chromium compounds in a cohort of Italian electroplaters. *Am J Ind Med*. 2019;62(2):99-110. doi: 10.1002/ajim.22941
26. Ильницкий А.П., Соленова Л.Г. Актуальные вопросы профессионального рака в России // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 3. С. 1-5.
27. Roberts RS, Julian JA, Muir DC, Shannon HS. A study of mortality in workers engaged in the mining, smelting, and refining of nickel. II: Mortality from cancer of the respiratory tract and kidney. *Toxicol Ind Health*. 1989;5(6):975-993. doi: 10.1177/074823378900500606

References

1. Lipatov GY, Adrianovskiy VI, Sharipova NP, Borisenko LA. Emissions of harmful substances from the metallurgical buildings of nickel plants. *Fundamental'nye Issledovaniya*. 2014;(10-4):689-692. (In Russ.)
2. Kasicov AG. Particulate emissions from copper-nickel production and the consequences of their impact on human body in the Far North. *Vestnik Kol'skogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2017;9(4):58-63. (In Russ.)
3. Revich BA. Population health risks in the chemical pollution hotspots of the Arctic macroregion. *Problemy Prognozirovaniya*. 2020;(2(179)):148-157. (In Russ.)
4. Thanasias E, Koutsoumplias D, Vlastos D, Halkos G, Matthopoulos D, Makropoulos V. Evaluation of genetic damage to workers in a nickel smelting industry. *Occup Dis Environ Med*. 2019;7(1):21-35. doi: 10.4236/odem.2019.71003
5. Lipatov GY, Adrianovskiy VI, Gogoleva OI. Chemical air pollution of the occupational environment as a factor for professional risk for workers of main occupations in the copper and nickel metallurgy. *Gigiena i Sanitariya*. 2015;94(2):64-67. (In Russ.)
6. Adrianovsky VI, Lipatov GYa, Kuzmina EA, Zlygosteva NV. Mortality due to malignant tumors in workers employed in the complex processing of copper metallurgical waste. *Gigiena i Sanitariya*. 2020;99(1):32-36. (In Russ.) doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-1-32-36
7. Gambarian MG. Epidemiological features of chronic respiratory diseases in a number of regions of the Russian Arctic with developed industry. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2014;17(6):71-78. (In Russ.)
8. Syurin SA, Shilov VV. Bronchopulmonary pathology among nickel industry workers: development, diagnostics and clinical manifestations. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina*. 2015;(4(57)):50-56. (In Russ.)

9. Pavela M, Uitti J, Pukkala E. Cancer incidence among copper smelting and nickel refining workers in Finland. *Am J Ind Med.* 2017;60(1):87-95. doi: 10.1002/ajim.22662
10. Gorbanev SA, Syurin SA. Occupational diseases in workers of copper and nickel industry in the Kola Arctic (1989–2018). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2020;(10(331)):22-27. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-22-27
11. Nikanov AN, Chashchin VP, Novikova YuA, Gudkov AB, Popova ON. Manufacturing-conditioned morbidity among non-ferrous workers in pyro-metallurgic way of nickel production. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2021;61(5):305-310. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-5-305-310
12. Rocheva II, Leshtaeva NR. Working conditions and health status of woman employed at the nickel production plants in Kola Polar Region. *Ekologiya Cheloveka [Human Ecology].* 2008;(10):47-49. (In Russ.)
13. Cherkay ZN, Shilov VV. The question of workers occupational diseases in the mining and metallurgical industry. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' (Nauchno-Tekhnicheskiy Zhurnal).* 2015;(S7):641-650. (In Russ.)
14. Sheenkova MV. Pathology of the upper gastrointestinal tract when exposed to non-ferrous metal aerosols. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2019;59(9):809-810. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-809-810
15. Solonin YuG, Boyko ER. Medical and physiological aspects of vital activity in the Arctic. *Arktika: Ekologiya i Ekonomika.* 2015;(1(17)):70-75. (In Russ.)
16. Saltykova MM, Bobrovnikskii IP, Yakovlev MYu, Panchenko AD, Nagornev SN. A new approach to the analysis of the influence of weather conditions on the human organism. *Gigiena i Sanitariya.* 2018;97(11):1038-1042. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-11-1038-42
17. Syurin SA, Kovshov AA. Labor conditions and risk of occupational pathology at the enterprises of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Ekologiya Cheloveka [Human Ecology].* 2019;(10):15-23. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-10-15-23
18. Chuchalin AG. Chronic obstructive pulmonary disease and co-morbidities. *Pul'monologiya.* 2008;(2):5-14. (In Russ.) doi: 10.18093/0869-0189-2008-0-2-5-14
19. Petrova PG. Ecological and physiological aspects of human adaptation to the conditions of the North. *Vestnik Severo-Vostochnogo Federal'nogo Universiteta Imeni M.K. Ammosova. Seriya "Meditinskie nauki".* 2019;(2(15)):29-38. (In Russ.) doi: 10.25587/SVFU.2019.2(15).31309
20. Talykova LV, Bykov VR. Study of the effect of occupational exposure at the Arctic zone (literature review). *Rossiyskaya Arktika.* 2021;(3(14)):41-53. (In Russ.) doi: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04
21. Syurin SA, Gushchin IV, Nikanov AN. Occupational pathology of workers employed in different productions of copper-nickel industry in Far North. *Ekologiya Cheloveka [Human Ecology].* 2012;(6):8-12. (In Russ.)
22. Zhao Y, Cheng N, Dai M, et al. Dynamic variation of histone H3 trimethyl Lys4 (H3K4me3) and heterochromatin protein 1 (HP1) with employment length in nickel smelting workers. *Biomarkers.* 2017;22(5):420-428. doi: 10.1080/1354750X.2016.1203996
23. Seilkop SK, Lightfoot NE, Berriault CJ, Conard BR. Respiratory cancer mortality and incidence in an updated cohort of Canadian nickel production workers. *Arch Environ Occup Health.* 2017;72(4):204-219. doi: 10.1080/19338244.2016.1199532
24. Serebryakov PV, Fedina IN, Rushkevich OP. Features of malignant neoplasms formation in respiratory system of workers engaged into mining and processing of copper-nickel ores. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2018;(9):9-15. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2018-9-9-15
25. Sciannameo V, Ricceri F, Soldati S, et al. Cancer mortality and exposure to nickel and chromium compounds in a cohort of Italian electroplaters. *Am J Ind Med.* 2019;62(2):99-110. doi: 10.1002/ajim.22941
26. Il'nitskiy AP, Solenova LG. Topical problems of occupational cancer in Russia. *Meditina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2017;(3):1-5. (In Russ.)
27. Roberts RS, Julian JA, Muir DC, Shannon HS. A study of mortality in workers engaged in the mining, smelting, and refining of nickel. II: Mortality from cancer of the respiratory tract and kidney. *Toxicol Ind Health.* 1989;5(6):975-993. doi: 10.1177/074823378900500606





Гигиеническая оценка средств индивидуальной защиты работников от воздействия технических наночастиц (систематический обзор)

А.В. Глушкова¹, А.О. Карелин¹, Г.Б. Еремин²

¹ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России, ул. Льва Толстого, д. 6–8, г. Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация

² ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора 2-я Советская улица, д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Производство и использование наноматериалов ежегодно дает значительный прирост, а с ними возрастают и риски для здоровья человека, особенно риск для персонала, контактирующего с наноматериалами, в том числе с наночастицами на рабочих местах. И если знания о потенциальной токсичности, связанной с нанотехнологиями, еще находятся на стадии накопления, то средства индивидуальной защиты при работе с наночастицами должны быть доступны сразу, в то время как другие более сложные стратегии управления рисками находятся на этапе разработки, оценки и последующего внедрения в практику.

Цель: обобщить и систематизировать сведения о используемых и предлагаемых к использованию средствах индивидуальной защиты работников от воздействия технических наночастиц.

Материалы и методы. Использованы информационно-аналитические методы на основе обобщения и анализа современных научных исследований, опубликованных в реферативных базах данных Medline, PubMed, Scopus, а также информационных порталах по состоянию на январь 2022 г. Отбор статей осуществлялся по принципу наличия в них сведений о гигиенической оценке средств индивидуальной защиты работников от воздействия технических наночастиц. Было проанализировано более 528 оригинальных статей, и в результате был отобран 39 полнотекстовой материалов, удовлетворяющих вышеуказанным критериям.

Результаты. Принципы, лежащие в основе сертификации фильтров, в частности по размеру проникающих наночастиц, не всегда соблюдаются при производстве фильтров и особенно при дальнейшей эксплуатации их на рабочих местах. Данные об использовании специальной защитной одежды очень ограничены и показывают, что доступные защитные средства могут не обеспечивать необходимый уровень защиты.

Заключение. Представленный обзор литературы выявил проблемы в нормативной базе и практическом осуществлении гигиенической оценки средств индивидуальной защиты от воздействия технических наночастиц, одной из которых является несоответствие между реальными производственными условиями и моделируемыми в лабораториях процессами. Исследователями были установлены факторы, влияющие на эффективность средств индивидуальной защиты органов дыхания от воздействия наночастиц: диаметр, заряд и форма частиц, скорость потока и влажность воздуха, модель и тип используемого фильтра.

Ключевые слова: наночастицы, средства индивидуальной защиты, нанотоксикология.

Для цитирования: Глушкова А.В., Карелин А.О., Еремин Г.Б. Гигиеническая оценка средств индивидуальной защиты работников от воздействия технических наночастиц (систематический обзор) // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 5. С. 86–93. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-86-93>

Сведения об авторах:

✉ Глушкова Анжела Викторовна – к.м.н., ассистент кафедры общей гигиены с экологией ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России; e-mail: angela_glushkova@yahoo.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0433-8522>.

Карелин Александр Олегович – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой общей гигиены с экологией ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России; e-mail: karel52@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2467-7887>.

Еремин Геннадий Борисович – к.м.н.; руководитель отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; e-mail: yeremin45@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследований: Еремин Г.Б.; сбор данных: Глушкова А.В.; анализ и интерпретация результатов: Глушкова А.В., Карелин А.О.; литературный обзор: Глушкова А.В.; подготовка рукописи: Глушкова А.В. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

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

Статья получена: 23.04.22 / Принята к публикации: 17.05.22 / Опубликована: 31.05.22

Hygienic Assessment of Personal Protective Equipment for Workers Exposed to Engineering Nanoparticles: A Systematic Review

Angela V. Glushkova,¹ Alexander O. Kareljin,¹ Gennadiy B. Yeremin²

¹ I.P. Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, 6–8 Lev Tolstoy Street, Saint Petersburg, 197022, Russian Federation

² North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Background: The production and use of nanomaterials keeps demonstrating a significant annual increase leading to enhanced health risks for humans and especially those exposed to nanoparticles at workplaces. While the knowledge of potential toxicity related to nanotechnologies is still evolving and other more sophisticated risk management strategies are being developed, evaluated and put into practice, personal protective equipment for those handling nanoparticles should be available immediately.

Objective: To summarize and systematize information about personal protective equipment already used and recommended for use by workers exposed to nanoparticles in the occupational setting.

Materials and methods: We used data analysis methods based on review and generalization of contemporary research data

found in Medline, PubMed, and Scopus abstract and citation databases and on information portals as of January 2022. The article selection criterion was availability of information about hygienic assessment of personal protective equipment for workers occupationally exposed to nanoparticles; having reviewed over 528 original articles, we chose 39 full-text publications. **Results:** We established that the principles of certification of filters and their further use for protection against nanoparticles under industrial conditions are not always observed in the production of filters, especially in terms of their pore size. Data on the use of special protective clothing is very limited and shows that available protective equipment may not ensure the required level of protection.

Conclusion: This literature review has revealed problems in the regulatory framework and practical hygienic assessment of personal protective equipment against nanoparticles, one of which is the discrepancy between real working conditions and processes simulated in the laboratory. We have established that particle diameter, charge and shape, air flow rate and humidity, as well as the model and type of filters determine the efficiency of respiratory protective equipment used to protect workers against nanoparticles in the workplace air.

Keywords: nanoparticles, personal protective equipment (PPE), nanotoxicology.

For citation: Glushkova AV, Karelina AO, Yeremin GB. Hygienic assessment of personal protective equipment for workers exposed to engineering nanoparticles: A systematic review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(5):86-93. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-86-93>

Author information:

✉ Angela V. Glushkova, Cand. Sci. (Med.), Assistant, Department of General Hygiene with Ecology, I.P. Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; e-mail: angela_glushkova@yahoo.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0433-8522>.

Alexander O. Karelina, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of General Hygiene with Ecology, I.P. Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; e-mail: karelina52@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2467-7887>.

Gennadiy B. Yeremin, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Public Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: yeremin45@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>.

Author contributions: study conception and design: Yeremin G.B.; data collection: Glushkova A.V.; analysis and interpretation of results: Glushkova A.V., Karelina A.O.; literature review: Glushkova A.V.; draft manuscript preparation: Glushkova A.V. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this systematic review.

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

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: April 23, 2022 / Accepted: May 17, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение. В нанометровом диапазоне частицы проявляют несколько иные химические и физические свойства, чем их микро- и макроаналоги. Так, например, наночастицы (НЧ) имеют низкую растворимость и высокую удельную площадь поверхности. НЧ также имеют тенденцию проявлять уникальные электромагнитные свойства. Обычно НЧ, связанные в жидкой или твердой среде, являются инертными [1].

Несвязанные НЧ могут попасть в организм при вдыхании, через кожу или при проглатывании. В профессиональных условиях ингаляционный путь является ведущим путем поступления НЧ в организм человека. НЧ способны проникать глубоко в легкие, именно туда, где происходит газообмен [2]. Проникновение НЧ через незащищенные участки кожи или слизистую глаз является на сегодня достаточно актуальной проблемой. Пероральный путь поступления НЧ в организм человека имеет второстепенное значение, особенно при условии соблюдения правил личной гигиены [3]. В связи с этим разработка и использование эффективных средств индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания, кожи и глаз работников от воздействия технических НЧ актуальны и имеют важное значение для сохранения их здоровья.

Цель работы — проведение гигиенической оценки используемых и предлагаемых к использованию СИЗ работников от воздействия технических наночастиц на основе выполненного систематического литературного обзора.

Материалы и методы. Использованы информационно-аналитические методы на основе обобщения и анализа современных научных исследований, опубликованных в реферативных базах данных Medline, PubMed, Scopus по состоянию на январь 2022 г. Отбор статей проводился по ключевым словам: наночастицы, технические наночастицы, средства индивидуальной защиты и осуществлялся по принципу наличия в них сведений о гигиенической оценке средств индивидуальной защиты работников от воздействия

технических наночастиц. Было проанализировано более 528 оригинальных статей, и в результате было отобрано 40 полнотекстовых материалов, удовлетворяющих критериям включения: для оригинальных статей и интернет-ресурсов, в том числе международных и региональных директив и нормативных регламентов, были публикации с описанием физико-химических характеристик и токсикологических свойств наночастиц, способов их получения, дизайна токсикологических экспериментов, характеристик СИЗ.

Результаты. Несмотря на то что имеется не-значительное количество данных о потенциальных последствиях воздействия НЧ на здоровье человека, в научно-методической литературе прослеживается определенная причинно-следственная связь между воздействием НЧ и их негативными эффектами на здоровье человека. В связи с этим было важно оценить подверженность персонала неблагоприятному воздействию НЧ и предопределить будущие проблемы в отраслях, где используются наноматериалы.

В ходе изучения механизмов токсичности НЧ исследователями были выделены три основных пути их воздействия на организм человека [4]. Доминирующим и наиболее изученным является ингаляционный путь. НЧ диаметром от 10 до 100 нм обнаруживаются в альвеолах, в то время как микрочастицы задерживаются в верхних отделах дыхательных путей [5, 6]. При вдыхании НЧ проникают в кровь и лимфу [4].

Проникновение НЧ через кожу долгое время недооценивалось из-за распространенного мнения о том, что кожа представляет для них непроницаемый барьер. Тем не менее последние исследования все чаще демонстрируют способность НЧ проникать вглубь кожи даже через неповрежденные участки [6], а также через поры и волосяные фолликулы. Ряд исследований указывает на то, что пот также потенциально увеличивает вероятность перкутанного проникновения НЧ. Далее НЧ распространяются по лимфатической системе [5].

В качестве третьего пути проникновения НЧ в организм человека указывают желудочно-кишечный тракт. Поступление НЧ может происходить при непосредственном проглатывании НЧ или при опосредованном глотании НЧ после вдыхания [5]. При этом только небольшая часть проглоченных НЧ может быстро выводиться из организма [4].

Еще один путь проникновения НЧ в организм человека, который может иметь отношение к гигиене труда и технике безопасности, – это прямое попадание НЧ в кровоток, например через открытую рану после пореза или травмы. В этом случае вероятность накопления НЧ в организме очень высока как по количеству НЧ, так и по продолжительности их нахождения в организме человека [4]. Могут также существовать дополнительные альтернативные пути проникновения НЧ в организм человека, например через слизистую оболочку глаза.

Учитывая имеющиеся на сегодня доказательства токсичности НЧ, настоятельно рекомендуется соблюдать меры предосторожности при работе с данными веществами. Например, группа экспертов из Французского агентства по безопасности окружающей среды и гигиене труда недавно разработала рекомендации, согласно которым НЧ должны рассматриваться как вещества с неизвестным уровнем опасности, поэтому и работы с ними должны проводиться с соблюдением всех тех мер предосторожности, которые соблюдаются при работе с опасными материалами [5].

Для достижения наилучших результатов при взаимодействии НЧ и персонала и минимизации негативных эффектов необходимо использовать следующие превентивные меры:

– технологические: местная вытяжная вентиляция, фильтрация выхлопных газов, использование НЧ в виде суспензии, а не в виде сухого вещества;

– административные: ограничение доступа работникам в рабочие зоны, где возможен контакт с НЧ [8].

Во всем мире существуют правила гигиены и охраны труда, гарантирующие безопасность персонала. Наиболее строгие из них, налагающие ответственность за обеспечение безопасности рабочих мест на работодателя, имеют место в США [8] и Канаде [9].

Однако в настоящее время ни одно из этих регулирующих правил не включает нанотехнологический аспект [10], даже несмотря на интенсивные усилия в этом направлении Рабочей группы по техническим наноматериалам в рамках Организации экономического сотрудничества и развития [11]. Так, например, Европейский регламент REACH не требует регистрации нановеществ, выпускаемых на рынок производителем менее 1 тонны/год [12]. Аналогичная ситуация наблюдается и в Канаде [13].

Интегрированная структура управления рисками для НЧ и наноматериалов была предложена на основе схем, разработанных в Японии, Европе и США [14]: она опирается на принятие международных стандартов тестирования токсичности веществ и общих методологий оценки риска, включая в себя оценку риска, управление рисками, формирование вариантов политики управления рисками, информирование о рисках.

Для компенсации отсутствия установленных государственных профессиональных указаний по

охране труда и окружающей среды, касающихся НЧ, несколько частных и общественных организаций разработали свои собственные руководства, базируясь на передовом опыте безопасного использования НЧ в условиях промышленного производства [15, 16]. Ими было рекомендовано использование респираторов с фильтрующей лицевой частью и защитной одежды, а также фильтрующих респираторов с принудительной подачей воздуха для снижения риска проникновения НЧ в пространство между лицом и респиратором.

СИЗ являются последней линией защиты и используются в тех ситуациях, когда вышеописанные превентивные меры неосуществимы или неэффективны. СИЗ также могут быть использованы в сочетании с другими методами профилактики воздействия НЧ на работников.

Выбор СИЗ должен основываться на многих факторах, таких как химическая идентичность и токсикологическая характеристика НЧ; концентрация НЧ в воздухе рабочей зоны, их физическое состояние (например, сухой порошок или жидкая суспензия); наличие иных средств профилактики воздействия НЧ на здоровье персонала.

СИЗ могут обеспечивать защиту только в том случае, если они правильно выбраны, соответствующим образом хранятся, обрабатываются и эксплуатируются во время всех возможных воздействий.

Без установленных пределов профессионального воздействия эффективность СИЗ по отношению к НЧ может оцениваться только в отношении «относительной» эффективности (например, при оценке процента проникновения НЧ или процента снижения их негативного воздействия) [17].

Учитывая, что данные о токсичности и эффективности методов контроля риска здоровью от воздействия НЧ в полном объеме отсутствуют, эффективные СИЗ должны быть доступны везде в качестве постоянного или временного инструментария [16]. При этом приоритетное значение имеют СИЗ для защиты дыхательных путей (респираторы) и кожи (защитные перчатки и костюмы)

Далее мы рассмотрим несколько видов СИЗ, используемых при работе с НЧ.

Респираторы. Защита органов дыхания, используемая как часть полной программы защиты здоровья персонала, должна быть включена в план управления рисками при любом сценарии работы с НЧ.

Недавние исследования показывают, что различные типы респираторов (например, лицевая маска, высокоэластичная полумаска, высокоэластичная маска, лицевая часть в виде маски, лицевая маска с принудительной подачей воздуха или автономный дыхательный аппарат) могут обеспечить необходимую защиту от находящихся в воздухе НЧ.

В ряде исследований изучалась эффективность респираторов для минимизации воздействия НЧ на здоровье персонала [17]. В целом было обнаружено, что фильтрующий материал респиратора эффективно улавливает НЧ, в основном за счет диффузии и действия электростатических сил. Исследования, касающиеся эффективности фильтра для мельчайших НЧ (< 2 нм), продолжаются, но на сегодня ясно, что подсос является более вероятной причиной вдыхания НЧ, нежели

проникновение их через фильтрующую среду респиратора.

Не так давно был опубликован отчет с рекомендациями по использованию СИЗ на основе испытаний, проведенных с НЧ в рамках европейского проекта NanoSafe 2 [16], в котором авторы утверждают, что НЕРА-фильтры, респираторные картриджи и маски, выполненные из волокнистых фильтров, более эффективны при работах с НЧ, чем с их микро- и макроаналогами.

Использование СИЗ для защиты органов дыхания представляет собой строго регламентированную область. В Национальном институте безопасности и гигиены труда (NIOSH) (США) проводились исследования с респираторами, которые тестировались на способность проникновения средней аэродинамической массы с диаметром частиц до 300 нм. НЧ данного диаметра были выбраны, потому как они являются наиболее проникаемыми в легкие [18].

Выбор респиратора должен основываться на оценке экспозиции НЧ и анализе риска. Необходимо учитывать несколько параметров, в том числе химические свойства НЧ, их токсичность и концентрацию, уровень физической активности персонала и время ношения респиратора. Тем не менее данные по токсичности НЧ все еще весьма скучны [19], что сильно ограничивает возможности рационального процесса отбора респираторов.

В результате Национальным институтом безопасности и гигиены труда (США) были одобрены два типа устройств для защиты органов дыхания от воздействия НЧ [20].

Фильтрующие респираторы, которые включают фильтрацию с респиратором и лицевой маской, доступны в трех категориях (N, R и P) в зависимости от их устойчивости к деградации наночастиц. Они делятся на три типа (95, 99 и 100) в зависимости от минимального уровня эффективной фильтрации (95, 99 и 99,97 % соответственно) [21].

Фильтры серии N могут быть использованы при работе без нефтесодержащих частиц. Фильтры серий R и P могут быть использованы при работе с частицами нефти. Использование фильтров серии R может быть ограничено рабочей сменой [22].

Вторым классом устройств, одобренных NIOSH, являются изолирующие респираторы с принудительной подачей воздуха, которые состоят из лицевой маски и системы подачи воздуха. Они являются существенной альтернативой фильтрующим респираторам, например, в случае использо-

вания их в условиях обедненной кислородом атмосферы, при ношении бороды или усов и в связи с ограничением по времени из-за сопротивления дыхания.

В связи с отсутствием стандартных диагностических методик, специфичных для НЧ, исследователи разработали свои собственные измерительные установки для оценки эффективности используемых фильтров и респираторов.

Как правило, они состоят из четырех основных компонентов: системы генерации аэрозоля, испытательной камеры, счетчика частиц и флюометра. Принцип измерения схематично показан на рисунке.

Система генерации может включать камеру для производства НЧ [23] с сопутствующими принадлежностями (экспиратор, нейтрализатор скорости осаждения). Дифференциальный анализатор подвижности, сканирующий мобильный измеритель частиц или электростатический сепаратор могут быть добавлены для первоначального отбора частиц в зависимости от их размера [24].

После генерации НЧ поступают непосредственно в испытательную камеру. В то время как большинство исследователей для тестирования использовали лишь фильтры, некоторые оценивали работу респираторов в целом. В ряде случаев респиратор помещался в коробку из плексигласа и запечатывался расплавленным воском [25].

В других – респиратор герметично закреплялся с помощью силиконового герметика на лице манекена [26, 27].

Система подсчета частиц и флюометр располагаются ниже. Боковой фильтр позволяет измерять концентрацию частиц выше потока. Эффективность фильтра определяется как соотношение между концентрациями частиц ниже и выше потока.

В некоторых случаях были использованы интегрированные системы, объединяющие образование и измерение проникновения аэрозоля [28].

Несколько типов НЕРА-фильтров, а также ULPA-фильтров (для воздуха, загрязненного ультрамелкими частицами) были испытаны с НЧ графита при скорости потока 9,6 см/с, которые показали увеличение способности проникновения НЧ при уменьшении диаметра со 100 до 10 нм, достигая значения около 1 % при размере НЧ в 100 нм [29].

Было показано, что полиакрилнитрильный волокнистый фильтр с толщиной волокна 0,02 мм имел даже лучшую эффективность фильтрации, чем НЕРА-фильтр при испытаниях с НЧ NaCl при скорости потока 5,3 см/с [30].

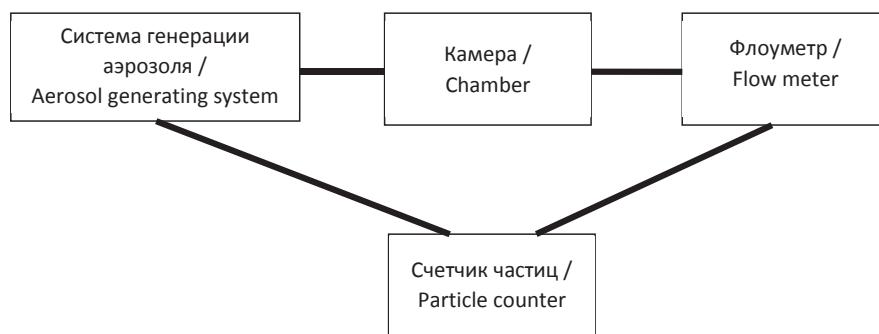


Рисунок. Типовая установка для измерения эффективности фильтрации для НЧ

Figure. Typical installation for nanoparticle filtration efficiency testing

FPP3 фильтр (эффективность фильтрации 98 %) при испытаниях со скоростью потока 5,3 см/с с НЧ графита продемонстрировал максимум проникновения – около 0,1 % НЧ с размером 30 нм [28]. Стекловолоконные фильтры также при испытаниях демонстрировали возрастающее проникновение НЧ NaCl и Ag при скорости потока 5,3 см/с [29].

E-PTFE мембранны из вспененного политетрафторэтилена, который по своей структуре имеет наноразмерные поры, в исследованиях демонстрировали такие же свойства, как и предыдущие фильтры, при исследовании проникновения через них НЧ с размером 10–20 нм, и наблюдалось максимальное проникновение при размере частиц в 30 нм [31].

Кроме того, наблюдалось проникание НЧ NaCl через противопылевые респираторы с фильтрующей лицевой частью при скорости потока 30 и 85 л/мин [29]. Была достигнута эффективность защиты для некоторых протестированных моделей более 96 %.

Авторы ряда исследований пришли к выводу, что НЕРА-фильтры и волокнистые фильтры в целом демонстрируют достаточно высокую эффективность в плане защиты органов дыхания от неблагоприятного воздействия НЧ [30].

Следует отметить, что, несмотря на одну и ту же модель или тип используемого фильтра, эффективность респираторов зависела от конкретного производителя [32]. Например, в эксперименте серию из пяти респираторов N95 от разных производителей обрабатывали НЧ NaCl при скорости потока 85 л/мин [33]. Максимальные значения проникновения НЧ варьировали в диапазоне от менее 2 до более 5 % [29].

Существует еще один фактор, который влияет на максимальное значение проникания НЧ: скорость потока частиц. Высокие скорости потока сильно снижают эффективность фильтрации в диапазоне диаметра НЧ от 3 до 300 нм [31, 32]. Оказалось также, что высокие скорости потока препятствуют диффузионному механизму проникновения НЧ и способствуют увеличение инерционного удара [33].

Этот показатель весьма важен, так как скорость потока 85 л/мин, используемая в тестировании при стандартных методах защиты органов дыхания, крайне низка по сравнению с максимальной скоростью выдыхаемого воздуха 300–400 л/мин, измеренной у рабочих, выполняющих физическую работу высокой интенсивности.

К другим параметрам, влияющим на проникновение НЧ через фильтры и респираторы, относятся заряд и форма частиц [34], заряд фильтра [35], а также условия хранения и использования респираторов [36].

При изучении влияния влажности на способность проникновения НЧ было отмечено, что повышение способности проникновения НЧ через фильтры наблюдалось для электростатических фильтров [31], в то время как для стекловолокнистых фильтров такой зависимости выявлено не было при уровне влажности от 10 до 23 000 ррт по массе [32]. Это отчасти объясняется снижением заряда электростатических фильтров, вызванным влажностью.

Защитная одежда. Если в отношении защиты органов дыхания достигнут определенный про-

гресс, то в отношении защиты кожных покровов от проникновения НЧ успехи исследователей намного скромнее.

В отсутствие стандартных методов исследований, предназначенных для изучения защитных свойств одежды от неблагоприятного воздействия НЧ, исследователи разработали свои собственные измерительные установки для воздухопроницаемых материалов, таких как ткани. Эти установки, как правило, аналогичны стандартным для фильтрующих устройств защиты органов дыхания [35] и работают на основе того же принципа, который показан на рисунке. Поток аэрозольных НЧ проходит через систему, и их концентрация на обеих сторонах образца измеряется с использованием стандартных методов подсчета частиц.

В случае работы с пористыми тканями и непористыми образцами, например защитными перчатками из монолитного полимера, использовали конденсационный счетчик частиц [37].

Другие исследователи, работающие с текстильными и эластомерными защитными перчатками, использовали сканирующую электронную микроскопию (SEM) для визуализации поведения НЧ на поверхности образцов после статического или динамического контакта [37].

Эксперименты проводились с проницаемым текстилем с использованием олеиновой кислоты и аэрозолей KCl с размером частиц от 15 до 3 мкм при различных скоростях потока [37]. Было установлено, что проникновение через ткань зависит от диаметра частиц. Тесты, выполненные с использованием аэрозолей NaCl со скоростью потока 10 и 32 л/мин на образцах, взятых из различных защитных тканей, показали аналогичную картину проникновения НЧ при сравнении с волокнистыми фильтрами со значениями до 100 нм.

Значения максимального проникновения аэрозоля были выявлены на уровне до 80 %. Эффект скорости потока, измеренный на образцах защитной одежды с использованием НЧ NaCl, согласовывается с теорией фильтрации, которая гласит, что более при высоких скоростях потока наблюдается увеличение проникновения НЧ и уменьшение эффективности MPPS [36].

Таким образом, одежду для химзащиты следует выбирать с учетом тех НЧ, с которыми приходится работать, а также с учетом рисков воздействия НЧ на здоровье человека. В некоторых ситуациях (малоопасный материал, низкий риск воздействия), использование хлопчатобумажных или хлопкополиэфирных лабораторных халатов или комбинезонов может обеспечить достаточную защиту. Для ситуаций с более высокой степенью риска (материал с высокой степенью опасности или высокий потенциал воздействия НЧ на здоровье человека) одежда должна быть изготовлена из тканей с низкой степенью удержания/выделения пыли. Нетканый текстиль (например, полиэтилен воздухонепроницаемый высокой плотности) может обеспечить высокий уровень защиты.

Рекомендуется избегать использования защитной одежды из шерсти, хлопка и других материалов (например, полиэстера) для работы с наноматериалами, вызывающими особую обеспокоенность. Обычные типы одежды для химзащиты при работе, например, с порошками включают лабораторный халат с длинными рукавами без манжет, длинные брюки без манжет, комбинезон,

туфли с закрытым носком из материала с низкой проницаемостью и бахилы.

В ряде исследований различные типы тканых и нетканых текстильных материалов подвергали воздействию НЧ графита в условиях отсутствия потока. Наблюдалось более чем 1000-кратное снижение потока частиц при использовании нетканых материалов на основе полиэтилена Tuvek® по сравнению с хлопком и полипропиленовыми неткаными образцами, даже если они имели гораздо меньшую толщину [35].

Перчатки. Для многих задач при работе с НЧ требуются хорошего качества одноразовые полимерные перчатки (например, из неопрена, нитрила, латекса или другого химически стойкого материала).

Как и в других ситуациях, связанных с химическим воздействием, перчатки должны быть выбраны с точки зрения их эффективности по отношению к характеристикам НЧ. В случае суспензирования в жидкости необходимо учитывать сопротивление материала перчаток как к НЧ, так и к жидкостям.

Толщина перчаток также способствует эффективности их использования. Проникновение НЧ становится наиболее вероятным, если перчатки подвергаются многократной механической деформации и если НЧ присутствуют в коллоидных растворах. Перчатки типа рукавиц или с удлиненной манжетой могут защищать запястья от воздействия НЧ за счет зазора между рукавом защитной одежды и перчаткой.

Исследования хлопковых перчаток с помощью сканирующей электронной микроскопии после статического и динамического контакта с глиной и НЧ оксида алюминия показали высокую вероятность проникновения частиц между волокнами [37].

Весьма немного результатов было получено для непористых мембранных материалов, которые использовались для защитных перчаток. В эксперименте, проведенном с пятью моделями перчаток, выполненными из резины, нитрила, латекса, неопрена и винила, с использованием аэрозольных НЧ графита в установке без потока, значения коэффициента диффузии близкие к нулю были зарегистрированы для НЧ размером 30 нм, а для НЧ размером 80 нм значения варьировались от 5×10^{-12} до $4 \times 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ [29].

Полученные данные показали, что измеренный коэффициент диффузии для НЧ зависит как от материала, из которого были выполнены перчатки, так и от производителя. Исследования с использованием сканирующей электронной микроскопии проводились на латексных и нитрильных перчатках после статического и динамического контакта с НЧ глины и глинозема. Результаты показали, что НЧ имеют тенденцию накапливаться внутри микропор на поверхности перчаток. Степень накопления зависит от материала перчаток, типа НЧ и вида взаимодействия (статический или динамический).

Некоторые исследователи разделяют мнение, что имеющаяся в настоящее время защитная одежда не обеспечивает лишь ограниченную защиту от проникновения НЧ [37].

Достаточно легко НЧ проникают через волокна различных тканей, как воздухопроницаемых, так и воздухонепроницаемых [33]. Это открытие довольно тревожно, так как хлопок достаточно

часто (более чем в 25 % случаев) рекомендуется как лабораторный материал от компаний, занимающихся нанотехнологиями [32].

С другой стороны, полиэтиленовые нетканые материалы типа Tuvek® показали намного лучшую эффективность по сравнению с хлопковыми тканями. Для лучшей защиты исследователи предлагают носить полиэтиленовые нетканые перчатки в два слоя при контакте с НЧ [36]. Некоторые исследователи пришли к выводу, что наблюдается увеличение проникновения НЧ через защитную одежду с уменьшением размера частиц и скорости потока. Более высокие значения коэффициента диффузии зарегистрированы для НЧ графита размером 30 нм, чем для НЧ графита размером 80 нм (Best Body).

Защита глаз. Рекомендуется использовать специальные очки для предотвращения попадания НЧ в глаза в том случае, если используются респираторы без полной лицевой маски. При высокой вероятности воздействия НЧ на орган зрения (например, при распространении НЧ в воздухе) рекомендуется использовать плотно прилегающие пыленепроницаемые защитные очки [38–40].

Заключение. Таким образом, представленный обзор литературы выявил проблемы в нормативной базе и практическом осуществлении гигиенической оценки СИЗ от воздействия технических НЧ, одной из которых является несоответствие между реальными производственными условиями и моделируемыми в лабораториях процессами. Исследователями были установлены факторы, влияющие на эффективность СИЗ органов дыхания от воздействия НЧ: диаметр, заряд и форма частиц, скорость потока воздуха, влажность воздуха, модель и тип используемого фильтра, фирма-производитель. Для защиты рук лучше использовать перчатки из полиэтиленовых нетканых материалов. Что касается вопросов использования защитной специальной одежды, данные очень ограничены и показывают, что доступные защитные средства могут не обеспечивать необходимый уровень защиты. Это свидетельствует о том, что требуется гораздо больше усилий, в частности с точки зрения разработки соответствующих методов тестирования, сертификации существующих продуктов и понимания механизмов взаимодействия используемых в СИЗ материалов с НЧ.

Список литературы

1. Riviere JE. Pharmacokinetics of nanomaterials: an overview of carbon nanotubes, fullerenes and quantum dots. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol.* 2009;1(1):26–34. doi: 10.1002/wnan.24
2. Wohlfart S, Gelperina S, Kreuter J. Transport of drugs across the blood-brain barrier by nanoparticles. *J Control Release.* 2012;161(2):264–273. doi: 10.1016/j.jconrel.2011.08.017
3. Buzea C, Pacheco II, Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases.* 2007;2(4):MR17–71. doi: 10.1116/1.2815690
4. Papp T, Schiffmann D, Weiss D, Castranova V, Vaillathan V, Rahman Q. Human health implications of nanomaterial exposure. *Nanotoxicology.* 2018;2(1):9–27. doi: 10.1080/17435390701847935
5. Virji MA, Stefaniak AB. A review of engineered nanomaterial manufacturing processes and associated exposures. In: Bassim N, ed. *Comprehensive Materials Processing.* Atlanta, GA: Elsevier Ltd; 2014:103–125.
6. Oberdörster G, Stone V, Donaldson K. Toxicology of nanoparticles: A historical perspective. *Nanotoxicology.* 2007;1(1):2–25. doi: 10.1080/17435390701314761

7. Ryman-Rasmussen JP, Riviere JE, Monteiro-Riviere NA. Penetration of intact skin by quantum dots with diverse physicochemical properties. *Toxicol Sci.* 2006;91(1):159-165. doi: 10.1093/toxsci/kfj122

8. Dunn KH, Topmiller JL, McCleery T, Whalen J. *Protecting Workers during Nanomaterial Reactor Operations.* DHHS (NIOSH) Publication No. 2018-120. doi: 10.26616/NIOSH PUB2018120

9. Tyshenko MG, Krewski D. A risk management framework for the regulation of nanomaterials. *Int J Nanotechnol.* 2008;5(1):143-160. doi: 10.1504/IJNT.2008.016553

10. *Working Party on Manufactured Nanomaterials. Current Developments/Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials/Nanotechnologies: Tour de Table at the 4th Meeting of the WPMN, Paris, France, June 11-13, 2008.* Accessed January 21, 2022. <https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono%282008%2929&doclanguage=en>

11. Substances chimiques: redevances réduites pour les PME. REACH. 2010. Accessed December 20, 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_10_594

12. Government of Canada New Substances Notification Regulations (Chemicals and Polymers), SOR/2005-247. Accessed December 20, 2021. <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/Regulations/SOR-2005-247/FullText.html>

13. Conti JA, Killpack K, Gerritzen G, et al. Health and safety practices in the nanomaterials workplace: results from an international survey. *Environ Sci Technol.* 2008;42(9):3155-62. doi: 10.1021/es702158q

14. Schulte P, Geraci C, Zumwalde R, Hoover M, Kuempel E. Occupational risk management of engineered nanoparticles. *J Occup Environ Hyg.* 2008;5(4):239-249. doi: 10.1080/15459620801907840

15. Golanski L, Guillot A, Tardif F. Safe Production and Use of Nanomaterials. Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Cartridge for Respirators, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols? Nano-Safe: European Strategy for Nanosafety. Dissemination Report DR-325/326-200801-1, Jan 2008. Accessed May 30, 2022. https://nanopinion.archiv.zsi.at/sites/default/files/dr1_s.pdf.

16. Bollinger N. NIOSH Respirator Selection Logic. DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-100. Cincinnati, OH; 2004. Accessed December 20, 2021. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/pdfs/2005-100.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB2005100>

17. NIOSH Respiratory Protective Devices, 42 CFR Part 84, 2009. Accessed January 17, 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/pt84abs2.html>

18. Distrimed Masques de filtration FFP2 et FFP3, 2007. Accessed January 17, 2022. http://www.distrimed.com/acatalog/fp_gm_masques_ffp2_ffp3.html

19. Kim SC, Harrington MS, Pui DYH. Experimental study of nanoparticles penetration through commercial filter media *J Nanopart Res.* 2007;9(1):117-125. doi: 10.1007/s11051-006-9176-4

20. Rengasamy S, Eimer BC. Nanoparticle penetration through filter media and leakage through face seal interface of N95 filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg.* 2012;56(5):568-580. doi: 10.1093/annhyg/mer122

21. Rengasamy S, King WP, Eimer BC, Shaffer RE. Filtration performance of NIOSH-approved N95 and P100 filtering facepiece respirators against 4 to 30 nanometer-size nanoparticles. *J Occup Environ Hyg.* 2008;5(9):556-564. doi: 10.1080/15459620802275387

22. *NIOSH Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials.* DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-125. Accessed January 12, 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf>

23. Yun KM, Hogan JR CJ, Matsubayashi Y, Kawabe M, Iskandar F, Okuyama K. Nanoparticle filtration by electrospun polymer fibers. *Chem Eng Sci.* 2007;62(17):4751-4759. doi: 10.1016/j.ces.2007.06.007

24. Jung SJ, Mehta JS, Tong L. Effects of environment pollution on the ocular surface. *Ocul Surf.* 2018;16(2):198-205. doi: 10.1016/j.jtos.2018.03.001

25. Dolez PI, Bodila N, Lara J, Truchon G. Personal protective equipment against nanoparticles. *Int J Nanotechnol.* 2010;7(1):99-117. doi: 10.1504/IJNT.2010.029550

26. NIOSH. *Workplace Design Solutions: Protecting Workers during the Handling of Nanomaterials.* Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2018-121. Accessed January 12, 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-121/default.html>

27. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *2016 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. Accessed January 12, 2022. <https://www.acgih.org/forms/store/ProductFormPublic/2016-tlvs-and-beis>

28. Tsang MP, Kikuchi-Uehara E, Sonnemann GW, Aymonier C, Hirao M. Evaluating nanotechnology opportunities and risks through integration of life-cycle and risk assessment. *Nat Nanotechnol.* 2017;12(8):734-739. doi: 10.1038/nnano.2017.132

29. Pietroistu A, Stockmann-Juvala H, Lucaroni F, Savolainen K. Nanomaterial exposure, toxicity, and impact on human health. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol.* 2018;10(5):e1513. doi: 10.1002/wnan.1513

30. Podgórska A, Bałazy A, Trzeciak TM. Modelling the deposition of fractal-like aggregates. *J Aerosol Sci.* 2004;35(Suppl 1):203-250. doi: 10.1016/j.jaerosci.2004.06.065

31. Shvedova AA, Kisin ER, Mercer R, et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2005;289(5):L698-L708. doi: 10.1152/ajplung.00084.2005

32. Bello D, Wardle BL, Yamamoto N, et al. Exposure to nanoscale particles and fibers during machining of hybrid advanced composites containing carbon nanotubes. *J Nanoparticle Res.* 2009;11(1):231-249. doi: 10.1007/s11051-008-9499-4

33. Vinches L, Testori N, Dolez P, Perron G, Wilkinson KJ, Hallé S. Experimental evaluation of the penetration of TiO₂ nanoparticles through protective clothing and gloves under conditions simulating occupational use. *Nanoscience Methods.* 2013;2(1):1-15, doi: 10.1080/21642311.2013.771840.

34. Bennat C, Müller-Goymann CC. Skin penetration and stabilization of formulations containing microfine titanium dioxide as physical UV filter. *Int J Cosmet Sci.* 2000;22(4):271-283. doi: 10.1046/j.1467-2494.2000.00009.x

35. Via R, Ostiguy C, Bennie J, et al. *Canadian Standards Association (CSA) Z12885-12: Nanotechnologies – Exposure Control Program for Engineered Nanomaterials in Occupational Settings.* CSA; 2012.

36. Rivero PJ, Urrutia A, Goicoechea J, Arregui FJ. Nanomaterials for functional textiles and fibers. *Nanoscale Res Lett.* 2015;10(1):501. doi: 10.1186/s11671-015-1195-6

37. Zhu S, Gong L, Li Y, Xu H, Gu Z, Zhao Y. Safety assessment of nanomaterials to eyes: An important but neglected issue. *Adv Sci (Weinh).* 2019;6(16):1802289. doi: 10.1002/advs.201802289

38. Abulikemu M, Tabrizi BEA, Ghobadloo SM, Mofarah HM, Jabbour GE. Silver nanoparticle-decorated personal protective equipment for inhibiting human coronavirus infectivity. *ACS Appl Nano Mater.* 2022;5(1):309-317. doi: 10.1021/acsnano.1c03033

39. Dolez PI, Bodila N, Lara J, Truchon G. Personal protective equipment against nanoparticles. *Int J Nanotechnol.* 2010;7(1):99-117. doi: 10.1504/IJNT.2010.029550

40. EU-OSHA. *E-fact 72: Tools for the Management of Nanomaterials in the Workplace and Prevention Measures.* June 19, 2013. Accessed January 12, 2022. <https://osha.europa.eu/en/publications/e-fact-72-tools-management-nanomaterials-workplace-and-prevention-measures>

References

1. Riviere JE. Pharmacokinetics of nanomaterials: an overview of carbon nanotubes, fullerenes and quantum dots. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol*. 2009;1(1):26-34. doi: 10.1002/wnan.24
 2. Wohlfart S, Gelperina S, Kreuter J. Transport of drugs across the blood-brain barrier by nanoparticles. *J Control Release*. 2012;161(2):264-273. doi: 10.1016/j.jconrel.2011.08.017
 3. Buzea C, Pacheco II, Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*. 2007;2(4):MR17-71. doi: 10.1111/j.12815690
 4. Papp T, Schiffmann D, Weiss D, Castranova V, Valliyathan V, Rahman Q. Human health implications of

- nanomaterial exposure. *Nanotoxicology*. 2018;2(1):9-27. doi: 10.1080/17435390701847935
- Virji MA, Stefaniak AB. A review of engineered nanomaterial manufacturing processes and associated exposures. In: Bassim N, ed. *Comprehensive Materials Processing*. Atlanta, GA: Elsevier Ltd; 2014:103–125.
 - Oberdörster G, Stone V, Donaldson K. Toxicology of nanoparticles: A historical perspective. *Nanotoxicology*. 2007;1(1):2–25. doi: 10.1080/17435390701314761
 - Ryman-Rasmussen JP, Riviere JE, Monteiro-Riviere NA. Penetration of intact skin by quantum dots with diverse physicochemical properties. *Toxicol Sci*. 2006;91(1):159–165. doi: 10.1093/toxsci/kfj122
 - Dunn KH, Topmiller JL, McCleery T, Whalen J. *Protecting Workers during Nanomaterial Reactor Operations*. DHHS (NIOSH) Publication No. 2018-120. doi: 10.26616/NIOSHPUB2018120
 - Tyshenko MG, Krewski D. A risk management framework for the regulation of nanomaterials. *Int J Nanotechnol*. 2008;5(1):143–160. doi: 10.1504/IJNT.2008.016553
 - Working Party on Manufactured Nanomaterials. *Current Developments/Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials/Nanotechnologies: Tour de Table at the 4th Meeting of the WPMN, Paris, France, June 11–13, 2008*. Accessed January 21, 2022. <https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono%282008%2929&doclanguage=en>
 - Substances chimiques: redevances réduites pour les PME. REACH. 2010. Accessed December 20, 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_10_594
 - Government of Canada New Substances Notification Regulations (Chemicals and Polymers), SOR/2005-247. Accessed December 20, 2021. <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/Regulations/SOR-2005-247/FullText.html>
 - Conti JA, Killpack K, Gerritzen G, et al. Health and safety practices in the nanomaterials workplace: results from an international survey. *Environ Sci Technol*. 2008;42(9):3155–62. doi: 10.1021/es702158q
 - Schulte P, Geraci C, Zumwalde R, Hoover M, Kuempel E. Occupational risk management of engineered nanoparticles. *J Occup Environ Hyg*. 2008;5(4):239–249. doi: 10.1080/15459620801907840
 - Golanski L, Guillot A, Tardif F. Safe Production and Use of Nanomaterials. Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Cartridge for Respirators, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols? NanoSafe: European Strategy for Nanosafety. Dissemination Report DR-325/326-200801-1, Jan 2008. Accessed May 30, 2022. https://nanopinion.archiv.zsi.at/sites/default/files/dr1_s.pdf
 - Bollinger N. NIOSH Respirator Selection Logic. DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-100. Cincinnati, OH; 2004. Accessed December 20, 2021. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/pdfs/2005-100.pdf?id=10.26616/NIOSHPUB2005100>
 - NIOSH Respiratory Protective Devices, 42 CFR Part 84, 2009. Accessed January 17, 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/nptl/topics/respirators/pt84abs2.html>
 - Distrimed Masques de filtration FFP2 et FFP3, 2007. Accessed January 17, 2022. http://www.distrimed.com/acatalog/fp_gm_masques_ffp2_ffp3.html
 - Kim SC, Harrington MS, Pui DYH. Experimental study of nanoparticles penetration through commercial filter media. *J Nanopart Res*. 2007;9(1):117–125. doi: 10.1007/s11051-006-9176-4
 - Rengasamy S, Eimer BC. Nanoparticle penetration through filter media and leakage through face seal interface of N95 filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg*. 2012;56(5):568–580. doi: 10.1093/annhyg/mer122
 - Rengasamy S, King WP, Eimer BC, Shaffer RE. Filtration performance of NIOSH-approved N95 and P100 filtering facepiece respirators against 4 to 30 nanometer-size nanoparticles. *J Occup Environ Hyg*. 2008;5(9):556–564. doi: 10.1080/15459620802275387
 - NIOSH Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-125. Accessed January 12, 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf>
 - Yun KM, Hogan Jr CJ, Matsubayashi Y, Kawabe M, Iskandar F, Okuyama K. Nanoparticle filtration by electrospun polymer fibers. *Chem Eng Sci*. 2007;62(17):4751–4759. doi: 10.1016/j.ces.2007.06.007
 - Jung SJ, Mehta JS, Tong L. Effects of environment pollution on the ocular surface. *Ocul Surf*. 2018;16(2):198–205. doi: 10.1016/j.jtos.2018.03.001
 - Dolez PI, Bodila N, Lara J, Truchon G. Personal protective equipment against nanoparticles. *Int J Nanotechnol*. 2010;7(1):99–117. doi: 10.1504/IJNT.2010.029550
 - NIOSH. *Workplace Design Solutions: Protecting Workers during the Handling of Nanomaterials*. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2018-121. Accessed January 12, 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-121/default.html>
 - American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *2016 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. Accessed January 12, 2022. <https://www.acgih.org/forms/store/ProductFormPublic/2016-tlvs-and-beis>
 - Tsang MP, Kikuchi-Uehara E, Sonnemann GW, Aymonier C, Hirao M. Evaluating nanotechnology opportunities and risks through integration of life-cycle and risk assessment. *Nat Nanotechnol*. 2017;12(8):734–739. doi: 10.1038/nnano.2017.132
 - Pietrojasti A, Stockmann-Juvala H, Lucaroni F, Savolainen K. Nanomaterial exposure, toxicity, and impact on human health. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol*. 2018;10(5):e1513. doi: 10.1002/wnan.1513
 - Podgórski A, Balazy A, Trzeciak TM. Modelling the deposition of fractal-like aggregates. *J Aerosol Sci*. 2004;35(Suppl 1):203–250. doi: 10.1016/j.jaerosci.2004.06.065
 - Shvedova AA, Kisin ER, Mercer R, et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2005;289(5):L698–L708. doi: 10.1152/ajplung.00084.2005
 - Bello D, Wardle BL, Yamamoto N, et al. Exposure to nanoscale particles and fibers during machining of hybrid advanced composites containing carbon nanotubes. *J Nanoparticle Res*. 2009;11(1):231–249. doi: 10.1007/s11051-008-9499-4
 - Vinches L, Testori N, Dolez P, Perron G, Wilkinson KJ, Hallé S. Experimental evaluation of the penetration of TiO₂ nanoparticles through protective clothing and gloves under conditions simulating occupational use. *Nanosci Methods*. 2013;2(1):1–15. doi: 10.1080/21642311.2013.771840
 - Bennat C, Müller-Goymann CC. Skin penetration and stabilization of formulations containing microfine titanium dioxide as physical UV filter. *Int J Cosmet Sci*. 2000;22(4):271–283. doi: 10.1046/j.1467-2494.2000.00009.x
 - Via R, Ostiguy C, Bennie J, et al. *Canadian Standards Association (CSA) Z12885-12: Nanotechnologies – Exposure Control Program for Engineered Nanomaterials in Occupational Settings*. CSA; 2012.
 - Rivero PJ, Urrutia A, Goicoechea J, Arregui FJ. Nanomaterials for functional textiles and fibers. *Nanoscale Res Lett*. 2015;10(1):501. doi: 10.1186/s11671-015-1195-6
 - Zhu S, Gong L, Li Y, Xu H, Gu Z, Zhao Y. Safety assessment of nanomaterials to eyes: An important but neglected issue. *Adv Sci (Weinh)*. 2019;6(16):1802289. doi: 10.1002/advs.201802289
 - Abulikemu M, Tabrizi BEA, Ghobadloo SM, Mofarah HM, Jabbour GE. Silver nanoparticle-decorated personal protective equipment for inhibiting human coronavirus infectivity. *ACS Appl Nano Mater*. 2022;5(1):309–317. doi: 10.1021/acsnano.1c03033
 - Dolez PI, Bodila N, Lara J, Truchon G. Personal protective equipment against nanoparticles. *Int J Nanotechnol*. 2010;7(1):99–117. doi: 10.1504/IJNT.2010.029550
 - EU-OSHA. *E-fact 72: Tools for the Management of Nanomaterials in the Workplace and Prevention Measures*. June 19, 2013. Accessed January 12, 2022. <https://osha.europa.eu/en/publications/e-fact-72-tools-management-nanomaterials-workplace-and-prevention-measures>



К 70-летию со дня рождения Савельева Станислава Ивановича

Станислав Иванович Савельев родился в селе Теплое Лебедянского района Липецкой области 9 мая 1952 года.

После завершения обучения на санитарно-гигиеническом факультете Рязанского медицинского института им. акад. И.П. Павлова с 1976 года работал в Данковской районной санэпидстанции сначала врачом по гигиене труда, заведующим санитарным отделом, затем – Главным государственным санитарным врачом Данковского района. С 1989 по 2013 г. – Главный государственный санитарный врач Липецкой области. С 31 августа 2013 года – Главный врач ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Липецкой области».

В 1985–1986 гг. являлся депутатом Данковского городского, а в 1990–1993 гг. – Липецкого областного Советов народных депутатов.

Кадровая политика, реализуемая Станиславом Ивановичем на протяжении всей его трудовой деятельности, позволила сформировать команду единомышленников – инициативных, компетентных и ориентированных на результат специалистов. Большая часть сотрудников имеют квалификационные категории, 10 человек – учченую степень. Укомплектованность коллектива на протяжении ряда лет составляет порядка 97 %.

Под руководством Станислава Ивановича осуществляется системный подход к решению вопросов по совершенствованию лабораторного контроля и экспертной деятельности служб учреждения. Внедрена система мониторинга реализации государственного задания, разработаны критерии оценки результативности и индивидуального вклада каждого специалиста на основе анализа фактических производственных показателей, что позволило сформировать подходы к планированию госработ, обеспечить контроль эффективности использования бюджетных средств. Проводимая С.И. Савельевым целенаправленная работа по укреплению материально-технической базы учреждений госсанэпидслужбы области, дооснащению их уникальным лабораторным оборудованием, внедрению высокоточных методов исследований обеспечила устойчивую положительную динамику расширения номенклатуры современных методов химического и бактериологического анализа.

Высокая работоспособность, накопленный опыт и глубокие теоретические знания в вопросах гигиены и эпидемиологии, активная гражданская позиция, самоотдача и умение сконцентрироваться на главном позволили Станиславу Ивановичу успешно сочетать практическую деятельность с активной научной работой. В 1995 году он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Комплексная эколого-гигиеническая оценка здоровья населения промышленно развитого региона», а в 1998 году – докторскую диссертацию «Научные основы гигиенической оценки и прогноза состояния здоровья населения в зависимости от региональных особенностей среды обитания», в которых были применены принципиально новые подходы к анализу и оценке санитарно-эпидемиологической ситуации, основанные на комплексном исследовании влияния факторов среды обитания на здоровье населения с учетом выстроенной системы ранжирования и картографирования территорий.

Савельев С.И. – доктор медицинских наук, профессор, член правления Общества гигиенистов и санитарных врачей России, академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Под руководством Станислава Ивановича защищено 18 кандидатских диссертаций. По инициативе Станислава Ивановича в 1999 году образован центр последипломной профессиональной переподготовки специалистов госсанэпидслужбы на базе возглавляемого им учреждения госсанэпиднадзора в Липецкой области с созданием в 2000 году там же кафедры гигиены и эпидемиологии с основами лабораторного дела во взаимодействии с ФПК Санкт-Петербургской государственной медицинской академии



им. И.И. Мечникова. В 2000–2017 гг., являясь заведующим кафедрой, он обеспечил реализацию образовательных программ для специалистов со средним и высшим образованием по медико-профилактическому направлению, что позволило осуществлять обучение слушателей как по основной (порядка 10 программ), так и по узкоспецифичной актуальной тематике с использованием передовых практических методов и высокотехнологичного лабораторного оборудования (более 25 программ). В 2005 г. на кафедре организована интернатура по специальностям «Общая гигиена» и «Эпидемиология». За 7 лет в интернатуре прошли обучение 85 врачей-интернов из Липецкой, Белгородской, Брянской, Орловской, Курской областей. В 2014–2015 гг. Станислав Иванович принимал активное участие в разработке профессионального стандарта «Специалист в области медико-профилактического дела» (зарегистрирован в Министерстве России 9 июля 2015 г. № 37941).

С.И. Савельев – автор 5 монографий, 3 учебных пособий, методических указаний и рекомендаций, 8 атласов по различным вопросам обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Липецкой области, а также более 440 статей, опубликованных в центральной печати, сборниках международных, всероссийских и региональных научно-практических конференций, всероссийских съездов гигиенистов и санитарных врачей, эпидемиологов и микробиологов. Под руководством Станислава Ивановича изданы атласы «Санитарно-эпидемиологическая обстановка в Липецкой области», «Электромагнитная и акустическая обстановка окружающей среды», «Аллергическая заболеваемость в Липецкой области».

Благодаря его усилиям в области проведено 8 межрегиональных научно-практических конференций при активной поддержке областной администрации с привлечением ученых Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, ведущих научных учреждений гигиенического и эпидемиологического профиля.

В течение многих лет Станислав Иванович является членом ученого совета Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, членом диссертационного совета Федерального научного центра гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, входит в состав редколлегий журналов «Гигиена и санитария», «Здравоохранение Российской Федерации», «Анализ риска здоровью». С 2006 года по инициативе и при непосредственном участии Станислава Ивановича издается журнал госсанэпидслужбы Липецкой области «Санитарно-эпидемиологический вестник».

В 1998 году Станиславу Ивановичу присвоено звание «Заслуженный врач Российской Федерации». За большой вклад в развитие государственной санитарно-эпидемиологической службы и обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения в 2002 году он награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, в 2013 году – нагрудными знаками «Отличник Госсанэпидслужбы» и «Почетный работник Роспотребнадзора». Его труд неоднократно отмечен грамотами администраций города Липецка и Липецкой области, городского и областного Советов депутатов. В 2021 году С.И. Савельев за большой вклад в организацию работы по предупреждению и предотвращению распространения новой коронавирусной инфекции награжден орденом Пирогова.

Станислава Ивановича отличают высочайший профессионализм, эрудиция, организаторский талант, исключительная доброжелательность и добросердечие.

От всей души поздравляем Станислава Ивановича с юбилеем! Искренне желаем крепкого здоровья, душевной гармонии, благополучия, неиссякаемых жизненных сил, энергии и оптимизма, востребованности его жизненного и профессионального опыта, неизменной поддержки родных и друзей.

С глубочайшим уважением и признательностью, коллектива Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Липецкой области» и Управления Роспотребнадзора по Липецкой области»