

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ»

ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА
Сборник научных трудов

Выпуск 31

Минск
Издательский центр БГУ
2021

УДК 613/614(082)
ББК 51.2я43
3-46

Рекомендовано
Ученым советом республиканского унитарного предприятия
«Научно-практический центр гигиены»
(протокол № 13 от 15 декабря 2021 г.)

Главный редактор — кандидат медицинских наук, доцент *С.И. Сычик*;
заместитель главного редактора — доктор медицинских наук, доцент *Г.Е. Косяченко*;
ответственный редактор — кандидат медицинских наук *С.Л. Итпаева-Людчик*;
технический редактор — *Т.И. Вершило*

Редакционная коллегия:

С. И. Сычик, к.м.н., доцент; Г. Е. Косяченко, д.м.н., доцент; С. Л. Итпаева-Людчик, к.м.н.;
Н. В. Дудчик, д.б.н., доцент; А. Н. Стожаров, д.б.н., профессор; В. В. Шевляков, д.м.н., профессор;
Е. Л. Гасич, д.б.н., доцент; Р. В. Богданов, к.м.н.; А. М. Бондарук, к.м.н.; В. М. Василькевич, к.м.н.;
Е. О. Гузик, к.м.н., доцент; Е. В. Дроздова, к.м.н., доцент; В. А. Зайцев, к.м.н., доцент;
А. В. Зеленко, к.м.н.; О. М. Жукова, к. техн.н.; И. И. Ильюкова, к.м.н.; А. А. Кузвкова, к.б.н.;
Е. В. Николаенко, к.м.н.; С. Ю. Петрова, к.м.н.; Е. И. Полянских, к.х.н.; Т. Н. Пронина, к.м.н.;
И. А. Просвирякова, к.м.н.; Н. Н. Табелева, к.м.н.; Е. В. Федоренко, к.м.н., доцент;
Н. В. Цемборевич, к.м.н.; В. Г. Цыганков, к.м.н., доцент; В. А. Филонюк, к.м.н., доцент

Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / редкол. : С.И. Сычик (гл. ред.) [и др.]. — Минск :
3-46 Изд. центр БГУ, 2021. — 223 с.: ил.
ISBN 978-985-553-746-6.

Сборник научных трудов «Здоровье и окружающая среда» включает результаты научных исследований сотрудников республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены», аспирантов, соискателей, докторантов, профессорско-преподавательского состава учреждений образования медицинского и биологического профиля, учреждений последиplomного образования Республики Беларусь, Латвии.

В сборнике освещены актуальные проблемы современной гигиены, токсикологии и профилактической медицины по гигиенической оценке воздействия новых и малоизученных факторов среды обитания различной природы, их комбинированного и сочетанного воздействия на здоровье населения, применению методологии анализа рисков здоровью, гигиеническим аспектам здоровьесбережения учащихся, условиям труда и состоянию здоровья работающих, токсикологической оценке химических веществ и их смесей, изучению статуса питания различных возрастных и профессиональных групп населения, радиационной безопасности, мерам профилактики и коррекции нарушений здоровья.

Издание рассчитано на врачей-гигиенистов, врачей-токсикологов, врачей-профпатологов, научных сотрудников учреждений медико-биологического профиля, профессорско-преподавательского состава, аспирантов, докторантов, студентов высших учебных заведений и учреждений последиplomного образования взрослых и других специалистов.

Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по медицинским и биологическим наукам.

Сборник включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

УДК 613/614(082)
ББК 51.2я43

Раздел I

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ГИГИЕНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК [615.9+612.014.46]:546.43

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ХРОНИЧЕСКОЙ ГЕНТАМИЦИНОВОЙ НЕФРОПАТИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ БАРИЯ И ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ)

Дроздова Е. В., Грынчак В. А., Рябцева С. Н.¹

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь,*

*¹Государственное научное учреждение «Институт физиологии НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Целью работы являлись научное обоснование и разработка экспериментальной модели гентамициновой нефропатии для оценки рисков здоровью при воздействии химических веществ на чувствительные группы населения. После внутрибрюшинного введения гентамицина в течение 10 дней в дозе 70 мг/кг/день белым крысам о развитии модельной патологии свидетельствуют морфофункциональные нарушения мочевыделительной и гепатобилиарной систем. Токсическое действие бария при воздействии на лабораторных животных в концентрации 70 мг/л проявлялось развитием лейкоцитоза, нарушением белкового обмена, артериальной гипертензией, морфологическими изменениями сердца, а также признаками гепатита, гастрита, пиелита, дистрофией эпителия проксимальных канальцев почек. Экспозиция растворами с минерализацией 10 000 мг/л способствовала нарушению минерального и белкового обмена, развитию слабовыраженных признаков повреждения почек, сердца и печени. Воздействие растворов на животных с нефропатией усиливало их токсическое действие, что указывает на применимость разработанной модели при обосновании гигиенических нормативов и проведении оценки рисков при воздействии химических веществ. Концентрации 1,3 мг/л бария и 1500 мг/л минерализации могут быть приняты в качестве недействующих.

Ключевые слова: гентамицин, нефропатия, барий, минерализация, оценка рисков, экспериментальные модели патологии.

Введение. Для Республики Беларусь характерны глобальные тенденции в состоянии здоровья населения: как и большинство развитых стран мира, она вошла в XXI в. с грузом проблем в общественном здоровье, ведущей из которых является избыточность неинфекционной хронической заболеваемости — основная причина экономических потерь в связи с возникающей нетрудоспособностью, затратами на медицинское обслуживание и смертностью населения. На долю неинфекционных хронических заболеваний приходится 86 % смертности и 77 % бремени в общей заболеваемости.

Согласно литературным данным, изменчивость для человека с учетом различий в метаболизме ксенобиотиков может быть учтена введением фактора неопределенности 10 [1], при этом данный фактор гарантирует учет вариабельности популяции на 80–95 %. Было отмечено, что некоторые подгруппы населения не были включены в анализ (не отображено влияние генетического полиморфизма, возраста и т. д.), к тому же анализ не учитывал большую группу потенциально уязвимых людей, чувствительность которых гораздо выше по сравнению со «средним здоровым взрослым» [2–4]. Так, при обосновании фактора неопределенности не было отражено, что организм может быть более чувствительным к действию определенного химического соединения, например, вследствие патологий в работе органа или системы органов [5]. То есть при учете всех указанных показателей установленное значение фактора неопределенности 10 в состоянии «защитить» только 60 % населения, при этом группа лиц с хроническими заболеваниями не учитывается вовсе [6–8].

Актуальной проблемой остается тот факт, что полученные результаты не всегда можно экстраполировать на человека, так как исследования проводят обычно на здоровых животных, в то время как человек может получать потенциально нефротоксичные препараты, используемые для лечения имеющихся у него заболеваний, которые могут существенно изменять как прямую, так и косвенную реакцию организма на химическое воздействие [9–12].

Экспериментальные модели патологии достаточно давно используются для оценки фармакологических свойств лекарственных препаратов [13–15], для исследования влияния некоторых видов пищевых продуктов на развитие патологии [16–18].

Таким образом, неучтенность груза заболеваний в популяции, с одной стороны, снижает надежность оценок риска здоровью и гигиенических нормативов химических веществ. В то время как введение слишком высоких коэффициентов запаса, с другой стороны, приводит к высокой неопределенности при разработке гигиенических нормативов.

Принимая во внимание вышеизложенное, разработка новых методологических подходов и экспериментальных моделей патологии, учитывающих данные о механизмах действия и основных органах-мишенях для оценки рисков воздействия химических веществ на здоровье чувствительных групп населения, представляется актуальной задачей.

Цель работы — научно обосновать и разработать экспериментальную модель гентамициновой нефропатии для оценки рисков здоровью при воздействии химических веществ на чувствительные группы населения на примере растворов с различными уровнями бария и минерализации в хроническом эксперименте.

Материалы и методы. Исследования для обоснования экспериментальной модели гентамициновой нефропатии в рамках настоящей работы проводили на примере растворов с различными уровнями бария и минерализации в хроническом эксперименте. Критериями выбора данных модельных веществ были: 1) повсеместное их присутствие в питьевой воде на территории республики вследствие природных особенностей формирования подземных водоносных горизонтов; 2) почки (выделительная система) являются органом-мишенью для используемых веществ, биологическое действие которых доказано в многочисленных экспериментах и учитывалось при установлении международных и национальных гигиенических нормативов; 3) неинфекционная патология органа-мишени широко распространена в популяции.

Для разработки модели патологии — нефропатии предварительно внутрибрюшинно вводили гентамицин в течение 10 дней в дозе 70 мг/кг/день лабораторным животным, которые были сформированы в 5 групп по 10 крыс в каждой. После развития нефропатии одна группа получала дистиллированную воду, а остальные — растворы бария в концентрациях 1,3 и 70 мг/л и минерализацией 1500 и 10 000 мг/л в режиме свободного выпаивания.

Для оценки воздействия и обоснования модели сформировали 5 групп по 10 самцов белых крыс в каждой. Контрольная группа получала дистиллированную воду в свободном питьевом режиме в неограниченном количестве. Остальные четыре группы — растворы бария в концентрациях 1,3 и 70 мг/л, минерализацией 1500 и 10 000 мг/л. Концентрации тестируемых модельных веществ выбраны на основе анализа гигиенических нормативов и токсикометрических параметров, положенных в основу нормирования изучаемых веществ на национальном и международном уровнях (концентрации, потенциально оказывающие и не оказывающие биологического действия на организм лабораторных животных).

В исследовании использовали самцов рандомбредных белых крыс, поставленных виварием государственного предприятия «НПЦГ», после двухнедельного карантинного содержания. Для экспериментов были выбраны активные животные, хорошо поедающие корм, с гладким и блестящим шерстным покровом, нормальной окраской видимых слизистых оболочек, которых содержали на стандартном рационе вивария.

Исследуемые концентрации бария (Ba) готовили путем разведения порошка 2-водного бария хлорида производства ЗАО «ВЕКТОН», Россия (ГОСТ 4108–72) с дистиллированной водой в необходимых пропорциях. В соответствии с коэффициентами разведения с водой смешивали минеральную добавку «Северянка» (ООО «Эко-Проект», Россия) для получения нужных концентраций минерализации (М) воды.

На протяжении всего 6-месячного хронического эксперимента каждую неделю животных взвешивали и ежедневно оценивали уровень водопотребления, клинические проявления интоксикации и гибель.

Для определения развития гипертензии у крыс до начала и по окончании эксперимента измеряли систолическое (далее — АДс) и диастолическое артериальное давление (далее — АДд), частоту

сердечных сокращений (далее — ЧСС) с помощью системы неинвазивного измерения кровяного давления грызунов «Систола» и платформы «Флогистон» производства ООО «Нейроботикс», Россия.

При аутопсии после одномоментной декапитации белых крыс определяли относительные коэффициенты массы (далее — ОКМ) внутренних органов. Для изучения морфофункционального состояния организма экспериментальных животных оценивали:

— биохимические показатели сыворотки крови (мочевина, лактатдегидрогеназа (далее — ЛДГ), холестерин, гамма-глутамилтранспептидаза (далее — ГГТ), аспартатаминотрансфераза (далее — АСТ), аланинаминотрансфераза (далее — АЛТ), альбумин, креатинин, общий билирубин и белок, α -амилаза, глюкоза, мочевая кислота, липопротеины низкой (далее — ЛПНП) и высокой плотности, фосфор, железо и магний) и показатели мочевыделительной системы с помощью автоматического биохимического анализатора Ascent 200, Польша;

— морфофункциональный состав периферической крови методом проточной цитометрии с использованием гематологического анализатора Mythic18, Швейцария;

— морфологическое строение внутренних органов лабораторных животных с применением общепринятых методов.

Обращение с лабораторными животными соответствовало этическим принципам надлежащей лабораторной практики [19] и международным требованиям [20].

Полученные в опытах данные подвергали статистической обработке параметрического («t» критерий Стьюдента) анализа с использованием компьютерных программ STATISTICA 10, MS Excel и представляли в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (P_{25} – P_{75}). Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез был принят $p < 0,05$.

Исследование выполнено в рамках гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № М20–071.

Результаты и их обсуждение. О развитии модельной патологии — хронической нефропатии свидетельствуют функциональные изменения у контрольных лабораторных животных в виде снижения концентрации в крови фосфора в 13,5 % ($p < 0,001$), ЛПНП в 1,9 раза ($p < 0,001$), общего белка на 16,9 % ($p < 0,01$), альбумина на 18,1 % ($p < 0,003$), мочевины в 2,3 раза ($p < 0,001$), а также статистически значимого увеличения мочевой кислоты на 29,8 % ($p < 0,04$), креатинина на 25,4 % ($p < 0,001$), глюкозы на 22,9 % ($p < 0,001$), АСТ и АЛТ на 13,6 % ($p < 0,001$) и 43,9 % ($p < 0,007$) соответственно относительно контрольных белых крыс, не получавших гентамицин. Со стороны функционального состояния мочевыделительной системы лабораторных животных на развитие хронической гентамициновой нефропатии указывают снижение суточного диуреза на 19,1 % ($p < 0,004$), разнонаправленные сдвиги белкового и минерального обмена в виде повышенной экскреции общего белка в 1,2 раза ($p < 0,008$), снижение концентрации фосфора в 2,3 раза, магния в 2,6 раза, мочевины и креатинина в 1,4 и 1,3 раза в моче соответственно при $p < 0,001$ по сравнению с контрольными белыми крысами. При сравнении лейкоцитарных формул контрольных лабораторных животных, получавших гентамицин, с контрольными белыми крысами выявлен лейкоцитоз, который проявлялся повышением лейкоцитов на 12,1 % ($p < 0,01$), нейтрофилов на 20,0 % ($p < 0,01$), моноцитов в 2,2 раза ($p < 0,001$), эозинофилов на 29,3 % ($p < 0,004$) и базофилов в 1,4 раза ($p < 0,001$). Анализ ОКМ внутренних органов через 6 месяцев после введения гентамицина показал увеличение массы печени на 5,3 % ($p < 0,02$) и желудка на 16,4 % ($p < 0,001$), снижение ОКМ почек на 6,8 % ($p < 0,03$); также установлены слабовыраженная дистрофия печени и почек, признаки пиелита на фоне поражения клубочков и признаки гепатита, без патологических изменений в сердце и желудке.

На протяжении хронического эксперимента у белых крыс не наблюдалось существенных изменений в общем состоянии. Объем водопотребления всех экспериментальных групп оставался на уровне контрольных значений. При пересчете на массу тела ежедневная доза для лабораторных животных, получавших растворы бария в концентрациях 1,3 и 70 мг/л, составила 0,05 и 2,7 мг/кг соответственно (таблица 1).

Таблица 1. — Доза и водопотребление белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, Me (P_{25} – P_{75})

Группы сравнения		Показатели, единицы измерения	
животные	уровень воздействия, мг/л	водопотребление, мл	доза, мг/кг в день
Белые крысы	Контроль	84,6 (71,4–97,8)	—
	Ва 1,3	84,8 (71,6–98,0)	0,0500 (0,0496–0,0504)
	Ва 70	84,7 (71,5–97,9)	2,7020 (2,6770–2,7227)

Группы сравнения		Показатели, единицы измерения	
животные	уровень воздействия, мг/л	водопотребление, мл	доза, мг/кг в день
Белые крысы	М 1500	84,6 (71,4–97,8)	—
	М 10 000	85,0 (71,8–98,2)	—
Белые крысы с нефропатией	Контроль	85,2 (71,9–98,3)	—
	Ва 1,3	85,0 (71,7–98,0)	0,0501 (0,0483–0,0508)
	Ва 70	85,3 (72,0–98,3)	2,7090 (2,5666–2,7480)
	М 1500	91,6 (72,8–103,5)	—
	М 10 000	84,5 (78,1–97,1)	—

При изучении функциональных показателей лабораторных животных установлены статистически значимые нарушения ряда систем и органов. Результаты измерений артериального давления показали, что поступление бария в концентрации 70 мг/л в организм белых крыс способствует повышению АДс на 5,5 % ($p < 0,003$) и АДд — 9,4 % ($p < 0,009$), а также на 9,7 % ($p < 0,001$) и 9,3 % ($p < 0,005$) у белых крыс с нефропатией соответственно. В то же время ЧСС во всех опытных группах оставалась без изменений (таблица 2).

Таблица 2. — Артериальное давление и ЧСС белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов бария в хроническом эксперименте, Ме (P_{25} – P_{75})

Группы сравнения		Показатели, единицы измерения		
животные	уровень воздействия, мг/л	АДс, мм рт. ст.	АДд, мм рт. ст.	ЧСС, уд./мин
Белые крысы	Контроль	127 (119–130)	106 (100–108)	412 (406–423)
	Ва 1,3	125 (120–130)	105 (100–108)	414 (408–421)
	Ва 70	134 (130–140)*	116 (109–119)*	415 (408–420)
Белые крысы с нефропатией	Контроль	124 (120–129)	107 (105–109)	420 (417–423)
	Ва 1,3	123 (120–132)	107 (105–108)	424 (414–429)
	Ва 70	136 (131–142)**	117 (108–119)**	425 (418–428)

* статистически значимые различия с контролем белых крыс при $p < 0,009$;
** статистически значимые различия с контролем белых крыс с нефропатией при $p < 0,005$.

Хроническая экспозиция барием в концентрации 70 мг/л инициировала статистически значимое увеличение массы тела белых крыс и крыс с нефропатией на 2,8 и 6,1 % соответственно на фоне отсутствия изменений прироста массы тела остальных опытных групп по сравнению с контрольными (таблица 3).

Таблица 3. — Масса тела белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, Ме (P_{25} – P_{75})

Группы сравнения		Масса тела животных, кг ⁻¹	
животные	уровень воздействия, мг/л	исходная	6 месяцев
Белые крысы	Контроль	155 (148–160)	321 (300–318)
	Ва 1,3	151 (150–168)	307 (294–317)
	Ва 70	150 (150–162)	330 (324–335)*
	М 1500	150 (150–160)	301 (248–330)
	М 10 000	152 (144–158)	307 (286–330)
Белые крысы с нефропатией	Контроль	150 (144–162)	312 (305–318)
	Ва 1,3	150 (140–163)	321 (317–328)
	Ва 70	150 (143–152)	331 (312–340)**
	М 1500	151 (140–160)	325 (306–337)
	М 10 000	151 (148–154)	307 (288–330)

* статистически значимые различия с контролем белых крыс при $p < 0,02$;
** статистически значимые различия с контролем белых крыс с нефропатией при $p < 0,04$.

Экспозиция животных с почечной недостаточностью и без патологии почек барием в концентрации 70 мг/л способствовала развитию лейкоцитоза, который выражался в увеличении лейкоцитов и нейтрофилов на 19,9 и 32,0 % ($p < 0,003$) по сравнению с контролем на 14,6 и 16,7 % ($p < 0,01$) соответственно относительно контрольной группы с нефропатией. При получении животными 70 мг/л бария выявлена тромбоцитопения в виде снижения тромбоцитов на 10,9 % ($p < 0,006$), средней концентрации на 3,6 % ($p < 0,001$) и содержания на 7,2 % ($p < 0,001$) гемоглобина в эритроцитах, что определило понижение его в крови опытных крыс на 4,2 % ($p < 0,001$) по сравнению с контрольными животными с нефропатией. Также статистически значимо выявлен лейкоцитоз у крыс с нарушенной функцией почек, получавших растворы с минерализацией 10 000 мг/л (таблица 4).

Со стороны биохимических показателей крови при экспозиции барием в концентрации 70 мг/л лабораторных животных выявлено снижение содержания общего белка на 20,7 % ($p < 0,004$) и увеличение АСТ на 21,4 % ($p < 0,001$). Воздействие на белых крыс раствора с минерализацией 10 000 мг/л инициировало уменьшение концентрации мочевины в 2,7 раза ($p < 0,001$) по сравнению с контрольной группой.

Токсическое действие бария на животных с нефропатией проявлялось более выраженным снижением общего белка на 12,5 % ($p < 0,006$), АЛТ и глюкозы на 21,1 и 9,3 % соответственно, повышением концентрации креатинина на 5,0 % при $p < 0,001$. Изменения в сыворотке крови при экспозиции лабораторных животных с модельной патологией растворами с минерализацией 10 000 мг/л проявлялись нарушением минерального обмена в виде статистически значимого снижения содержания фосфора и магния на 19,7 и 12,5 % соответственно, а также мочевой кислоты в 2,2 раза по сравнению с контрольной группой белых крыс, получавших гентамицин (таблица 5).

Хроническое воздействие бария в концентрации 70 мг/л инициировало развитие признаков протеинурии, которые были более выражены при воздействии на животных с нефропатией, а также у крыс установлено снижение содержания в моче мочевины и креатинина в 1,3 и 1,2 раза ($p < 0,001$) соответственно.

При экспозиции белых крыс растворами с минерализацией 1500 мг/л изменения со стороны показателей функционального состояния почек отсутствовали. Растворы с минерализацией 10 000 мг/л способствовали развитию функциональных нарушений мочевыделительной системы в виде статистически значимого снижения в моче содержания фосфора и магния на 42,4 и 35,7 % соответственно и повышенной экскреции мочевины, которые усиливались у лабораторных животных с хронической нефропатией. Обращает внимание снижение выведения α -амилазы на 19,4 % ($p < 0,01$) с мочой по сравнению с контрольными белыми крысами с патологией почек (таблица 6).

Масса сердца статистически значимо увеличивалась при воздействии на белых крыс как с нефропатией, так и без патологии почек растворов с минерализацией 10 000 мг/л и бария в концентрации 70 мг/л. Также барий в концентрации 70 мг/л способствовал снижению ОКМ печени и желудка на 6,8 % ($p < 0,04$) и 21,2 % ($p < 0,001$) соответственно у животных с нефропатией, а минерализация 10 000 мг/л — снижению массы желудка на 20,0 % при $p < 0,001$ (таблица 7).

Указанные изменения относительных коэффициентов масс, а также функциональные нарушения внутренних органов опытных животных подтверждаются морфологическими исследованиями. Так, в условиях хронической экспозиции барием в концентрации 70 мг/л в органах белых крыс наблюдались очагово-диффузные слабовыраженные дистрофические изменения миокарда, признаки миокардита, очаговый хронический гепатит со слабовыраженной дистрофией гепатоцитов ($1/3$ части от периферии долек), пиелит и умеренно выраженные дистрофические и некробиотические изменения эпителия проксимальных канальцев почек, хронический слабовыраженный неактивный гастрит с атрофией. После воздействия растворов с минерализацией 10 000 мг/л в органах опытных животных отмечены признаки повреждения почек, сердца и печени (очагово-диффузные дистрофические изменения миокарда и миокардит, очаговый хронический гепатит с дистрофией гепатоцитов $2/3$ части периферии долек, пиелит и очаговые дистрофические изменения эпителия проксимальных канальцев почек, хронический слабовыраженный активный атрофически-гиперпластический гастрит).

При экспозиции барием в концентрации 1,3 мг/л в органах белых крыс, получавших гентамицин, выявлены слабовыраженные нарушения в виде дистрофии гепатоцитов и признаков гепатита, изменений в почках в сочетании с пиелитом. Токсическое действие на сердце и желудок не установлено. После воздействия бария в концентрации 70 мг/л выявлены: умеренно выраженная дистрофия гепатоцитов, гепатит, поражение сердечной мышцы с развитием миокардита и выраженные изменения в почках. В желудке наблюдался хронический активный гастрит с признаками гиперплазии и атрофии эпителия желез. Минерализация 1 500 мг/л в органах опытных животных с нефропатией

Таблица 4. — Морфофункциональные показатели крови белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, Ме ($P_{25}-P_{75}$)

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровень воздействия, мг/л									
	белые крысы					белые крысы с нефропатией				
	контроль	Ва 1,3	Ва 70	М 1500	М 10000	контроль	Ва 1,3	Ва 70	М 1500	М 10000
Лейкоциты, $\times 10^9$ кл/л	14,1 (13,2-14,5)	15,4 (15,1-16,2)	16,9 (16,5-18,5)*	14,0 (13,1-14,2)	14,0 (12,5-14,7)	15,8 (15,0-16,3)*	16,4 (15,4-16,6)	18,1 (17,8-18,4)**	15,7 (14,4-15,9)	17,3 (16,9-18,4)**
Нейтрофилы, $\times 10^9$ кл/л	2,5 (2,3-2,8)	2,8 (2,4-3,1)	3,3 (3,0-3,5)*	2,6 (1,9-3,3)	2,6 (1,9-3,1)	3,0 (2,8-3,1)*	2,9 (2,5-3,6)	3,5 (3,3-3,7)**	3,0 (2,6-3,2)	2,8 (2,1-3,2)
Лимфоциты, $\times 10^9$ кл/л	9,2 (9,0-9,6)	8,9 (8,3-9,4)	9,3 (8,4-9,8)	8,9 (8,4-9,3)	8,9 (8,7-10,6)	9,1 (8,9-9,5)	9,0 (8,6-9,4)	9,2 (9,0-9,7)	9,0 (7,9-9,7)	9,2 (8,2-9,6)
Моноциты, $\times 10^9$ кл/л	0,9 (0,9-1,1)	1,0 (0,8-1,1)	1,0 (0,8-1,1)	0,8 (0,6-1,1)	1,0 (0,9-1,1)	2,0 (2,0-2,1)*	1,9 (1,7-2,0)	2,0 (1,9-2,1)	1,9 (1,6-2,5)	2,1 (1,8-2,5)
Эозинофилы, $\times 10^9$ кл/л	0,82 (0,69-0,95)	0,94 (0,86-1,01)	0,87 (0,81-0,89)	0,92 (0,72-1,19)	0,79 (0,68-1,15)	1,06 (0,99-1,12)*	1,06 (0,81-1,43)	1,03 (0,98-1,11)	0,98 (0,66-1,21)	1,04 (0,95-1,18)
Базофилы, $\times 10^9$ кл/л	0,16 (0,10-0,19)	0,19 (0,10-0,22)	0,19 (0,13-0,21)	0,15 (0,08-0,19)	0,16 (0,13-0,18)	0,23 (0,16-0,25)*	0,24 (0,22-0,25)	0,24 (0,19-0,25)	0,29 (0,15-0,32)	0,24 (0,20-0,32)
Эритроциты, $\times 10^{12}$ кл/л	8,1 (8,0-8,5)	8,5 (8,0-8,5)	8,5 (8,1-8,5)	8,7 (8,2-9,9)	8,2 (8,0-8,6)	8,0 (7,9-8,1)	7,8 (7,6-8,1)	8,0 (7,9-8,2)	7,8 (7,5-8,0)	7,8 (7,4-8,3)
Концентрация гемоглобина, г/л	149 (146-153)	149 (147-152)	148 (147-149)	146 (159-149)	153 (145-162)	140 (140-142)	142 (140-144)	134 (150-155)**	143 (142-144)	143 (155-146)
Гематокрит, л/л	0,38 (0,38-0,40)	0,40 (0,39-0,41)	0,39 (0,38-0,39)	0,40 (0,40-0,41)	0,41 (0,38-0,44)	0,38 (0,37-0,38)	0,39 (0,39-0,40)	0,39 (0,38-0,39)	0,38 (0,37-0,38)	0,38 (0,37-0,38)
Средний объем эритроцита, фл	51,3 (50,9-51,4)	51,2 (50,7-51,8)	50,8 (49,9-51,6)	51,8 (50,9-53,9)	51,2 (50,5-51,9)	51,4 (50,5-51,9)	51,6 (51,1-51,9)	51,2 (50,5-51,3)	51,4 (51,1-52,0)	50,9 (50,6-51,4)
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	18,1 (17,8-18,5)	18,2 (17,3-18,5)	18,2 (17,2-18,6)	18,4 (18,1-18,9)	18,2 (17,5-19,1)	18,0 (17,8-18,1)	18,1 (17,9-18,2)	16,7 (16,5-17,1)**	18,2 (18,1-18,3)	18,7 (17,6-19,0)
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	361 (360-362)	361 (360-366)	359 (357-361)	361 (351-362)	362 (360-362)	362 (360-365)	364 (363-364)	349 (347-350)**	364 (360-365)	365 (360-368)
Тромбоциты, $\times 10^9$ кл/л	857 (854-931)	874 (854-880)	855 (820-865)	866 (819-902)	827 (803-856)	854 (807-864)	870 (859-902)	761 (745-771)**	848 (807-871)	858 (834-906)
Средний объем тромбоцита, фл	6,1 (6,1-6,2)	6,1 (6,0-6,2)	6,3 (6,1-6,3)	6,2 (6,1-6,4)	6,2 (6,1-6,2)	6,2 (5,9-6,3)	6,1 (5,9-6,2)	6,2 (6,0-6,5)	6,1 (5,8-6,2)	6,1 (6,1-6,6)

* статистически значимые различия с контролем белых крыс при $p < 0,01$;

** статистически значимые различия с контролем белых крыс с нефропатией при $p < 0,05$.

Таблица 5. — Биохимические показатели сывортотки крови белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, Ме (P₂₅—P₇₅)

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровень воздействия, мг/л									
	белые крысы					белые крысы с нефропатией				
	контроль	Ва 1,3	Ва 70	М 1500	М 10000	контроль	Ва 1,3	Ва 70	М 1500	М 10000
Железо, мкМоль/л	40,7 (35,2-44,4)	41,5 (40,9-42,4)	41,8 (39,8-44,2)	39,5 (32,4-44,1)	42,2 (31,2-52,1)	42,5 (40,1-45,5)	39,3 (37,0-41,8)	40,8 (39,2-43,2)	42,2 (40,9-44,9)	42,8 (38,5-43,4)
Фосфор, мМоль/л	2,52 (2,50-2,61)	2,58 (2,41-2,79)	2,70 (2,12-2,95)	2,64 (2,15-2,68)	2,54 (2,42-2,58)	2,18 (2,15-2,22)*	2,23 (2,18-2,40)	2,24 (2,10-2,42)	2,13 (2,02-2,32)	1,75 (1,64-1,84)**
Магний, мМоль/л	0,33 (0,32-0,34)	0,33 (0,33-0,34)	0,32 (0,32-0,33)	0,33 (0,31-0,36)	0,34 (0,32-0,35)	0,32 (0,32-0,34)	0,32 (0,31-0,33)	0,32 (0,32-0,33)	0,29 (0,28-0,38)	0,28 (0,28-0,29)**
ЛПВП, г/мл	0,57 (0,57-0,58)	0,58 (0,57-0,58)	0,58 (0,57-0,59)	0,57 (0,57-0,58)	0,58 (0,57-0,59)	0,58 (0,58-0,59)	0,58 (0,58-0,59)	0,59 (0,57-0,59)	0,58 (0,57-0,58)	0,58 (0,57-0,58)
ЛПНП, г/мл	10,6 (10,6-10,7)	10,7 (10,6-10,8)	10,8 (10,7-11,0)	10,7 (10,2-11,0)	10,6 (10,1-11,0)	5,5 (5,3-5,7)*	5,6 (5,4-5,7)	5,5 (5,3-5,7)	5,6 (5,4-5,7)	5,7 (5,6-5,8)
Холестерин, мМоль/л	0,2 (0,2-0,2)	0,2 (0,1-0,2)	0,2 (0,2-0,2)	0,2 (0,1-0,2)	0,2 (0,1-0,2)	0,2 (0,2-0,2)	0,2 (0,2-0,2)	0,2 (0,1-0,2)	0,2 (0,1-0,2)	0,2 (0,1-0,2)
Общий белок, г/л	48,3 (39,9-54,2)	45,3 (35,9-47,0)	38,3 (35,7-38,7)*	43,4 (41,2-53,3)	47,1 (38,2-54,6)	40,1 (39,0-40,3)*	41,1 (38,9-43,5)	35,1 (32,5-38,4)**	40,1 (35,4-44,1)	40,5 (36,4-44,5)
Альбумин, г/л	28,1 (27,0-29,4)	29,5 (27,9-30,0)	30,2 (28,4-32,3)	26,3 (21,6-28,2)	28,7 (23,2-33,2)	23,0 (21,5-26,9)*	23,1 (21,7-25,0)	22,9 (20,1-25,0)	27,0 (23,3-28,3)	22,9 (19,6-24,0)
Мочевина, мМоль/л	32,7 (31,6-33,1)	32,6 (31,9-33,1)	33,2 (32,9-33,4)	31,9 (30,5-33,6)	11,8 (10,9-12,0)*	14,2 (14,1-14,3)*	14,2 (13,8-14,3)	14,2 (13,8-14,3)	14,1 (13,8-14,4)	14,0 (13,9-14,2)
Мочевая кислота, мМоль/л	3021 (3001-3033)	3021 (3000-3029)	3049 (3023-3060)	3031 (3012-3042)	3061 (2987-3068)	3921 (3816-4499)*	3909 (3217-3999)	3904 (3229-3978)	3938 (3910-3997)	1733 (1724-1744)**
Креатинин, мМоль/л	35,0 (32,0-36,5)	34,2 (33,9-37,3)	33,7 (32,1-35,1)	35,8 (35,1-37,4)	33,6 (30,5-37,5)	43,9 (42,2-44,6)*	44,0 (42,3-45,2)	46,1 (45,6-48,5)**	45,5 (43,3-47,0)	44,9 (42,3-45,7)
ЛДГ, г/мл	1199 (856-1235)	1253 (1220-1324)	1217 (1055-1255)	1293 (1102-1564)	1395 (1264-1708)	1139 (1021-1221)	1229 (1145-1253)	1253 (1229-1296)	1223 (1023-1523)	1214 (1098-1325)
ГГТ, Ед/л	9,7 (9,5-10,1)	9,5 (9,0-9,7)	9,5 (9,2-9,5)	9,6 (9,2-10,3)	10,4 (9,1-10,9)	9,6 (9,4-10,0)	9,7 (9,3-9,8)	9,7 (9,3-9,9)	9,5 (8,9-9,8)	9,1 (8,3-9,6)
АСТ, Ед/л	141,1 (127,6-145,0)	147,4 (133,3-150,1)	171,3 (165,0-185,4)*	152,0 (132,2-161,8)	131,9 (122,3-150,6)	160,3 (142,8-172,3)*	154,9 (141,9-159,9)	156,3 (152,0-167,8)	161,4 (135,6-175,6)	158,2 (140,3-202,9)
АЛТ, Ед/л	84,6 (74,9-87,8)	83,1 (78,4-89,6)	86,8 (80,6-91,1)	85,4 (81,1-92,0)	81,4 (74,7-92,8)	121,8 (112,8-1267)*	121,4 (118,9-130,6)	96,1 (91,2-97,9)**	123,3 (108,6-129,3)	128,8 (120,3-138,3)
α-амилаза, Ед/л	686 (633-729)	712 (628-732)	711 (674-722)	741 (598-789)	746 (698-951)	709 (653-727)	695 (650-710)	705 (615-789)	720 (674-749)	711 (642-807)
Билирубин общий, мкМоль/л	10,1 (9,5-10,6)	9,5 (9,1-9,8)	9,5 (9,1-9,9)	9,1 (7,8-10,6)	10,2 (8,9-12,8)	9,8 (8,5-10,4)	9,7 (7,5-12,0)	9,6 (7,8-12,1)	9,6 (8,1-11,2)	8,8 (7,7-11,7)
Глюкоза, мМоль/л	3,5 (3,3-3,7)	3,7 (3,5-3,9)	3,6 (3,4-3,7)	3,5 (3,1-3,6)	3,8 (3,4-4,3)	4,3 (4,3-4,4)*	4,2 (4,1-4,3)	3,9 (3,8-4,0)**	4,1 (4,0-4,3)	4,1 (3,8-4,5)

* статистически значимые различия с контролем белых крыс при p < 0,04;

** статистически значимые различия с контролем белых крыс с нефропатией при p < 0,006.

Таблица 6. — Показатели функционального состояния мочевыделительной системы белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, Me (P₂₅—P₇₅)

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровень воздействия, мг/л									
	белые крысы					белые крысы с нефропатией				
	контроль	Ва 1,3	Ва 70	М 1500	М 10000	контроль	Ва 1,3	Ва 70	М 1500	М 10000
Общий белок, г/л	4,5 (4,2–4,7)	4,4 (4,1–5,0)	5,6 (5,4–5,7)*	5,1 (4,1–5,2)	4,4 (4,1–4,9)	5,5 (5,4–5,7)*	5,4 (5,1–5,6)	6,4 (5,9–6,8)**	5,7 (3,9–6,0)	5,6 (4,8–6,5)
Фосфор, мМоль/л	30,2 (19,1–31,2)	30,1 (29,5–34,2)	29,6 (25,2–37,8)	28,8 (21,6–33,5)	17,4 (16,5–18,5)*	12,9 (12,5–14,2)*	14,3 (10,0–18,0)	12,2 (10,2–13,8)	13,0 (9,8–13,8)	8,9 (7,8–10,4)**
Железо, мкМоль/л	23,7 (21,8–23,9)	23,8 (23,1–23,9)	23,8 (23,5–24,3)	23,9 (23,1–24,0)	23,6 (23,4–23,8)	22,6 (19,4–23,3)	21,6 (20,4–22,2)	22,0 (19,3–25,1)	21,6 (19,0–24,6)	22,6 (18,9–27,8)
Магний, мМоль/л	1,43 (1,40–1,51)	1,45 (1,29–1,49)	1,52 (1,24–2,00)	1,42 (1,34–1,55)	0,92 (0,89–1,03)*	0,56 (0,38–0,62)*	0,53 (0,46–0,58)	0,56 (0,43–0,58)	0,54 (0,45–0,57)	0,40 (0,33–0,41)**
Мочевина, мМоль/л	237 (217–276)	272 (243–305)	263 (257–281)	221 (201–305)	289 (280–327)*	174 (167–195)*	199 (172–214)	124 (108–139)**	183 (146–197)	141 (120–157)**
Мочевая кислота, мкМоль/л	3693 (3582–3725)	3779 (3712–4052)	3722 (3635–3769)	3781 (3502–4044)	3634 (3539–3703)	3713 (3616–3790)	3571 (3539–3856)	3695 (3419–3805)	3663 (3645–3805)	3690 (3647–3754)
α-амилаза, Ед/л	1290 (979–1528)	1338 (1256–1509)	1267 (1008–1573)	1274 (1032–1532)	1300 (1018–1512)	1222 (1102–1402)	1285 (1107–1430)	1367 (1033–1490)	1118 (931–1496)	985 (826–1152)**
Креатинин, мкМоль/л	2966 (2880–3021)	2994 (2672–3477)	2990 (2427–3142)	2991 (2737–3258)	2983 (2626–3102)	2372 (2063–2589)*	2428 (2153–2546)	1749 (1386–1801)**	2285 (2212–2684)	1791 (1591–1910)**
Глюкоза, мМоль/л	0,94 (0,90–0,99)	1,00 (0,95–1,04)	0,92 (0,84–1,07)	0,93 (0,82–0,97)	0,90 (0,77–0,99)	0,92 (0,87–0,96)	0,85 (0,80–0,96)	0,90 (0,85–0,92)	0,93 (0,82–0,97)	0,90 (0,77–0,99)
Диурез, л ⁻³ /сутки	15,7 (13,7–17,2)	15,5 (13,6–15,9)	15,9 (14,6–16,5)	15,8 (15,0–16,5)	15,4 (13,7–16,4)	12,7 (12,3–13,3)*	13,0 (12,7–13,7)	12,7 (12,3–13,2)	12,8 (11,1–13,5)	13,0 (12,2–13,3)
pH, ед. pH	6,6 (6,2–6,8)	6,4 (6,2–6,9)	6,5 (6,2–6,6)	6,5 (6,2–6,6)	6,6 (6,1–7,1)	6,8 (6,5–7,0)	7,0 (6,3–7,4)	7,0 (6,2–7,4)	6,8 (6,3–7,3)	7,1 (6,2–7,3)

* статистически значимые различия с контролем белых крыс при $p < 0,01$;

** статистически значимые различия с контролем белых крыс с нефропатией при $p < 0,05$.

Таблица 7.— Относительные коэффициенты масс внутренних органов белых крыс и крыс с нефропатией при воздействии растворов с различными уровнями минерализации и бария в хроническом эксперименте, Ме (P₂₅—P₇₅)

Группы сравнения		ОКМ внутренних органов, г/кг ³			
животные	уровень воздействия, мг/л	печень	почки	сердце	желудок
Белые крысы	Контроль	32,3 (28,6–33,1)	7,4 (7,2–7,6)	3,1 (2,9–3,4)	7,3 (6,7–8,0)
	Ва 1,3	29,3 (28,3–32,1)	7,4 (7,1–7,5)	3,2 (3,1–3,4)	7,2 (6,7–7,8)
	Ва 70	30,3 (26,9–32,2)	7,3 (6,3–7,6)	3,5 (3,3–3,7)*	6,9 (6,4–7,5)
	М 1500	33,0 (31,2–35,4)	7,7 (7,0–8,2)	3,4 (3,0–3,8)	8,3 (6,2–8,9)
	М 10 000	33,6 (31,9–34,4)	7,8 (7,3–8,5)	3,6 (3,4–3,8)*	7,2 (6,8–7,6)
Белые крысы с нефропатией	Контроль	34,0 (32,6–35,5)*	6,9 (6,4–7,4)*	3,2 (2,8–3,4)	8,5 (8,3–8,5)*
	Ва 1,3	33,6 (32,9–34,3)	7,2 (6,7–7,5)	3,2 (3,1–3,3)	8,0 (7,7–8,5)
	Ва 70	31,7 (30,4–33,9)**	6,8 (6,3–7,3)	3,6 (3,4–3,8)**	6,7 (6,4–6,8)**
	М 1500	32,4 (31,5–33,5)	6,7 (6,2–7,1)	3,2 (3,0–3,4)	7,9 (7,8–8,5)
	М 10 000	33,4 (33,1–39,6)	6,4 (6,0–6,7)	3,5 (3,3–3,8)**	6,8 (6,7–7,5)**

* статистически значимые различия с контролем белых крыс при $p < 0,02$;
 ** статистически значимые различия с контролем белых крыс с нефропатией при $p < 0,04$.

инициировала слабовыраженную дистрофию гепатоцитов, признаки гепатита, слабовыраженные изменения в почках без токсического поражения сердца и желудка. После экспозиции крыс растворами с минерализацией 10 000 мг/л установлена умеренно выраженная дистрофия гепатоцитов, умеренные проявления поражения сердечной мышцы и почек, признаки развития пиелита, миокардита и гепатита. Наблюдался хронический активный гастрит с гиперплазией и атрофией желез в сочетании с гиперсекрецией эпителия.

Заключение. Разработана экспериментальная модель хронической гентамициновой нефропатии для оценки рисков воздействия и гигиенического нормирования химических факторов. О развитии модельной патологии у животных свидетельствуют морфофункциональные нарушения мочевыделительной и гепатобилиарной систем.

Токсическое действие бария при воздействии на лабораторных животных в концентрации 70 мг/л проявлялось развитием лейкоцитоза, нарушением белкового обмена, повышением артериального давления, морфологическими изменениями сердца с увеличением его массы, а также признаками хронического гепатита и гастрита, пиелита, дистрофическими изменениями эпителия проксимальных канальцев почек. Экспозиция белых крыс растворами с минерализацией 10 000 мг/л способствовала нарушению минерального и белкового обмена, развитию слабо выраженных признаков повреждения почек, сердца и печени. Воздействие указанных концентраций бария и минерализации на животных с нефропатией усиливало выраженность их токсического действия, что указывает на применимость разработанной модели. Концентрации 1,3 мг/л бария и 1500 мг/л минерализации в условиях хронического эксперимента на белых крысах могут быть приняты в качестве недействующих.

Полученные данные позволяют рекомендовать применение разработанной модели для снижения фактора неопределенности при оценке риска здоровью и гигиенического нормирования химических веществ, мишенью для которых является выделительная система.

Литература

1. Calabrese, E. J. Uncertainty factors and interindividual variation / E. J. Calabrese // Regul. Toxicol. Pharmacol. — 1985. — Vol. 5, iss. 2. — P. 190–196.
2. Hattis, D. Human variability in susceptibility to toxic chemicals — a preliminary analysis of pharmacokinetic data from normal volunteers / D. Hattis, L. Erdreich, M. Ballew // Risk Anal. — 1987. — Vol. 7, iss. 4. — P. 415–426.
3. Dourson, M. L. Evolution of science-based uncertainty factors in noncancer risk assessment / M. L. Dourson, S. P. Felter, D. Robinson // Regul. Toxicol. Pharmacol. — 1996. — Vol. 24, iss. 2. — P. 108–120.
4. Dourson, M. Uncertainty factors in noncancer risk assessment / M. Dourson // Regul. Toxicol. Pharmacol. — 1996. — Vol. 24, iss. 2. — P. 107.

5. Genetic polymorphisms in assessing interindividual variability in delivered dose / L. T. Haber [et al.] // Regul. Toxicol. Pharmacol. — 2002. — Vol. 35, iss. 2. — P. 177–197.
6. Data derived extrapolation factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA) / M. L. Dourson [et al.] // Regul. Toxicol. Pharmacol. — 2020. — Vol. 110. — Art. 104502.
7. Data derived Extrapolation Factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA) / M. L. Dourson [et al.] // Regul. Toxicol. Pharmacol. — 2019. — Vol. 108. — Art. 104446.
8. Suggestions for Improving the Characterization of Risk from Exposures to Per and Polyfluorinated Alkyl Substances / A. T. Mikkonen [et al.] // Environ. Toxicol. Chem. — 2021. — Vol. 40, iss. 3. — P. 871–886.
9. Bennett, A. G. An historical review of optometric principles and techniques / A. G. Bennett // Ophthalmic Physiol. Opt. — 1986. — Vol. 6, iss. 1. — P. 3–21.
10. Bennett, D. C. Instability and stabilization in melanoma cell differentiation / D. C. Bennett // Curr. Top. Dev. Biol. — 1986. — Vol. 20. — P. 333–344.
11. Научное обоснование гигиенических регламентов содержания пиколинафена в среде обитания человека / В. А. Грынчак, И. И. Ильюкова, С. И. Сычик // Токсикол. вестн. — 2019. — № 6. — С. 50–55.
12. Особенности токсического действия диизонилфталата и его регламентирование в полимерных материалах и изделиях медицинского назначения / В. А. Грынчак, С. И. Сычик // Анализ риска здоровью. — 2020. — № 1. — С. 118–125.
13. Possible involvement of descending serotonergic systems in antinociception by centrally administered elcatonin in mice / H. Nakamoto [et al.] // Biol. Pharm. Bull. — 1999. — Vol. 22, iss. 7. — P. 691–697.
14. Nifedipine and arotinolol in combination for accelerated-malignant hypertension: results of one year follow-up / H. Nakamoto [et al.] // Hypertens. Res. — 1999. — Vol. 22, iss. 2. — P. 75–80.
15. Nakamoto, H. Targeted inactivation of the gene *psaK* encoding a subunit of photosystem I from the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 / H. Nakamoto, M. Hasegawa // Plant Cell. Physiol. — 1999. — Vol. 40, iss. 1. — P. 9–16.
16. Role of oxidative metabolism on endothelium-dependent vascular relaxation of isolated vessels / M. Cappelli-Bigazzi [et al.] // J. Mol. Cell. Cardiol. — 1997. — Vol. 29, iss. 3. — P. 871–879.
17. Effects of high-cholesterol and atherogenic diets on vascular relaxation in spontaneously hypertensive rats / M. Cappelli-Bigazzi [et al.] // Am. J. Physiol. — 1997. — Vol. 273, iss. 2. — P. H647–H654.
18. Ceruloplasmin impairs endothelium-dependent relaxation of rabbit aorta / M. Cappelli-Bigazzi [et al.] // Am. J. Physiol. — 1997. — Vol. 273, iss. 6. — P. H2843–H2849.
19. Надлежащая лабораторная практика: ТКП 125–2008(02040). — Введ. 01.05.2008. — Минск: РУП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении», 2008. — 40 с.
20. Guide for the care and use of laboratory animals. — Washington, D. C.: Nat. acad. press, 1996. — 154 p.

Drazdova A. V., Hrynchak V. A., Ryabtseva S. N.¹

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL MODEL OF CHRONIC GENTAMYCIN NEPHROPATHY FOR ASSESSMENT OF HEALTH RISKS WHEN EXPOSED TO CHEMICALS (EXAMPLE OF BARIUM AND TOTAL MINERALIZATION)

*Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus,
¹State Scientific Institution «Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus*

The aim of the work was to scientifically substantiate and develop an experimental model of gentamicin nephropathy for assessing health risks when exposed to chemicals in sensitive groups of the population. After intraperitoneal administration of gentamicin for 10 days at a dose of 70 mg/kg/day to white rats, the development of model pathology is evidenced by morphofunctional disorders of the urinary and hepatobiliary systems. The toxic effect of barium when exposed to laboratory animals at a concentration of 70 mg/l was manifested by the development of leukocytosis, impaired protein metabolism, arterial hypertension, morphological changes in the heart, as well as signs of hepatitis,

gastritis, pyelitis, dystrophy of the epithelium of the proximal renal tubules. Exposure with solutions of a 10 000 mg/l mineralization contributed to the disruption of mineral and protein metabolism, the development of mild signs of damage to the kidneys, heart and liver. The effect of solutions on animals with nephropathy increased their toxic effect, which indicates the applicability of the developed model in justifying hygienic standards and conducting risk assessment. Concentrations of 1.3 mg/l barium and 1 500 mg/l mineralization can be taken as inactive.

Keywords: gentamicin, nephropathy, barium, mineralization, risk assessment, experimental models of pathology.

References

1. Calabrese E. J. Uncertainty factors and interindividual variation. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 1985; 5(2): 190–6.
2. Hattis D., Erdreich L., Balley M. Human variability in susceptibility to toxic chemicals – a preliminary analysis of pharmacokinetic data from normal volunteers. *Risk Anal.* 1987; 7(4): 415–26.
3. Dourson M. L., Felter S. P., Robinson D. Evolution of science-based uncertainty factors in noncancer risk assessment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 1996; 24(2): 108–20.
4. Dourson M. Uncertainty factors in noncancer risk assessment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 1996; 24(2): 107.
5. Haber L. T., Maier A., Gentry P. R. et al. Genetic polymorphisms in assessing interindividual variability in delivered dose. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2002; 35(2): 177–97.
6. Dourson M. L., Gadagbui B., Onyema Ch. et al. Data derived extrapolation factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA). *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2020; 110: 104502.
7. Dourson M. L., Gadagbui B., Onyema Ch. et al. Data derived Extrapolation Factors for developmental toxicity: A preliminary research case study with perfluorooctanoate (PFOA). *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2019; 108: 104446.
8. Mikkonen A. T., Martin J., Dourson M. L. et al. Suggestions for Improving the Characterization of Risk from Exposures to Per and Polyfluorinated Alkyl Substances. *Environ. Toxicol. Chem.* 2021; 40(3): 871–86.
9. Bennett A. G. An historical review of optometric principles and techniques. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 1986; 6(1): 3–21.
10. Bennett D. C. Instability and stabilization in melanoma cell differentiation. *Curr. Top. Dev. Biol.* 1986; 20: 333–44.
11. Hrynchak V. A., Ilyukova I. I., Sychik S. I. Scientific basis of hygienic regulations of picolinaphene content in human environment. *Toksikologicheskiiy vestnik [Toxicological Review]*. 2019; 6: 50–5. (in Russian)
12. Hrynchak V. A., Sychik S. I. Peculiarities of toxic effects produced by diisononyl phthalate and regulation over it in polymer materials and medical products. *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2020; 1: 118–25. (in Russian)
13. Nakamoto H., Soeda Y., Seki T. et al. Possible involvement of descending serotonergic systems in antinociception by centrally administered elcatonin in mice. *Biol. Pharm. Bull.* 1999; 22(7): 691–7.
14. Nakamoto H., Nemoto H., Sugahara S. et al. Nifedipine and arotinolol in combination for accelerated-malignant hypertension: results of one year follow-up. *Hypertens. Res.* 1999; 22(2): 75–80.
15. Nakamoto H., Hasegawa M. Targeted inactivation of the gene *psaK* encoding a subunit of photosystem I from the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Plant. Cell. Physiol.* 1999; 40(1): 9–16.
16. Cappelli-Bigazzi M., Battaglia C., Pannain S. et al. Role of oxidative metabolism on endothelium-dependent vascular relaxation of isolated vessels. *J. Mol. Cell. Cardiol.* 1997; 29(3): 871–9.
17. Cappelli-Bigazzi M., Rubattu S., Battaglia C. et al. Effects of high-cholesterol and atherogenic diets on vascular relaxation in spontaneously hypertensive rats. *Am. J. Physiol.* 1997; 273(2): H647–54.
18. Cappelli-Bigazzi M., Ambrosio G., Musci G. et al. Ceruloplasmin impairs endothelium-dependent relaxation of rabbit aorta. *Am. J. Physiol.* 1997; 273(6): H2843–9.
19. Good laboratory practice: TKP 125–2008(02040). Minsk: RUP «Centr ekspertiz i ispytaniy v zdravoohraneni»; 2008. (in Russian)
20. Guide for the care and use of laboratory animals. Washington, D.C.: Nat. acad. Press; 1996.
e-mail для переписки: drozdovaev@mail.ru

Дроздова Е. В., Суравец Т. З., Грынчак В. А., Фираго А. В.

ВЛИЯНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И МОЧИ КРЫС ПРИ ДОЛГОСРОЧНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Данные научной литературы о влиянии минерального состава питьевой воды, обусловленного как повышенным, так и пониженным содержанием ионов магния и кальция, на различные органы и системы противоречивы (по результатам как токсикологических экспериментов, так и эпидемиологических исследований). В то же время в целом показано, что при потреблении питьевой воды с минеральным составом, не соответствующим допустимым пределам концентрации макро- и микроэлементов, наблюдаются физиологические сдвиги или же патологические состояния. В статье представлены результаты экспериментальных исследований в части изменения показателей крови и мочи крыс при употреблении питьевой воды различных уровней минерализации при долгосрочной экспозиции. У лабораторных животных, получавших питьевую воду с уровнем минерализации 2 000 мг/л, отмечены разнонаправленные сдвиги белкового и минерального обмена в виде изменения концентрации общего белка, кальция, мочевины в крови, а также экскреции кальция с мочой ($p < 0,05$).

Ключевые слова: питьевая вода, минеральный состав, жесткость, макро- и микроэлементы, биохимические показатели, лабораторные животные.

Введение. Содержание химических элементов в питьевой воде является уникальным для определенной территории, и ее минеральный состав выступает определяющим фактором поддержания оптимального соотношения микроэлементов в организме. В настоящее время доказано, что употребление питьевой воды с дефицитом минеральных веществ может нарушать механизмы гомеостаза, а также обмен минеральных веществ и воды в организме. Наблюдается усиление выделения жидкости (диуреза) из-за отрицательного баланса внутри- и внеклеточных ионов и вымывания их из биологических жидкостей. Наряду с этим происходит изменение общего содержания воды в организме и активности гормонов, которые тесно связаны с регуляцией водного обмена. Питьевая вода является источником эссенциальных элементов, встречающихся в основном в ионной форме. Данные элементы имеют более высокие показатели биологической доступности, физиологической адекватности и всасывания [1].

Основным источником поступления в организм человека необходимых макро- и микроэлементов является водно-пищевой рацион. По рекомендациям ВОЗ процент вклада водного источника в референтную дозу при пероральном поступлении принято считать до 20. Доля в 10 %, которая была установлена ранее, считается недостаточной. Для некоторых элементов питьевая вода может быть основным источником поступления их в организм (например, железо, фтор, марганец). При поступлении химических элементов с питьевой водой может компенсироваться значительная часть их суточного рациона. Следует отметить, что для питьевой воды характерна меньшая степень изменчивости химического состава, чем для пищевых продуктов. Последствия для здоровья человека могут возникнуть при длительном употреблении питьевой воды с избыточным или недостаточным содержанием определенных химических элементов. Период воздействия в один год считается достаточным для проявления влияния употребления воды с дисбалансом ионов кальция и магния в питьевой воде на возникновение сердечно-сосудистых заболеваний [2].

Влияние на здоровье классических загрязнителей, содержащихся в питьевой воде, хорошо изучено, для них установлены нормативные значения. В то же время влияние таких основных элементов, как кальций и магний, известно недостаточно, для них установлены рекомендуемые значения. По органолептическим показателям ВОЗ рекомендован верхний предел минерализации 1 000 мг/л, оптимальным является содержание 200–500 мг/л (в том числе и на территории Российской Федерации), в то время как для жесткости не предлагается какой-либо величины. Рекомендуемое содержание кальция в питьевой воде должно составлять 20–80 мг/л, магния — 10–30 мг/л [3, 4].

В настоящее время существует множество публикаций, посвященных изучению связи дефицита кальция и магния в питьевой воде и заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистой патоло-

гии [5–8]. В то же время ряд исследователей (Cardenas-Gonzalez et al., 2016) подвергают сомнению риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, связанный с данными элементами. Имеются данные о том, что содержание в питьевой воде ионов кальция и магния выше рекомендуемых значений выступает фактором риска ишемической болезни сердца (Costa-Bauza et al., 2003) и мочекаменной болезни (Kousa et al., 2006), провоцирует слюнокаменную болезнь (Costa-Bauza et al., 2003; Vardow et al., 2015; Schröder et al., 2015). Дефицит и дисбаланс кальция и магния можно рассматривать в качестве потенциальных факторов риска возникновения у населения мочекаменной болезни, заболеваний кожи, сердечно-сосудистой системы и органов пищеварения [5, 9]. Дефицит магния приводит к активации пути ядерного фактора каппа В (NF- κ B) в иммунных клетках с повышенным продуцированием провоспалительных цитокинов и белков острой фазы, таких как интерлейкин-6, фактор некроза опухоли-альфа и С-реактивный белок, что связано с развитием хронических заболеваний со стороны различных органов и систем [10].

Учитывая вышеизложенное, изучение влияния употребления питьевой воды с избыточным или недостаточным содержанием в ней ионов кальция и магния на развитие изменений со стороны обмена веществ, сердечно-сосудистой, мочевыделительной и костно-мышечной систем является актуальным.

Цель настоящей работы — изучение влияния питьевой воды с различным уровнем минерализации на показатели крови и мочи крыс при долгосрочной экспозиции.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели проведены экспериментальные исследования на лабораторных животных — рандомбредных белых крысах-самках массой 180–200 г в возрасте около двух месяцев, поставленных виварием государственного предприятия «НПЦГ». Животные содержались на двухнедельном карантине. Для экспериментальных исследований были отобраны активные животные, которые хорошо поедали корм, с блестящим и гладким шерстным покровом, с нормальной окраской видимых слизистых оболочек. Всех животных содержали на стандартном рационе вивария. Общая продолжительность наблюдения за животными при исследовании составляла 1 год. Эксперимент был разделен на 4 периода: 4, 6, 9 и 12 месяцев. Выбранная продолжительность наблюдения и периоды эксперимента подтверждаются результатами экспериментальных исследований зарубежных авторов [2].

Для выпаивания животных использовали дистиллированную воду; воду с уровнями минерализации и соотношением катионов и анионов в пределах физиологических норм (водопроводная вода из подземных источников) и имитаты воды с различными уровнями минерализации. Имитаты питьевой воды готовили с использованием минеральной добавки «Северянка» (состав № 1), изготовленной ООО «Эко-Проект» (Российская Федерация) по ТУ 11.07.19–014–48010516–2017, и дистиллированной воды. Содержание изучаемых компонентов проверяли химико-аналитически. Минеральная добавка «Северянка» (состав № 1) содержит 20–30 г/л кальция и 10–15 г/л магния в виде водных растворов CaCl_2 и MgCl_2 соответственно. Расчет уровня минерализации, концентраций кальция и магния в полученной воде производился исходя из рецептурных (средних) концентраций — 25 г/л и 12,5 г/л соответственно.

Для эксперимента были сформированы 5 групп по 4 повторности, в каждой группе по 6 белых крыс-самок. Контрольная группа получала питьевую воду с уровнем общей минерализации 200–500 мг/л (2-я группа), так как данный диапазон согласно группе исследователей ВОЗ, Российской Федерации является оптимальным. Остальные четыре группы лабораторных животных получали питьевую воду с уровнем общей минерализации 0 мг/л (дистиллированная вода, 1-я группа), 50 мг/л (нижняя граница норматива физиологической полноценности, 5-я группа), 1 000 мг/л (верхняя граница норматива физиологической полноценности, 3-я группа) и 2 000 мг/л (уровень, превышающий верхний предел нормативных значений в 2 раза, 4-я группа). В таблице 1 представлены примеры расчетов значений минерализации, катионов в полученных имитатах в зависимости от разбавления.

Таблица 1. — Расчетные значения общей минерализации и катионов с использованием минеральной добавки «Северянка»

Номинальная минерализация воды, мг/л	Коэффициент разбавления добавки «Северянка»	Кальций (Ca^{2+}), мг/л	Магний (Mg^{2+}), мг/л	Расчетная минерализация воды, мг/л
50	1 : 2350	10,7	5,3	50,5
1000	1 : 118	212,5	106,4	1005,2
2000	1 : 59	425,0	212,8	2010,5

Результаты, полученные в опытных группах (1-я, 3–5-я группы), сравнивались с показателями, полученными во 2-й группе. В ходе эксперимента проводилось определение таких биохимических показателей крови, как лактатдегидрогеназа (далее — ЛДГ), щелочная фосфатаза (далее — ЩФ), мочевины, общий белок, альбумины, аланинаминотрансфераза (далее — АлАТ), аспартатаминотрансфераза (далее — АсАТ), кальций (далее — Ca), магний (далее — Mg), фосфор (далее — P), а также показателей мочи (Ca, Mg и P) как индикаторных показателей, указывающих на изменения в состоянии сердечно-сосудистой, мочевыделительной и костно-мышечной систем. Измерения проводились на автоматическом биохимическом анализаторе Ascent 200, Польша. Обращение с лабораторными животными соответствовало этическим принципам надлежащей лабораторной практики [11] и международным требованиям [12]. Обработка полученных данных проводилась с использованием статистического пакета программ Statistica 13. Для изучения нормальности распределения признаков в изучаемых группах использовали критерии Колмогорова—Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро—Уилка. Гипотезу о нормальности распределения считали подтвержденной, если не менее 95,5 % всех значений признаков находилось в интервале $M \pm 2\sigma$. Признаки, которые имели распределение, отличное от нормального, описывали медианой и межквартильным размахом (25-й и 75-й процентиля) в формате Me [25%–75%]. При вероятности безошибочного прогноза $p < 0,05$ результаты считали достоверными и высоко достоверными при $p < 0,01$. На основании того, что в полученных данных распределение признака не соответствовало закону нормального распределения, с помощью U-критерия Манна—Уитни проводили анализ статистической значимости межгрупповых различий количественных признаков. Оценка динамики основных показателей по месяцам в группах проведена с помощью Kruskal—Wallis test.

Работа выполнялась в рамках задания 02.01 «Разработать и внедрить гигиенические требования к устройствам водоочистки и водоподготовки с учетом их влияния на минеральный состав воды» отраслевой научно-технической программы «Здоровье и среда обитания» (2016–2020 гг., № государственной регистрации 20162303).

Результаты и их обсуждение. По результатам 4-месячной экспозиции со стороны минерального обмена отмечается увеличение содержания фосфора сыворотки крови в 1,4 раза в 4-й и 5-й группах ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. Отмечается увеличение выведения кальция с мочой в 4-й и 5-й группах в 2–2,7 раза ($p < 0,05$).

Через 6 месяцев экспозиции отмечается уменьшение содержания мочевины в крови в 1,1–1,2 раза в 1-й, 4-й и 5-й группах ($p < 0,05$), кальция сыворотки крови в 1,2–1,9 раза в 4-й и 5-й группах ($p < 0,05$), а также концентрации альбумина в 1-й и 4-й группах в 1,3–1,4 раза ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. На развитие функциональных нарушений со стороны мочевыделительной системы указывает статистически значимое увеличение экскреции фосфора с мочой в 5-й группе в 2,1 раза ($p < 0,05$).

По результатам 9-месячной экспозиции отмечается уменьшение содержания мочевины в крови на 6,4–14,0 % в 1-й, 3-й и 5-й группах ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. На нарушение функционального состояния почек указывает статистически значимое уменьшение у опытных крыс 1-й группы выведения с мочой кальция в 1,5 раза ($p < 0,05$).

Со стороны минерального обмена по результатам экспериментальных исследований через 12 месяцев отмечается увеличение содержания кальция сыворотки крови в 1,8–2,3 раза в 3-й, 4-й и 5-й группах ($p < 0,05$), а также выведения кальция с мочой в 1,4–2 раза в 3-й, 4-й и 5-й группах ($p < 0,05$) по сравнению с контролем.

Данные экспериментальных исследований биохимического анализа крови и показателей мочи представлены в таблицах 2, 3.

При оценке динамики биохимических показателей крови по месяцам в 1-й группе лабораторных животных (минерализация получаемой питьевой воды 0 мг/л) установлено статистически значимое изменение концентрации фосфора в сыворотке крови, общего белка, ЛДГ ($p < 0,05$). Следует отметить динамику таких показателей, как концентрация кальция в моче, уровень мочевины, кальция, АлАТ и АсАТ в крови ($p < 0,01$).

Во 2-й группе лабораторных животных с высокой достоверностью ($p < 0,01$) можно говорить о динамике таких показателей, как концентрации мочевины, кальция, АсАТ и АлАТ в сыворотке крови, а также концентрация кальция в моче.

Для 3-й группы животных, для выпаивания которых использовалась питьевая вода с минерализацией 1 000 мг/л, установлены статистически значимые изменения концентрации общего белка и активности АлАТ ($p < 0,05$). С высокой достоверностью ($p < 0,01$) можно говорить о динамике таких

Таблица 2. — Результаты экспериментальных исследований биохимического анализа крови крыс при долгосрочной экспозиции, Ме [25%—75%]

Группа	Концентрация в крови										ЛДГ
	ЩФ	Р	Мочевина	Mg	Белок общий	Са	Альбумин	АлАТ	АсАТ	ЛДГ	
4 месяца											
1 (0 мг/л)	86,85 [85,10; 90,20]	1,61 [1,43; 1,83]	9,59 [8,92; 11,33]	0,86 [0,79; 0,86]	81,35 [46,60; 90,20]	3,02 [2,94; 3,13]	62,40 [57,10; 63,40]	50,80 [48,00; 56,00]	213,60 [194,00; 223,90]	1577,50 [786,00; 2263,10]	
2 (200–500 мг/л)	89,00 [81,90; 89,50]	1,37 [1,28; 1,39]	10,64 [9,40; 10,67]	0,87 [0,79; 0,92]	80,30 [63,20; 92,20]	3,04 [2,95; 3,20]	61,30 [44,20; 62,10]	55,60 [49,80; 70,20]	239,70 [229,90; 245,60]	1302,90 [762,00; 1461,30]	
3 (1 000 мг/л)	92,90 [88,80; 94,10]	1,91 [1,45; 2,12]	10,37 [9,68; 11,81]	0,84 [0,83; 0,85]	82,40 [79,40; 83,30]	3,13 [3,06; 3,14]	54,15 [49,50; 58,60]	65,50 [61,20; 75,50]	288,70 [263,20; 323,50]	1707,75 [1053,00; 2244,00]	
4 (2 000 мг/л)	90,00 [86,30; 90,10]	1,73 [1,59; 2,05]*	10,91 [9,00; 12,28]	0,89 [0,84; 0,92]	101,30 [89,80; 111,00]	3,25 [3,06; 3,46]	58,70 [51,60; 66,40]	57,55 [50,70; 59,90]	251,30 [207,90; 267,60]	2007,45 [1633,00; 2473,70]	
5 (50 мг/л)	88,05 [87,40; 88,90]	1,88 [1,71; 2,01]**	9,68 [9,05; 10,33]	0,83 [0,76; 0,88]	91,25 [76,60; 99,60]	3,37 [3,22; 3,57]	42,40 [39,80; 47,20]	55,05 [51,80; 60,40]	258,20 [189,30; 300,40]	863,90 [811,70; 1351,40]	
6 месяцев											
Группа	ЩФ	Р	Мочевина	Mg	Белок общий	Са	Альбумин	АлАТ	АсАТ	ЛДГ	
1 (0 мг/л)	102,80 [95,10; 105,40]	1,40 [1,37; 1,70]	8,11 [7,14; 8,53]*	0,84 [0,75; 0,87]	72,20 [55,70; 101,90]	0,58 [0,54; 0,61]	46,10 [43,00; 47,00]*	121,90 [120,30; 147,40]	320,40 [312,80; 334,40]	1251,50 [1052,60; 1316,80]	
2 (200–500 мг/л)	97,50 [94,20; 97,80]	1,54 [1,50; 1,71]	8,70 [8,68; 9,17]	0,93 [0,87; 0,94]	100,50 [63,40; 108,80]	0,58 [0,56; 0,60]	64,70 [55,50; 64,80]	87,30 [85,00; 91,10]	321,20 [251,30; 415,30]	1240,40 [1175,20; 1586,40]	
3 (1 000 мг/л)	99,10 [96,40; 106,70]	1,48 [1,27; 1,49]	8,66 [8,26; 9,55]	0,92 [0,92; 0,94]	67,00 [65,00; 82,90]	0,54 [0,51; 0,60]	59,70 [48,90; 75,70]	96,70 [95,00; 130,10]	264,30 [251,90; 321,20]	994,50 [952,20; 2063,70]	
4 (2 000 мг/л)	99,00 [96,80; 101,00]	1,49 [1,43; 1,52]	8,05 [8,04; 8,37]*	0,87 [0,84; 0,94]	69,20 [49,80; 70,20]	0,49 [0,46; 0,50]*	44,90 [43,40; 50,20]*	97,90 [69,30; 104,40]	310,00 [282,10; 316,20]	1175,00 [907,00; 1795,10]	
5 (50 мг/л)	98,40 [95,80; 100,80]	1,53 [1,47; 1,74]	8,20 [7,95; 8,28]*	0,92 [0,88; 0,95]	77,10 [75,00; 85,90]	0,31 [0,27; 0,33]*	61,70 [52,00; 62,50]	88,30 [88,00; 101,80]	274,40 [262,20; 285,60]	1111,40 [1093,00; 1435,70]	

Группа	Концентрация в крови											ЛДГ
	ЩФ	Р	Мочевина	Mg	Белок общий	Са	Альбумин	АлАТ	АсАТ	ЛДГ		
9 месяцев												
1 (0 мг/л)	-	2,95 [2,15; 6,90]	15,43 [14,75; 15,89]*	0,91 [0,88; 1,10]	100,90 [99,60; 115,00]	9,35 [8,69; 10,15]	62,20 [60,70; 74,30]	123,00 [111,80; 142,20]	9,50 [5,80; 12,20]	2326,90 [1600,00; 2545,40]		
2 (200–500 мг/л)	-	4,86 [3,40; 5,11]	16,48 [16,13; 16,81]	1,10 [0,91; 1,19]	98,40 [89,60; 117,80]	11,95 [10,44; 12,91]	49,90 [47,80; 54,20]	102,10 [90,90; 106,20]	7,90 [6,00; 9,80]	1825,10 [1765,20; 1897,10]		
3 (1 000 мг/л)	-	1,33 [1,21; 1,67]	14,00 [13,85; 14,20]*	0,99 [0,85; 1,00]	110,80 [88,20; 112,80]	10,31 [3,36; 11,84]	34,70 [34,20; 43,20]	107,20 [84,40; 117,10]	16,00 [8,10; 19,20]	1356,30 [909,10; 1587,40]		
4 (2 000 мг/л)	-	3,17 [2,86; 17,36]	15,05 [14,32; 15,43]	1,09 [1,02; 1,19]	97,80 [95,40; 103,20]	12,67 [10,38; 15,22]	52,90 [48,40; 54,20]	88,70 [86,30; 96,20]	11,00 [10,40; 12,00]	1548,40 [1229,00; 1619,20]		
5 (50 мг/л)	-	8,30 [4,94; 11,31]	14,79 [14,34; 15,18]*	0,86 [0,85; 0,89]	98,80 [93,50; 103,10]	12,66 [8,87; 13,58]	41,60 [39,00; 53,60]	112,20 [112,20; 124,20]	15,30 [10,50; 15,30]	1599,80 [1196,20; 1698,70]		
12 месяцев												
Группа	ЩФ	Р	Мочевина	Mg	Белок общий	Са	Альбумин	АлАТ	АсАТ	ЛДГ		
1 (0 мг/л)	-	1,48 [1,34; 1,55]	10,50 [9,28; 10,90]	0,87 [0,85; 0,94]	118,80 [105,70; 127,00]	1,21 [1,04; 1,24]	54,40 [43,70; 74,70]	93,20 [79,40; 123,30]	1,80 [0; 2,80]	2429,60 [2248,60; 2810,30]		
2 (200–500 мг/л)	-	1,51 [1,39; 1,64]	9,15 [8,38; 9,75]	0,87 [0,82; 0,96]	102,60 [95,70; 111,10]	1,20 [1,05; 1,35]	55,50 [42,30; 56,90]	105,10 [105,10; 121,30]	0 [0; 0,20]	2667,80 [2176,90; 2724,20]		
3 (1 000 мг/л)	-	1,37 [1,35; 1,55]	9,11 [8,80; 9,77]	0,89 [0,84; 0,93]	112,00 [106,70; 113,10]	2,53 [2,47; 2,70]*	53,70 [42,50; 59,00]	99,40 [94,60; 101,40]	1,34 [1,10; 3,70]	2237,70 [1630,20; 2763,80]		
4 (2 000 мг/л)	-	1,57 [1,41; 1,69]	7,95 [6,73; 9,06]	0,94 [0,85; 1,01]	103,15 [91,70; 106,95]	2,85 [2,82; 3,25]*	51,65 [48,00; 56,70]	96,80 [71,65; 120,50]	0,01 [0,01; 0,46]	1880,40 [1306,95; 2811,90]		
5 (50 мг/л)	-	1,78 [1,57; 1,84]	8,01 [7,71; 9,21]	0,96 [0,91; 0,96]	95,40 [92,60; 97,80]	2,92 [2,86; 3,01]*	53,00 [51,30; 63,60]	99,10 [96,10; 106,40]	0,50 [0; 1,30]	2857,10 [2080,30; 2939,50]		
Примечание — статистическая значимость различий с аналогичным показателем у группы 2 (* p < 0,05; ** p < 0,01).												

Таблица 3. — Результаты экспериментальных исследований показателей мочи крыс при долгосрочной экспозиции, Me [25%–75%]

Группа	Концентрация в моче		
	Фосфор	Магний	Кальций
4 месяца			
1 (0 мг/л)	18,20 [0,58; 22,54]	1,43 [1,03; 1,76]	0,17 [0,08; 0,27]
2 (200–500 мг/л)	12,30 [11,85; 15,92]	1,43 [1,32; 1,53]	0,15 [0,14; 0,16]
3 (1000 мг/л)	12,43 [6,22; 20,03]	1,52 [1,42; 1,94]	0,22 [0,19; 0,39]
4 (2000 мг/л)	8,52 [7,54; 17,88]	1,69 [1,08; 2,32]	0,33 [0,30; 0,40]*
5 (50 мг/л)	15,70 [9,00; 51,34]	1,52 [0,75; 1,75]	0,41 [0,36; 0,64]*
6 месяцев			
1 (0 мг/л)	8,76 [7,76; 10,06]	1,16 [1,15; 1,20]	0,39 [0,36; 0,45]
2 (200–500 мг/л)	10,20 [4,02; 11,17]	1,14 [1,05; 1,30]	0,45 [0,45; 0,46]
3 (1000 мг/л)	9,31 [7,73; 16,00]	1,29 [1,19; 1,29]	0,62 [0,45; 0,63]
4 (2000 мг/л)	11,27 [7,27; 14,72]	1,20 [1,08; 1,21]	0,61 [0,52; 0,63]
5 (50 мг/л)	17,31 [13,60; 21,10]*	1,45 [1,31; 1,47]	0,51 [0,35; 0,58]
9 месяцев			
1 (0 мг/л)	13,76 [13,06; 14,82]	0,94 [0,83; 1,56]	0,66 [0,65; 0,67]*
2 (200–500 мг/л)	21,28 [18,81; 25,11]	1,57 [1,00; 3,36]	0,97 [0,90; 1,21]
3 (1000 мг/л)	32,11 [26,89; 32,52]	2,02 [1,88; 2,75]	1,43 [1,07; 1,43]
4 (2000 мг/л)	21,18 [11,66; 23,60]	1,23 [1,02; 1,24]	1,24 [1,20; 1,34]
5 (50 мг/л)	0,91 [0,66; 26,97]	2,24 [1,23; 2,74]	1,38 [1,14; 1,52]
12 месяцев			
1 (0 мг/л)	5,95 [5,54; 15,72]	0,88 [0,69; 1,38]	0,60 [0,45; 0,90]
2 (200–500 мг/л)	8,53 [8,39; 13,52]	0,79 [0,74; 1,12]	0,43 [0,41; 0,49]
3 (1000 мг/л)	6,25 [4,18; 7,12]	0,95 [0,78; 1,16]	0,62 [0,61; 0,64]*
4 (2000 мг/л)	6,91 [3,34; 9,18]	1,50 [1,12; 1,59]	0,93 [0,79; 1,02]*
5 (50 мг/л)	23,39 [14,68; 38,83]	1,26 [0,80; 1,47]	0,78 [0,71; 0,83]*

* статистическая значимость различий с аналогичным показателем у группы 2 (* p < 0,05).

показателей, как концентрация фосфора, магния и кальция в моче, уровень мочевины, содержание кальция и АсАТ в крови.

При изучении динамики показателей в 4-й группе (минерализация питьевой воды 2 000 мг/л) установлено достоверное изменение концентрации общего белка (p < 0,05), а также высоко достоверное — уровня мочевины, кальция и АсАТ в крови, экскреции кальция с мочой (p < 0,01).

Полученные экспериментальные результаты позволили установить статистически значимые уровни ЛДГ (p < 0,05), а также высоко достоверные изменения концентрации фосфора, кальция, мочевины, АлАТ и АсАТ в крови и экскреции кальция с мочой (p < 0,01) для 5-й группы животных, использующих для питья воду с минерализацией 50 мг/л. Результаты оценки динамики показателей крови и мочи по месяцам в группах представлены в таблице 4.

Таблица 4. — Результаты оценки динамики показателей крови и мочи по месяцам в группах

Показатель	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	5-я группа
Фосфор (кровь)	*	-	-	-	**
Мочевина (кровь)	**	**	**	**	**
Магний (кровь)	-	-	-	-	-
Общий белок (кровь)	*	-	*	*	-
Кальций (кровь)	**	**	**	**	**
Альбумин (кровь)	-	-	-	-	-
АлАТ (кровь)	**	**	*	-	**

Показатель	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	5-я группа
АСАТ (кровь)	**	**	**	**	**
ЛДГ (кровь)	*	-	-	-	*
Фосфор (моча)	-	-	**	-	-
Кальций (моча)	**	**	**	**	**
Магний (моча)	-	-	**	-	-
* достоверное изменение показателя при $p < 0,05$; ** достоверное изменение показателя при $p < 0,01$.					

Полученные экспериментальные данные соотносятся с исследованиями ряда зарубежных ученых [13–16].

Заключение. Полученные экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что длительное употребление питьевой воды с уровнем минерализации 0 мг/л, 50 мг/л, 1 000 мг/л и 2 000 мг/л сопровождается изменениями показателей крови и мочи у крыс. Данные изменения носят волнообразный характер, что можно связать с адаптивной перестройкой организма к питьевому фактору. Под влиянием длительного приема воды с различным содержанием кальция и магния наблюдается напряжение механизмов регуляции ионно-осмотического гомеостаза и функций почек.

При долгосрочной экспозиции крыс питьевой водой с уровнем минерализации 50 мг/л наблюдаются изменения концентрации фосфора в крови, кальция в крови и моче, что указывает на изменения со стороны минерального обмена. У лабораторных животных, получавших питьевую воду с уровнем минерализации 2 000 мг/л, отмечены разнонаправленные сдвиги белкового и минерального обменов в виде изменения концентрации общего белка, кальция, мочевины в крови, а также экскреции кальция с мочой.

Литература

1. Кластерная систематизация параметров санитарно-эпидемиологического благополучия населения регионов Российской Федерации и городов федерального значения / Г. Г. Онищенко [и др.] // Анализ риска здоровью. — 2016. — № 1 (13). — С. 4–14.
2. Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Importance. Health Significance, Safety Precautions / ed. I. Rosborg. — Cham: Springer, Switzerland, 2015. — 140 p.
3. Guidelines for Drinking Water Quality / World Health Organization. — 4th ed. — Geneva, Switzerland: WHO, 2011. — 541 p.
4. Nutrients in drinking-water. — Geneva: WHO, 2005. — 210 p.
5. A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness / L. A. Catling [et al.] // J. Water Health. — 2008. — Vol. 6, iss. 4. — P. 433–442.
6. The influence of calcium and magnesium in drinking water and diet on cardiovascular risk factors in individuals living in hard and soft areas with differences in cardiovascular mortality / C. Nerbrand [et al.] // BMC Public Health. — 2003. — Vol. 3. — Art. 21.
7. Calcium: Magnesium ratio in local groundwater and incidence of acute myocardial infarction among males in rural Finland / A. Kousa [et al.] // Environ. Health Perspect. — 2006. — Vol. 114, iss. 5. — P. 730–734.
8. Maksimović, Z. Magnesium and calcium in drinking water in relation to cardiovascular mortality in Serbia / Z. Maksimović, M. Ršumović, M. Djordjević // Bull. T. CXL Acad. Serbe Sci. Arts. — 2010. — № 46. — P. 131–140.
9. Улубиева, Е. А. Влияние магния на сердечно-сосудистую систему у женщин / Е. А. Улубиева, А. Г. Автандилов // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. — 2016. — Т. 12, № 1. — С. 87–93.
10. Nielsen, F. H. Dietary Magnesium and Chronic Disease / F. H. Nielsen // Adv. Chronic Kidney Dis. — 2018. — Vol. 25, iss. 3. — P. 230–235.
11. Надлежащая лабораторная практика: ТКП 125–2008(02040). — Введ. 01.05.2008. — Минск: РУП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении», 2008. — 40 с.
12. Guide for the care and use of laboratory animals. — Washington, D. C.: Nat. acad. press, 1996. — 154 p.
13. Айзман, Р. И. Влияние питьевой воды с различным содержанием магния на биохимические показатели плазмы крови крыс / Р. И. Айзман, С. А. Недовесова, Е. М. Трофимович // Вестн. Тувин. гос. ун-та. Вып. 2: Естественные и сельскохозяйственные науки. — 2016. — № 2 (29). — С. 24–28.

14. Влияние длительного потребления питьевой воды с повышенным содержанием магния на функции почек у животных / С. А. Недовесова [и др.] // Вестн. Новосибир. гос. пед. ун-та. — 2017. — Т. 7, № 1. — С. 216–229.

15. Функциональное состояние почек крыс в условиях потребления питьевой воды с повышенным содержанием магния / И. И. Козловский [и др.] // Актуальные науч. исслед. в соврем. мире. — 2018. — № 2–3 (34). — С. 32–37.

16. Влияние обогащения питьевой воды кальцием и магнием на состояние сердечно-сосудистой системы у спонтанно-гипертензивных крыс / Г. Т. Иванова [и др.] // Нефрология. — 2017. — Т. 21, № 6. — С. 60–67.

Drazdova A. V., Suravets T. Z., Hrynychak V. A., Firaho H. V.

EFFECT OF DRINKING WATER WITH DIFFERENT MINERALIZATION LEVELS ON BLOOD AND URINE INDICATORS OF RATS DURING LONG-TERM EXPOSURE

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The scientific literature data on the effect of the mineral composition of drinking water, caused by both an increased and a decreased content of magnesium and calcium ions, on various organs and systems are contradictory (both according to the results of toxicological experiments and epidemiological studies). At the same time, in general, it has been shown that when drinking water is consumed with a mineral composition that does not correspond to the permissible limits of the concentration of macro- and microelements, physiological changes or pathological conditions are observed. The article presents the results of experimental studies in terms of changes in blood and urine indices in rats when drinking water of various levels of mineralization during long-term exposure is consumed. In laboratory animals that received drinking water with a mineralization level of 2 000 mg/l, multidirectional shifts in protein and mineral metabolism were noted in the form of changes in the concentration of total protein, calcium, urea in the blood, as well as urinary calcium excretion ($p < 0,05$).

Keywords: drinking water, mineral composition, hardness, macro- and microelements, biochemical parameters, laboratory animals.

References

1. Onishchenko G. G., Zaitseva N. V., May I. V., Andreeva E. E. Cluster systematization of the parameters of sanitary and epidemiological welfare of the population in the regions of the Russian Federation and the federal cities. *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2016; 1: 4–14. (in Russian)
2. Rosborg I., ed. *Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Importance, Health Significance, Safety Precautions*. Cham, Switzerland: Springer; 2015.
3. WHO. *Guidelines for Drinking Water Quality*. 4th ed. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2011.
4. *Nutrients in drinking-water*. Geneva: WHO; 2005.
5. Catling L. A., Abubakar I., Lake I. R. et al. A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness. *J. Water Health*. 2008; 6(4): 433–42.
6. Nerbrand C., Agréus L., Lenner R. A. et al. The influence of calcium and magnesium in drinking water and diet on cardiovascular risk factors in individuals living in hard and soft areas with differences in cardiovascular mortality. *BMC Public Health*. 2003; 3: 21.
7. Kousa A., Havulinna A. S., Moltchanova E. et al. Calcium: Magnesium ratio in local groundwater and incidence of acute myocardial infarction among males in rural Finland. *Environ. Health Perspect.* 2006; 114(5): 730–4.
8. Maksimović Z., Ršumović M., Djordjević M. Magnesium and calcium in drinking water in relation to cardiovascular mortality in Serbia. *Bull. T. CXL Acad. Serbe Sci. Arts*. 2010; 46: 131–40.
9. Ulubieva E. A., Avtandilov A. G. Effect of magnesium on the cardiovascular system in women. *Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii [Rational Pharmacotherapy in Cardiology]*. 2016; 12(1): 87–93. (in Russian)

10. Nielsen F. H. Dietary Magnesium and Chronic Disease. *Adv. Chronic Kidney Dis.* 2018; 25(3): 230–5.
11. Good laboratory practice: ТКР 125–2008(02040). Minsk: RUP «Centr ekspertiz i ispytanij v zdavoohranenii»; 2008. (in Russian)
12. Guide for the care and use of laboratory animals. Washington, D.C.: Nat. acad. Press; 1996.
13. Aizman R., Nedovesova S., Trofimovich E. The effect of drinking water with different magnesium content on biochemical blood plasma parameters in rats. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 2: Estestvennye i sel'skokhozyaystvennye nauki [Bulletin of Tuva state University. Iss 2: Natural and agricultural Sciences]*. 2016; 2(29): 24–8. (in Russian)
14. Nedovesova S. A., Trofimovich E. M., Turbinsky V. V., Aizman R. I. The Effect of long-term consumption of drinking water with increased magnesium content on renal functions in animals. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin]*. 2017; 7(1): 216–29. (in Russian)
15. Kozlovsky I. I., Kozlovskaya N. I., Putintseva K. A. et al. Functional state of the kidneys of rats in conditions of drinking water consumption with an increased content of magnesium. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2018; 2–3(34): 32–7. (in Russian)
16. Ivanova G. T., Beresneva O. N., Parastaeva M. M., Kaiukov I. G. Effect of addition of calcium and magnesium in drinking water on state of cardiovascular system in spontaneously hypertensive rats. *Nefrologiya [Nephrology (Saint-Petersburg) Journal]*. 2017; 21(6): 60–7. (in Russian)
- e-mail для переписки: volk_tz@mail.ru

Поступила 05.11.2021

УДК 664:546.43–026.88

Дроздова Е. В., Цимберова Е. И.¹, Фираго А. В., Дребенкова И. В., Суворец Т. З.

ОЦЕНКА АЛИМЕНТАРНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ БАРИЕМ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь,*

*¹ Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Проведена оценка алиментарной экспозиции барием населения Республики Беларусь на основе изучения содержания бария в пищевой продукции и уровней потребления частотным методом. Наибольшие уровни бария определялись в хлебобулочных, крупяных и кондитерских изделиях, максимальные концентрации — в бразильском орехе (590,5 мг/кг), сухих завтраках (7,011 мг/кг), арахисе жареном (4,398 мг/кг), орехе пекан (4,488 мг/кг), соевых бобах, базилике, морской капусте. Почти $\frac{1}{4}$ исследованных образцов продукции содержат барий в концентрации ниже предела обнаружения. При средних уровнях воздействия (реалистичный сценарий) диапазоны поступления бария с пищевыми продуктами варьировали от 3,3 до 3,6 мкг/кг массы тела в сутки, наибольший вклад в алиментарную экспозицию вносили овощи, крупяные и макаронные изделия, хлебобулочные изделия. Среднесуточное поступление с рационом по основным сценариям (1–4) не превышает референтных доз для бария при пероральном поступлении (0,21 и 0,07 мг/кг массы тела в сутки).

Ключевые слова: барий, пищевая продукция, оценка риска, оценка экспозиции.

Введение. В настоящее время действующий в республике норматив бария в питьевой воде составляет 0,1 мг/л (2-й класс опасности, лимитирующий показатель вредности — санитарно-токсикологический), в то время как нашими ближайшими соседями (Российская Федерация), международными организациями (далее — ВОЗ) и развитыми зарубежными странами (США, Канада и др.) за последние 20 лет он неоднократно пересматривался в сторону смягчения на основании комплекса современных научных доказательств. Вопрос корректировки гигиенического норматива бария в питьевой воде в нашей стране актуализировался за последние годы, в том числе в связи с переутверждением запасов пресных вод и планированием реконструкции систем питьевого водоснабжения на некоторых крупнейших водозаборах республики (технологии очистки воды от

бария — обратный осмос, ионный обмен — чрезвычайно затратны и малореалистичны для больших станций водоподготовки).

Барий представляет собой твердый щелочноземельный металл, встречающийся в природных условиях в виде двухвалентного катиона. Основными путями его поступления в организм являются ингаляционный и пероральный [1]. По данным проводимых в зарубежных странах оценок, суммарное суточное поступление бария с пищевыми продуктами, водой и воздухом может быть оценено от 0,7 до 1,9 мг/день, при этом основным источником поступления являются пищевые продукты, а питьевая вода может вносить значительный вклад в общую нагрузку на территориях с высокими концентрациями вещества в воде источников. Присутствующий в питьевой воде барий имеет природное происхождение [1–5]. Желудочно-кишечная абсорбция зависит от вида соединения бария, его растворимости и индивидуальных особенностей организма (возраст, время после приема пищи). Ингаляционный путь имеет значение для производственного сценария воздействия, скорость и степень абсорбции бария из дыхательных путей зависят от концентрации, размера частиц, клиренса из верхних дыхательных путей и растворимости соединения [1]. Барий переносится в организме с током крови и депонируется преимущественно в костной ткани, а также в мышцах, жировой и соединительной тканях, коже, выводится из организма в основном с испражнениями и мочой [1–7]. Токсичность бария зависит от его формы; органами-мишенями, по воздействию на которые в настоящее время за рубежом установлены значения референтных доз (далее — RfD), являются сердечно-сосудистая система (значение RfD установлено по результатам эпидемиологических исследований на основании распространенности на контрольной и изучаемой территории опорного эффекта — артериальной гипертензии) и выделительная система (значение RfD установлено в 2-летних экспериментах на мышцах, опорный эффект — нефропатия).

Поскольку действующая предельно допустимая концентрация (далее — ПДК) установлена исходя из 100 % вклада питьевой воды в суточное поступление бария в организм, а за время, прошедшее со времени разработки ПДК, получены новые надежные данные о биологическом действии вещества, для пересмотра норматива целесообразно проведение комплексных токсиколого-гигиенических исследований по изучению современной доказательной базы по оценке его влияния на организм, а также по оценке рисков здоровью с определением удельного вклада воды в суммарное суточное поступление.

Национальные данные по содержанию бария в основных видах пищевой продукции и уровням его потенциального суточного поступления с рационом отсутствуют, целевые исследования не проводились. Проведенный анализ свидетельствует, что такие данные для стран, находящихся в сходных социально-экономических и экологических условиях (Российская Федерация, страны СНГ), не представлены в научной литературе и доступной научно-технической документации.

Целью представленного в статье исследования являлось изучение уровней алиментарной экспозиции барием населения Республики Беларусь с учетом реальных уровней потребления для последующей научно обоснованной корректировки ПДК бария в питьевой воде. Работа выполнялась в рамках задания 01.02. «Провести оценку рисков здоровью населения, ассоциированного с комплексным поступлением бария в организм, и обосновать корректировку гигиенического норматива бария в питьевой воде» ОНТП «Гигиеническая безопасность», 2019–2023 гг. (рег. № НИОКР 20191608).

Материалы и методы. В рамках оценки риска для характеристики алиментарной нагрузки среди различных групп населения на этапе «оценка экспозиции» данные о содержании веществ в продуктах соотносятся с информацией об уровнях потребления пищевых продуктов.

Оценку фактического питания проводили методом изучения частоты потребления пищевых продуктов, основывающимся на использовании анкеты анализа частоты потребления пищевых продуктов. Анкета описывает частоту потребления отдельных видов пищевых продуктов и блюд (с учетом их объема или массы) за 30 дней, предшествующих анкетированию, что позволяет получить более полную информацию о разнообразии питания обследуемых с учетом количественного потребления пищевых продуктов. Параллельно в рамках НИР проводились исследования уровней потребления пищевых продуктов также методом 24-часового воспроизведения, однако полученные результаты не в полной мере позволяли учесть экспозицию с некоторыми не ежедневно потребляемыми видами продуктов, которые потенциально могут вносить существенный вклад именно для бария. Применение метода изучения частоты потребления пищевых продуктов позволяет оценить поступление веществ в составе рациона в организм человека путем разделения респондентов на группы на основе различных уровней потребления [8].

Стандартная анкета частотного метода [9–11] была адаптирована в части включения пищевых продуктов, являющихся основными источниками бария (по литературным данным) [12], и стандарт-

ных размеров порций на 1 прием пищевых продуктов. Адаптированная анкета содержит 69 видов продуктов, в том числе хлебобулочные изделия, крупяные и макаронные изделия, кондитерские изделия, овощи, фрукты, масложировую продукцию, мясо и мясные изделия, рыбу, молочную продукцию, яйца, кофе, чай, алкогольные напитки. Дополнительно были включены сухие завтраки и бразильские орехи, которые, по данным зарубежных исследователей, содержат барий в высоких концентрациях и могут быть существенным источником его поступления в организм [12].

С использованием адаптированного частотного метода проведено анкетирование взрослого населения активного возраста, проживающего в городской местности, — 301 респондента в возрасте 17–25 лет, из них 266 женщин и 35 мужчин, что позволило оценить как индивидуальное потребление пищевых продуктов, так и его распределение в обследованной выборке.

Количество потребляемых продуктов определяли как производное категории частоты потребления, величины порции и указанного анкетированным количества порций пищи с использованием «Альбома порций продуктов и блюд». Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью пакета прикладных программ MS Excel 2010 и пакета «Statistica 12.0». Оценка соответствия полученных данных нормальному распределению осуществлялась с использованием критериев W -теста Шапиро—Уилка (Shapiro—Wilk W -test) и Колмогорова—Смирнова с поправкой Лиллиефорса (Kolmogorov—Smirnov & Lilliefors test for normality). Распределение данных считалось отличным от нормального (непараметрическим) при уровне значимости $p < 0,05$. Для характеристики фактического уровня потребления пищевой продукции использованы медиана (далее — Me), интерквартильный размах (далее — $P25$ — $P75$) и 95-й процентиль (далее — $P95$).

Выполнены лабораторные исследования по изучению количественного содержания бария в пищевых продуктах, потребляемых населением в условиях Республики Беларусь. Для этих целей сформированы 10 групп образцов пищевых продуктов: крупяные изделия и макароны; хлебобулочные изделия; молочные продукты и яйца; мясо и мясные продукты; рыба и рыбные продукты; овощи, включая зелень и картофель; фрукты и ягоды; масложировая продукция; кондитерские изделия; сухофрукты, орехи, семена. Всего исследованы 372 образца пищевой продукции.

Лабораторное определение бария в пробах проводили методом ГОСТ 31870–2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой» [13], позволяющим проводить измерения содержания бария в растворе анализируемой пробы без разбавления в диапазоне от 0,001 до 50 мг/дм³. Анализ выполнялся на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Ultima 2 (Horiba Jobin Yvon, Япония — Франция).

Результаты и обсуждение. Результаты анализа анкет частотного метода представлены в таблице 1. С целью проведения в последующем оценки острой алиментарной экспозиции изучена не только структура потребления пищевых продуктов, являющихся потенциальными источниками бария в целом для всех анкетированных, но и исключительно для потребителей данных видов продукции (респондентов, которые потребляли изучаемый вид пищевой продукции не менее одного раза за время, указанное в анкете).

Таблица 1. — Структура потребления пищевых продуктов, являющихся потенциальными источниками бария (г/сут)

Вид пищевой продукции	Все потребители в целом				Только потребители			
	Медиана	P25	P75	P95	Медиана	P25	P75	P95
Хлебобулочные изделия	57,13	25,80	98,64	199,00	57,36	29,19	100,28	212,13
Крупяные изделия и макароны	107,10	52,65	167,85	335,61	107,10	55,05	170,65	338,21
Овощи	304,67	165,64	539,96	1 009,58	305,42	165,64	540,80	1 012,49
Фрукты	177,51	87,19	318,50	1 117,80	179,11	88,42	319,06	1 127,91
Кондитерские изделия	16,15	6,43	30,85	95,94	17,23	8,15	32,78	98,72
Масла, жиры	10,66	2,84	25,88	85,75	12,14	3,69	27,38	96,00
Мясо и мясные продукты	112,22	70,11	199,92	398,40	113,70	70,42	200,09	398,88
Рыба и рыбные продукты	6,50	0	11,70	46,41	10,00	5,00	14,88	71,40
Молоко и молочные продукты	135,42	55,35	330,00	713,65	136,21	55,71	333,95	714,01
Сухофрукты и орехи	2,50	0	5,85	53,55	5,85	2,50	17,85	56,05

Результаты исследований содержания бария в пищевой продукции в обобщенном виде представлены в таблице 2.

Таблица 2. — Содержание бария в пищевой продукции (мг/кг)

Вид пищевой продукции	Количество образцов	Удельный вес проб ниже предела обнаружения, %	Содержание бария, мг/кг				
			Мах	Медиана	P25	P75	P95
Хлебобулочные изделия	28	7,1	2,17	0,82	0,47	1,14	1,47
Крупяные изделия и макароны	52	5,8	7,01	0,49	0,13	0,88	2,34
Овощи	53	15,1	3,43	0,31	0,09	0,88	2,49
Фрукты	32	21,9	1,34	0,11	0,06	0,45	1,2
Кондитерские изделия	30	6,7	4,26	0,47	0,2	1,41	1,99
Масла, жиры	30	70	0,78	0,01	0,01	0,02	0,29
Мясо и мясные продукты	51	41,2	0,7	0,03	0,01	0,07	0,20
Рыба и морепродукты	32	37,5	21,44	0,05	0,01	0,58	3,75
Молоко и молочные продукты	32	40,6	1,67	0,06	0,01	0,26	1,46
Сухофрукты и орехи	33	6,1	590,50	0,64	0,20	2,06	178,52

Наибольшие уровни бария определялись в следующих группах продуктов: «Хлебобулочные изделия» — 0,82 мг/кг (0,47–1,12 мг/кг), «Крупяные изделия и макароны» — 0,46 мг/кг (0,12–0,82 мг/кг), «Кондитерские изделия» — 0,47 мг/кг (0,20–1,41 мг/кг), «Овощи» — 0,09 мг/кг (0,31–0,90 мг/кг), при этом его максимальные концентрации содержались в бразильском орехе (590,5 мг/кг), сухих завтраках (7,011 мг/кг), арахисе жареном (4,398 мг/кг), орехе пекан (4,488 мг/кг), соевых бобах (3,43 мг/кг), базилике (2,42–2,57 мг/кг), морской капусте (2,014 мг/кг). 24,5 % исследованных образцов пищевых продуктов содержали барий в концентрации ниже предела обнаружения 0,025 мг/кг, причем наибольший удельный вес таких образцов отмечался среди масложировой продукции (70 %), рыбы и рыбных продуктов (37,5 %), молока и молочной продукции (40,6 %), мяса и мясной продукции (41,2 %), наименьший — среди крупяных изделий (5,8 %), сухофруктов (по 6,1 %) и хлебобулочных изделий (7,1 %). В целом полученные данные о содержании бария в основных группах продукции соотносятся с данными научной литературы.

Для оценки уровней алиментарной экспозиции населения были сформированы 5 моделей (сценариев) (в том числе аггравированный) [14]. Модели оценки алиментарной экспозиции для каждого вида продукции учитывали Me и 95P содержания бария в изучаемых группах пищевых продуктов и уровня их потребления:

1-я модель (реалистичный сценарий): среднее содержание бария в пищевых продуктах (медиана) — средний уровень потребления (медиана);

2-я модель: среднее (медиана) содержание бария в продуктах — средний уровень (медиана) потребления только потребителями (позволяет идентифицировать три группы пищевых продуктов, вносящих наибольший вклад в алиментарную нагрузку);

3-я модель: высокое содержание бария в пищевых продуктах (95P) — средний уровень потребления (медиана) (характеризует алиментарную нагрузку при условии среднего уровня потребления и высокого (приближающегося к максимальному) содержания бария в пищевых продуктах, формирующих рацион);

4-я модель: среднее содержание бария в пищевых продуктах (медиана) — высокий уровень потребления (95P) (характеризует алиментарную нагрузку при условии высокого уровня потребления пищевых продуктов и среднего содержания бария в пищевых продуктах, формирующих рацион);

5-я модель (пессимистичный (аггравированный) сценарий): высокое содержание бария в пищевых продуктах (95P) — высокий уровень потребления (95P).

Моделирование незначимых результатов «ниже предела обнаружения» или «не обнаружено» с использованием замещающих значений позволило для отдельных пищевых продуктов определить диапазоны уровней содержания бария: нижняя граница (далее — НГ) — 0 мг/кг, средний уровень (далее — СУ) — 0,5 от нижней границы диапазона измерений (0,0125 мг/кг), верхняя граница (далее — ВГ) — нижняя граница диапазона измерений (0,025 мг/кг).

Для оценки поступления бария с рационом суммировалось его поступление с каждым видом пищевой продукции. Используемая в нашем исследовании структура питания среди взрослых

основывалась на фактическом потреблении пищевых продуктов. Расчет экспозиции бария проводился с использованием как стандартного значения массы тела 70 кг, так и рекомендуемого ВОЗ значения 60 кг. Изучено «хроническое» (ежедневное) и «острое» потребление видов пищевой продукции (периодическое потребление видов продукции, вносящих наибольший вклад в поступление обсуждаемых веществ в организм).

Установлено, что «хроническое» среднесуточное поступление бария по реалистичному сценарию в основном формируется за счет 4 групп пищевых продуктов — овощей (медианное значение потребления 304,7 г/сут, вклад в алиментарное поступление бария до 40 %), крупяных изделий и макарон (107,1 г/сут, вклад более 20 %), хлебобулочных изделий (57,36 г/сут, до 20 %), а также фруктов (177,51 г/сут, до 9 %).

Для оценки острой алиментарной экспозиции изучено потребление пищевой продукции только ее потребителями (модель 2). Результаты оценки (таблица 3) свидетельствуют, что при медианных уровнях потребления пищевых продуктов только потребителями и содержания бария в них диапазоны среднесуточного поступления с рационом варьировали от 0 (масложировая продукция) до 0,67 (хлебобулочные изделия) и 1,37 (овощи) мкг/кг массы тела в сутки. Принципиальных отличий между «острым» и «хроническим» алиментарным поступлением бария не отмечено — наибольший вклад в поступление бария внесли те же группы продукции, что и для населения в целом: хлебобулочные изделия, крупяные и макаронные изделия, овощи.

Таблица 3.— Алиментарная экспозиция, ассоциированная с поступлением бария с отдельными пищевыми продуктами, только у их потребителей (масса тела 70 кг) (мкг/кг массы тела в сутки)

Вид пищевой продукции	2-я модель		
	НГ	СУ	ВГ
Хлебобулочные изделия	0,67	0,67	0,67
Каши, макароны	0,70	0,74	1,07
Овощи	1,37	1,35	1,30
Фрукты	0,29	0,29	0,29
Кондитерские изделия	0,11	0,11	0,11
Масла, жиры	0,00	0,00	0,00
Мясо и мясные продукты	0,04	0,04	0,04
Рыба и рыбные продукты	0,01	0,01	0,01
Молоко и молочные продукты	0,12	0,12	0,12
Сухофрукты и орехи	0,05	0,05	0,05
Среднесуточное поступление с рационом	3,35	3,39	3,66

Результаты расчета алиментарной экспозиции барием для населения в целом представлены в таблице 4. При реалистичном сценарии экспозиции (модель 1) диапазоны поступления бария с пищевыми продуктами варьировали от 3,3 до 3,6 мкг/кг массы тела в сутки. Анализ аггравированной модели, характеризующей алиментарную нагрузку при условии высокого уровня потребления и высокого, приближающегося к максимальному, содержания бария в пищевых продуктах, формирующих рацион, свидетельствует, что уровни экспозиции составили 228,8 мкг/кг массы тела в сутки, при этом до 60 % могут вносить сухофрукты и орехи, 15 % — овощи.

Полученные расчетные значения среднесуточного поступления с рационом бария сопоставлялись со значениями референтных доз (TDI 0,21 мкг/кг массы тела в сутки, ВОЗ, 2017, RfD 0,07 мкг/кг массы тела в сутки, ВОЗ, 2011, US EPA, 1998) при условии стандартной массы тела 60 кг (ВОЗ) и 70 кг (национальные методические документы) [1–7, 15].

Заключение. Наибольшие уровни содержания бария определяются в хлебобулочных, крупяных и кондитерских изделиях, максимальные концентрации — в бразильском орехе, сухих завтраках, арахисе жареном, орехе пекан, соевых бобах, базилике, морской капусте. Почти $\frac{1}{4}$ исследованных образцов пищевых продуктов содержали барий в концентрации ниже предела обнаружения 0,025 мкг/кг, в том числе 70 % образцов масложировой продукции, более 40 % — молока и молочной продукции, мяса и мясной продукции, $\frac{1}{3}$ — рыбы и рыбных продуктов. При реалистичном сценарии экспозиции (модель 1) диапазоны поступления бария с пищевыми продуктами варьировали от 3,3 до 3,6 мкг/кг массы тела в сутки. «Хроническое» среднесуточное поступление бария в основном

Таблица 4. — Среднесуточное поступление бария с пищевой продукцией, рассчитанное с использованием различных сценариев алиментарной нагрузки (мкг/кг массы тела в сутки) (масса тела 70 кг)

Вид пищевой продукции	1-я модель			3-я модель			4-я модель			5-я (агравированная) модель		
	НГ	СУ	ВГ	НГ	СУ	ВГ	НГ	СУ	ВГ	НГ	СУ	ВГ
Хлебобулочные изделия	0,665	0,665	0,665	1,198	1,198	1,198	2,317	2,317	2,317	4,173	4,173	4,173
Крупяные и макаронные изделия	0,696	0,742	1,071	3,648	3,581	3,803	2,181	2,325	3,356	11,430	11,221	11,917
Овощи	1,362	1,349	1,293	10,804	10,868	10,549	4,514	4,471	4,284	35,803	36,013	34,955
Фрукты	0,287	0,287	0,287	3,040	3,043	3,040	1,804	1,804	1,804	19,146	19,162	19,146
Кондитерские изделия	0,107	0,107	0,107	0,460	0,460	0,460	0,637	0,637	0,637	2,733	2,733	2,733
Масла, жиры	0,000	0,002	0,004	0,044	0,044	0,044	0,000	0,015	0,031	0,358	0,358	0,358
Мясо и мясные продукты	0,042	0,042	0,040	0,333	0,333	0,329	0,148	0,148	0,142	1,184	1,184	1,169
Рыба	0,004	0,004	0,003	0,252	0,348	0,355	0,027	0,030	0,025	1,801	2,485	2,534
Молоко и молочные продукты	0,119	0,119	0,119	2,831	2,831	2,897	0,627	0,627	0,627	14,920	14,920	15,267
Сухофрукты	0,023	0,023	0,023	6,376	6,376	6,376	0,493	0,493	0,493	136,568	136,568	136,568
Среднесуточное поступление с рационом	3,305	3,340	3,612	28,988	29,083	29,051	12,749	12,868	13,715	228,117	228,819	228,820

формируется за счет 4 групп пищевых продуктов — овощей (до 40 %), крупяных изделий и макарон (более 20 %), хлебобулочных изделий (до 20 %) и фруктов (до 9 %). Принципиальных отличий в структуре алиментарного поступления бария между группами «все потребители» и «только потребители» не отмечено. Анализ агgravированной модели, характеризующей алиментарную нагрузку при условии высокого уровня потребления и высокого, приближающегося к максимальному, содержания бария в пищевых продуктах, формирующих рацион, свидетельствует, что уровни экспозиции составили 228,8 мг/кг массы тела в сутки.

Гигиеническая оценка полученных результатов позволила установить, что среднесуточное поступление с рационом бария при расчете на стандартную массу тела 60 и 70 кг не превышает референтных доз для алиментарного поступления бария (0,21 и 0,07 мг/кг массы тела в сутки) [1–7] по 1–4-му сценариям. Учитывая, что при агgravированном сценарии до 60 % вносят сухофрукты и орехи, а в значительно меньшей степени — ежедневно потребляемые в больших количествах продукты, предложено исключить данный сценарий при оценке риска.

Полученные результаты использованы в последующем для оценки рисков здоровью, ассоциированных с алиментарным поступлением бария в организм (с рационом и питьевой водой), и научно обоснованной корректировки ПДК бария в питьевой воде с учетом удельного вклада водного фактора в суммарное суточное потребление.

Литература

1. Toxicological profile for barium and barium compounds [Electronic resource] // Atlanta, GA: United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. — 2007. — Mode of access: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf>. — Date of access: 20.09.2021.

2. Barium and barium compounds [Electronic resource]: International Programme on Chemical Safety (Concise International Chemical Assessment Document 33). — Geneva: World Health Organization, 2001. — Mode of access: <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad33.htm#4.0>. — Date of access: 20.09.2021.

3. Barium and Compounds: In support of summary information on the Integrated Risk Information System [Electronic resource] / National Center for Environmental Assessment. — Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2005. — Mode of access: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0010_summary.pdf. — Date of access: 20.09.2021.

4. Barium compounds [Electronic resource] // United States National Library of Medicine, Hazardous Substances Data Bank. — 2019. — Mode of access: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>. — Date of access: 15.10.2021.

5. Barium in Drinking Water [Electronic resource] // Health Canada. — 2018. — Mode of access: <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/programs/consultation-barium-drinking-water/document-eng.pdf>. — Date of access: 20.10.2021.

6. Barium in Drinking-water [Electronic resource]: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. — Geneva: World Health Organization, 2016. — Mode of access: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/barium-background-jan17.pdf. — Date of access: 20.09.2021.

7. Toxicological review of barium and compounds: In support of summary information on the Integrated Risk Information System [Electronic resource] // National Center for Environmental Assessment. — Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. — 2005. — Mode of access: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0010tr.pdf. — Date of access: 20.09.2021.

8. Validity and Reproducibility of a Food Frequency Questionnaire for Dietary Factors Related to Colorectal Cancer / D. N. Tollosa [et al.] // *Nutrients*. — 2017. — Vol. 9, iss. 11. — P. 1257–1274.

9. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food / World Health Organization. — Geneva, 2009. — 30 p. — (Environmental Health Criteria 240–3).

10. Изучение фактического питания на основе метода анализа частоты потребления пищевых продуктов: инструкция по применению, рег. № 017–1211: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 15.12.11: по сост. на 23 мая 2017 г. — Минск: Респ. науч.-практ. центр гигиены, 2011. — 21 с.

11. Сычик, С. И. Адаптация метода изучения потребления пищевых продуктов для целей оценки алиментарной экспозиции нитратами, нитритами и нитрозаминами / С. И. Сычик, Е. В. Федоренко // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч.

конф., Минск, 17–18 мая 2018 г.: в 3 ч. / МГЭУ им. А. Д. Сахарова БГУ; редкол.: А. Н. Батян [и др.], под ред.: С. А. Маскевича, С. С. Позняка. — Минск: ИВЦ Минфина, 2018. — Ч. 2. — С. 98–99.

12. Распространенность бария в пищевых продуктах (анализ литературных источников) / Е. В. Дроздова [и др.] // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», посвященной 95-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь (Минск, 30 сентября — 1 октября 2021 г.) / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик. — Минск: Изд. центр БГУ, 2021. — С. 123–126.

13. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии: ГОСТ 31870–2012. — Введ. РБ 01.01.15. — Минск: Госстандарт, 2013. — 19 с.

14. Оценка алиментарной химической нагрузки на население: инструкция по применению, рег. № 018–1211: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 15.12.11: по сост. на 23 мая 2017 г. — Минск: Респ. науч.-практ. центр гигиены, 2011. — 14 с.

15. Дроздова, Е. В. К вопросу научного обоснования гигиенического нормирования бария в питьевой воде / Е. В. Дроздова, Е. И. Цимберова // Мед. журн. — 2019. — № 1. — С. 4–7.

Drazdova A. V., Tsimberova E. I.¹, Firaho H. V., Drebenkova I. V., Suravets T. Z.

ASSESSMENT OF ALIMENTARY EXPOSITION BY BARIUM IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus,

¹Educational Institution «Belarusian State Medical University», Minsk, Belarus

Assessment of the alimentary exposure by the barium of the population of the Republic of Belarus was carried out based on the study of the barium content in food products and levels of consumption by the frequency method. The highest levels of barium were found in bakery, cereals and confectionery products, the maximum concentrations were found in Brazil nuts (590.5 mg/kg), cereals (7.011 mg/kg), roasted peanuts (4.398 mg/kg), pecan nuts (4.488 mg/kg), soybeans, basil, seaweed. Almost ¼ of the tested product samples contain barium in a concentration below the detection limit. At medium exposure levels (realistic scenario), the ranges of barium intake with food products varied from 3.3 to 3.6 µg/kg body weight per day; vegetables, cereals and pasta, and bakery products made the largest contribution to the alimentary exposure. The average daily intake with the diet according to the main scenarios (1–4) does not exceed the reference doses for barium for oral intake (0.21 and 0.07 mg/kg of body weight per day).

Keywords: barium, food, risk assessment, exposure assessment.

References

1. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). Toxicological profile for barium and barium compounds Available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf> (accessed 20 September 2021).

2. WHO (2001). Barium and barium compounds: International Programme on Chemical Safety (Concise International Chemical Assessment Document 33). Available at: <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad33.htm#4.0> (accessed 20 September 2021).

3. US Environmental Protection Agency. National Center for Environmental Assessment (2005). Barium and Compounds: In support of summary information on the Integrated Risk Information System. Available at: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0010_summary.pdf (accessed 20 September 2021).

4. US National Library of Medicine. Hazardous Substances Data Bank (2019). Barium compounds. Available at: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB> (accessed 15 May 2021).

5. Health Canada (2018). Barium in Drinking Water. Available at: <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/programs/consultation-barium-drinking-water/document-eng.pdf> (accessed 20 October 2021).

6. WHO (2016). Barium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/barium-background-jan17.pdf (accessed 20 September 2021).

7. US Environmental Protection Agency. National Center for Environmental Assessment (2005). Toxicological review of barium and compounds: In support of summary information on the Integrated Risk

Information System. Available at: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0010tr.pdf (accessed 20 September 2021).

8. Tollosa D. N., Van Camp J., Huybrechts I. et al. Validity and Reproducibility of a Food Frequency Questionnaire for Dietary Factors Related to Colorectal Cancer. *Nutrients*. 2017; 9(11): 1257–74.

9. WHO (2009). Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food. *Environmental Health Criteria* 240–3.

10. The study of actual nutrition based on the method of analyzing the frequency of food consumption: instruction, registration No 017–1211: approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on December 15, 2011. Minsk; 2011. (in Russian)

11. Sychik S., Fedorenko E. Adaptation of the method of studying the consumption of foodstuffs for the purposes of evaluation of alimentary exposition by nitrates, nitrites and nitrosamines. In: Maskevich S. A., Poznyak S. S., eds. *Sakharov readings 2018: Environmental problems of the XXI century: Proceedings of the 18th international scientific conference*. 2018, May 17–18; Minsk; Belarus. v. 2. Minsk; 2018: 98–9. (in Russian)

12. Drozdova E. V., Tsimberova E. I., Firago A. V., Surovets T. Z. The prevalence of barium in food (analysis of literature sources). In: Sychik S. I., chief ed. *Proceedings of the international scientific and practical conference «Health and Environment» dedicated to the 95th anniversary of the sanitary and epidemiological service of the Republic of Belarus*. 2021, Sept. 30–Oct. 1; Minsk; Belarus. Minsk; 2021: 123–6. (in Russian)

13. State standard 31870–2012. Drinking water. Determination of elements content by atomic spectrometry methods. Minsk: Gosstandart; 2013. (in Russian)

14. Assessment of alimentary chemical load on the population: instruction, registration No 018–1211: approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on December 15, 2011. Minsk; 2011. (in Russian)

15. Drozdova E. V., Tsimberova E. I. About scientific justification of hygienic regulation for barium in drinking water. *Meditinskiy zhurnal*. 2019; 1: 4–7. (in Russian)

e-mail для переписки: drozdovaev@mail.ru

Поступила 23.11.2021

УДК 57.083.1:614.7

Дудчик Н. В.

ОПЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МИКРОБНОГО СТАТУСА ОБЪЕКТОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Научное обоснование и практика гигиенического нормирования биологических факторов среды обитания имеют ряд принципиальных особенностей и в методическом плане разработаны меньше, чем нормирование химических факторов. Эффективный гигиенический контроль содержания микроорганизмов в объектах среды обитания основан на использовании методов количественной и качественной оценки с оцененными операционными характеристиками. В ходе выполнения работы осуществлено экспериментальное моделирование микробной контаминации поверхностей, проведены экспериментальные испытания количественной оценки мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов и качественного выявления наличия бактерий группы кишечной палочки в условиях промежуточной прецизионности, рассчитаны операционные характеристики методов выявления микробного статуса объектов среды обитания человека.

Ключевые слова: микробиота, показатели точности, расширенная неопределенность, анализ микробиологического риска.

Введение. Обоснование показателей технического уровня методов, обеспечивающих требования надлежащей лабораторной практики, для достоверной оценки микробной контаминации объектов среды обитания представляет собой самостоятельную аналитическую задачу. Определение и анализ показателей точности и прецизионности методов микробиологического анализа объектов среды обитания являются принципиально важными при решении ряда приоритетных гигиенических

задач: разработке методических подходов динамической оценки изменения микробного статуса; обосновании прогностических моделей и критериев оценки количественных изменений санитарно-показательных и условно-патогенных микроорганизмов на поверхностях, в воздухе и других объектах, в первую очередь на предприятиях пищевой промышленности, в помещениях организаций здравоохранения разных классов чистоты; разработке метрологически аттестованных методик выполнения измерений для количественного определения параметров микробной контаминации [1–4].

В совокупности эти задачи являются необходимыми элементами разработки подходов для эффективной и релевантной гигиенической оценки и прогнозирования санитарно-эпидемиологического состояния объектов среды обитания человека, что соответствует требованиям законодательной метрологии [5, 6].

Цель работы: обоснование показателей технического уровня количественного определения метода оценки мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов и качественного метода оценки наличия бактерий группы кишечной палочки на поверхностях объектов среды.

Материалы и методы. Испытания проводились в лаборатории микробиологии республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» во втором квартале 2021 г. Объектами исследования были музейные штаммы бактерий *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Escherichia coli* ATCC 8739, изоляты бактерий родов *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Staphylococcus*, выделенные при проведении микробиологического мониторинга объектов среды обитания в период с 2013 по 2020 г.

При выполнении испытаний в лаборатории согласно ГОСТ ISO 7218 были соблюдены следующие условия: температура воздуха при выполнении измерений (18–27) °С; атмосферное давление от 84 до 107 кПа (630–800 мм рт. ст.); относительная влажность воздуха не более 80 % при температуре 25 °С; напряжение питающей сети (230 ± 10) В; частота переменного тока (50 ± 0,4) Гц.

Средства измерений, вспомогательные устройства были надлежащим образом калиброваны или аттестованы.

Расходные материалы, посуда: чашки Петри стерильные пластмассовые, диаметр 90 мм; пробирки стерильные стеклянные, объем 20 мл; флаконы стерильные стеклянные, объем 250, 500 мл; пипетки стерильные пластмассовые, объем 1, 10 мл; петли бактериологические разовые пластиковые.

Питательные среды, реактивы: мясо-пептонный агар с глюкозой; питательный агар «МК» с глюкозой; физиологический раствор; среда для выращивания бактерий семейства *Enterobacteriaceae*; среда МакКонки; среда № 3 сухая; агар Эндо; среда для определения ферментации глюкозы; среда для определения восстановления нитратов в нитриты; среда Хью-Лейфсона. Каждая приготовленная партия питательной среды проходила контроль органолептических свойств (цвет, прозрачность, консистенция), стерильности, pH.

Результаты и их обсуждение. *Количественное определение МАФАНМ в смывах.* Метод основан на взятии проб с поверхностей различных объектов путем смыва, посева смывной жидкости непосредственно на чашки Петри с соответствующей средой и подсчете колоний, сформированных на чашке с питательной средой.

В ходе валидации оценивали следующие характеристики: показатели прецизионности: стандартное отклонение воспроизводимости $s_l(O)$ (промежуточной прецизионности); максимальная расширенная неопределенность U .

В качестве средств аттестации использовались смывы с поверхностей лабораторного стола лаборатории микробиологии, содержащие три уровня микробной нагрузки. Для проведения исследований использовали штаммы *S. aureus* ATCC 6538, изолят *S. aureus* ЦГЛМ-1–2019 и суспензию штаммов, выделенных в ходе мониторинга предприятий пищевой промышленности [7–10].

Использовали суточные культуры микроорганизмов. Штаммы отсеивали на мясо-пептонный агар с 0,1 % глюкозы и 0,2 % дрожжевого экстракта и инкубировали в термостате при 37 ± 1 °С в течение 18–24 часов. Затем делали смыв стерильным физиологическим раствором, используя стандарт мутности на 10 ед. Полученную суспензию микроорганизмов вносили по 0,3 мл в 100 мл фосфатного буферного раствора и выдерживали при комнатной температуре в течение 24 часов для формирования устойчивого сообщества. Для получения смеси штаммов в фосфатно-буферный раствор вносили суспензию монокультур в равных долях (по 0,1 мл) и выдерживали при комнатной температуре в течение 24 часов. Конечная концентрация микроорганизмов в суспензии составляла 10^5 КОЕ/мл.

В модельном эксперименте проводили отбор проб с помощью стерильных увлажненных ватных тампонов. В день взятия смывов в каждую пробирку с тампоном наливали (в асептических условиях) по 5 мл стерильного 0,1 % водного раствора пептона или изотонического раствора хлорида натрия

таким образом, чтобы ватный тампон не касался жидкости. Репрезентативной считали пробу, снятую с поверхности 10×10 см (площадь 100 см^2). Для ограничения поверхности использовали шаблон (трафарет) площадью 25 см^2 , изготовленный из металла, который накладывали последовательно на 4 участка. Трафареты перед отбором смывов должны были быть простерилизованы. Тампон тщательно отмывали, затем в зависимости от предполагаемой обсемененности $0,1-1$ мл смывной жидкости помещали в две параллельные чашки Петри, заливали расплавленным и остуженным до 45°C мясо-пептонным агаром ($15-20 \text{ см}^3$), размешивали круговыми движениями. После застывания агара чашки переворачивали и помещали в термостат при температуре 30°C на 72 ч.

После инкубирования подсчитывали все сформированные колонии на поверхности и в толще агара. Предварительный учет проводился через 48 ч, окончательный — через 72 ч.

После инкубирования подсчитывали все сформированные колонии на поверхности и в толще агара. Предварительный учет проводился через 48 ч, окончательный — через 72 ч.

Рассчитывали плотность обсеменения на 100 см^2 по формуле (1):

$$X = \frac{\bar{N} \times V_2}{V_1}, \quad (1)$$

где \bar{N} — количество колоний на чашке;

V_1 — объем посеянной пробы ($0,1-1,0$ мл);

V_2 — объем пробы раствора для помещения смыва (5 мл).

За окончательный результат измерения принимали среднее арифметическое значение двух результатов параллельных измерений, рассчитанное по формуле (2):

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2}{2}, \quad (2)$$

где X_1 — результат первого параллельного измерения;

X_2 — результат второго параллельного измерения.

Результат измерений округляли до двух значащих цифр. Для этого, если третья цифра меньше 5, предшествующую цифру не изменяли; если третья цифра больше или равна 5, предшествующую цифру увеличивали на единицу. Результат измерения выражали числом между 1,0 и 9,9, умноженным на 10 в соответствующей степени.

При проведении валидации использовали смывы с поверхностей лабораторного стола лаборатории микробиологии.

Результаты серии измерений получены в условиях внутрилабораторной воспроизводимости. Проведено $p = 15$ измерений с двумя повторами (x_{ia} и x_{ib}). Результаты измерений, абсолютные разности, квадраты разностей приведены в таблице 1.

Оценка стандартного отклонения воспроизводимости $s_{I(O)}$ (промежуточной прецизионности)

Расчет стандартного отклонения промежуточной прецизионности проводили по формуле (3):

$$s_{I(O)} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^{15} \frac{(\bar{y}_a - \bar{y}_{ai})^2}{n-1} + \sum_{i=1}^{15} \frac{(\bar{y}_b - \bar{y}_{bi})^2}{n-1} \right)}, \quad (3)$$

где \bar{y}_n — результат измерений, преобразованный в $\log_{10} \text{ КОЕ/м}^3$;

i — индекс образца, $i = 1 \dots n$ ($n = 15$);

a, b — индекс фактора оператора, А или В.

Таблица 1. — Сопоставление исходных данных для расчета промежуточной прецизионности

i	x_{ia}	x_{ib}	$y_{ia} = \log_{10}(x_{ia})$	$y_{ib} = \log_{10}(x_{ib})$
1	15	14	1,18	1,15
2	15	12	1,18	1,08
3	14	16	1,15	1,20
4	14	20	1,15	1,30
5	13	35	1,11	1,54

i	x_{ia}	x_{ib}	$y_{ia} = \log_{10}(x_{ia})$	$y_{ib} = \log_{10}(x_{ib})$
6	19	14	1,28	1,15
7	22	12	1,34	1,08
8	13	13	1,11	1,11
9	13	16	1,11	1,20
10	15	25	1,18	1,40
11	17	18	1,23	1,26
12	19	22	1,28	1,34
13	14	16	1,15	1,20
14	16	23	1,20	1,36
15	13	35	1,11	1,54

Рассчитанное значение оценки стандартного отклонения воспроизводимости (промежуточной прецизионности) $\sigma_{I(O)}$ приведено в таблице 2.

Таблица 2. — Значения показателей прецизионности и максимальной расширенной неопределенности при уровне доверия $P = 0,95$

Стандартное отклонение воспроизводимости, $\sigma_{I(O)}$	Максимальная расширенная неопределенность, U
КОЕ/г	КОЕ/г
1,85	3,41
\log_{10} (КОЕ/г)	\log_{10} (КОЕ/г)
0,27	0,53

Оценка неопределенности измерения

Оценку неопределенности измерения проводили по ISO 29201:2012. Расширенную неопределенность U с коэффициентом охвата 2 (приблизительно соответствующим доверительному интервалу 95 %) рассчитывали по формуле (4):

$$U = 2 \sigma_{I(O)}, \quad (4)$$

где $\sigma_{I(O)}$ — стандартное отклонение воспроизводимости (промежуточной прецизионности), \log_{10} КОЕ/г.

Рассчитанное значение оценки неопределенности измерения приведено в таблице 2.

В соответствии с [1] полученная оценка расширенной неопределенности относится к единичному измерению и может быть использована как максимальная оценка неопределенности для результата измерения, получаемого в соответствии с валидируемым методом.

Внутрилабораторная валидация метода выявления бактерий группы БГКП в смывах

Принцип метода. Для обнаружения и идентификации бактерий группы БГКП в смывах на первом этапе выполняют обогащение, используя неселективную питательную среду (бульон), чтобы увеличить число микроорганизмов без риска угнетения селективными ингредиентами, которые присутствуют в селективной / дифференциальной среде для выращивания. Второй этап испытания (выделение) выполняется на селективной среде с последующими идентификационными тестами [11].

Процедура и этапы валидации

Метод обнаружения бактерий группы БГКП подлежал внутренней валидации в лаборатории микробиологии в условиях повторяемости.

В ходе валидации оценивали следующие характеристики:

- относительная чувствительность;
- минимальный уровень выявления;
- инклюзивность, эксклюзивность (селективность).

Оценка показателя правильности не проводилась вследствие отсутствия эталонных материалов.

Последовательность выполнения испытаний

Взятие смывов производят стерильным ватным тампоном, увлажненным физиологическим раствором, с площади 10×10 см. Тампон помещают в емкость, содержащую 100 см^3 физиологиче-

ского раствора, и тщательно гомогенизируют. При исследовании объектов, площадь поверхности которых менее заданной, допускается для взятия смывов погружать несколько предметов в емкость, содержащую 100 см³ физиологического раствора, и перемешивать. Анализ подготовленных образцов должен быть выполнен в течение 30 минут.

Подготовленный образец в количестве 10 см³ вносят стерильной пипеткой в емкость с 90 см³ среды № 3 или другой среды из указанных в инструкции для обогащения бактерий группы БГКП. Содержимое перемешивают и инкубируют в термостате при температуре 37 ± 1 °С в течение 24–48 ± 3 часов. При наличии признаков роста на средах (помутнение среды, изменение цвета) проводят посев петлей на поверхность среды Эндо, инкубируют в термостате при температуре 37 ± 1 °С в течение 24–48 ± 3 часов, учитывают колонии темно-красные, с металлическим блеском или без него, или розовые, бесцветные, выпуклые, диаметром (2–4) мм, т. е. подозрительные на принадлежность к группе БГКП, проводят подтверждающие идентифицирующие тесты.

Для идентификации микроорганизмов колонии, выросшие на среде Эндо, имеющие типичную морфологию (каждую отдельно), пересевают петлей на одну из скошенных сред для культивирования аэробных и факультативно-анаэробных бактерий. Посевы инкубировали при (37 ± 1) °С в течение (24 ± 3) часов. При исследовании суточных культур проводили окраску по Граму, определяли оксидазопринадлежность, способность ферментировать глюкозу, восстанавливать нитраты в нитриты.

Возможно проведение идентификации микроорганизмов с использованием микробиологического экспресс-анализатора VITEK Compact (Biomerieux). В этом случае идентификацию микроорганизмов проводят согласно инструкции к прибору.

Если в исследуемом образце обнаружены грамотрицательные неспорообразующие палочки, которые дают отрицательную оксидазную реакцию, ферментируют глюкозу с образованием кислоты и восстанавливают нитраты в нитриты, это значит, что исследуемый образец контаминирован бактериями группы БГКП. Результат выражают следующим образом: в 100 см² смыва обнаружены бактерии группы БГКП.

В исследуемом образце бактерии группы БГКП отсутствуют, если при визуальном контроле на чашках с соответствующими средами после инкубации не обнаруживают колоний с характерной морфологией. Результат выражают следующим образом: М г (см², см³) изделия бактерии группы БГКП не обнаружены.

Оценка операционных характеристик метода

Для испытания пригодности метода в качестве релевантного микроорганизма использовалась суточная культура музейного штамма бактерии *Escherichia coli* ATCC 25922, являющаяся типовым представителем данной группы микроорганизмов и проявляющая типовые культурально-морфологические и биохимические свойства. С использованием стандарта мутности McFarland готовилась суспензия микроорганизмов 1 × 10⁹ клеток на 1 мл. Путем ряда последовательных десятичных разведений готовится раствор, содержащий 10–100 клеток на 1 мл. Данным раствором контаминировали тест-образец (поверхность стола лабораторного).

Было проведено исследование 10 смывов без контаминации и 10 смывов, контаминированных музейными штаммами *Escherichia coli* в различной концентрации.

В результате проведенных исследований были определены следующие аналитические характеристики метода выявления БГКП в смывах [12, 13].

Относительная чувствительность метода

Для оценки относительной точности, специфичности и чувствительности метода был проведен анализ смывов с искусственным или естественным уровнем контаминации. Искусственная контаминация образцов проводилась с использованием музейных штаммов *Escherichia coli*, нанесенных на образцы в концентрации 10² КОЕ/100 см² (референтное значение).

Общее количество исследованных образцов с учетом рекомендуемого соотношения положительных и отрицательных результатов составило 20. Оценка результатов проведенных исследований смывов с использованием значения представлена в таблице 3.

Таблица 3.— Результаты исследования образцов смывов с использованием референтного значения

Объект испытания	Результат	Референтный положительный (R+) образец	Референтный отрицательный (R-) образец
Смывы	Альтернативный образец, положительный (A+)	+/+ положительное соответствие PA = 14	-/+ положительное отклонение PD = 1
	Альтернативный образец, отрицательный (A-)	+/- отрицательное отклонение ND = 1	-/- отрицательное соответствие NA = 14

Чувствительность метода составила соответственно $((PA + PD) / (PA + PD + ND)) = 94 \%$ для альтернативного метода и $((PA + ND) / (PA + PD + ND)) = 94 \%$ для референтного образца.

Относительный уровень выявления

Минимального количества микроорганизмов достаточно для выявления в 50 % случаев с применением альтернативного и референтного методов. Для оценки относительного уровня выявления использовался музейный штамм *Escherichia coli* ATCC 8739, который наносился на поверхность лабораторного стола, предварительно обработанную дезинфектантами, в заданной концентрации. Было исследовано 4 уровня контаминации, включая отрицательный контроль. Каждый уровень контаминации исследовался в 6 повторностях с использованием референтного и альтернативного значений. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4. — Результаты исследования смывов для оценки относительного уровня выявления БГКП

Уровень контаминации образца	<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739 КОЕ/мл	Референтный положительный (R+) образец	Референтный отрицательный (R-) образец
1 уровень	0	Не обнаружено	Не обнаружено
2 уровень	Менее 10	Обнаружено	Обнаружено
3 уровень	100	Обнаружено	Обнаружено
4 уровень	1000	Обнаружено	Обнаружено

В результате относительный уровень выявления составил менее 10 КОЕ/см².

Инклюзивность, эксклюзивность (селективность) метода выявления

Инклюзивность метода — возможность детекции целевого микроорганизма из широкого перечня штаммов.

Эксклюзивность метода — отсутствие ложноположительных результатов при исследовании нецелевых микроорганизмов.

Для оценки эксклюзивности и инклюзивности метода было проведено исследование 10 различных музейных штаммов, относящихся к семейству *Enterobacteriaceae*, а также 10 музейных штаммов бактерий родов *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Staphylococcus*. Исследовалась суспензия, содержащая 10² КОЕ/мл целевых микроорганизмов, либо суспензия, содержащая 10⁴ КОЕ/мл нецелевых микроорганизмов, с проведением полной процедуры, указанной в методе.

При оценке эксклюзивности и инклюзивности было выявлено отсутствие ложноположительных и ложноотрицательных результатов, что свидетельствует об удовлетворительном уровне селективности метода обнаружения БГКП.

Заключение. В результате проведенных исследований рассчитаны операционные характеристики методов оценки микробного статуса объектов среды обитания человека в модельном эксперименте и дано обоснование показателей технического уровня количественного определения метода оценки мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов и качественного метода оценки наличия бактерий группы кишечной палочки на поверхностях объектов среды. Аналитические характеристики методов соответствуют требованиям надлежащей лабораторной практики.

Литература

1. Микробиология продуктов питания и кормов для животных. Руководство по оценке неопределенности при количественных определениях: ГОСТ Р 54502–2011/ISO/TS 19036:2006. — Введ. 01.01.2013. — М.: Стандартинформ, 2012. — 26 с.
2. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Общие принципы и определения: СТБ ISO 5725–1–2002. — Введ. 01.07.2003. — Минск: Госстандарт, 2003. — 20 с.
3. Филонюк, В. А. Методология гигиенического регламентирования микробных препаратов и разработки методик выполнения измерений содержания микроорганизмов в воздухе рабочей зоны / В. А. Филонюк, В. В. Шевляков, Н. В. Дудчик. — Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2018. — 264 с.
4. Филонюк, В. А. Современная технология разработки аттестованных методик контроля содержания микроорганизмов-продуцентов и микробных препаратов в воздухе рабочей зоны / В. А. Филонюк, Н. В. Дудчик, В. В. Шевляков // Мед. журн. — 2021. — № 2 (76). — С. 120–128.

5. Evaluation of the metrological parameters of methods for quantitative determination of active microbial strains of genera *Pseudomonas* and *Bacillus* in the air of biotechnological production zone / N. Dudchik [et al.] // *J. of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*.— 2019.— Vol. 8, № 4.— P. 1054–1056.
6. *Dudchik, N. V.* Test-model and quantitative rdds criterion index which are applied to estimate antimicrobial potential of nanomaterials used for water purification and treatment: substantiation and metrologic assessment / N. V. Dudchik, E. V. Drozdova, S. I. Sychik // *Health Risk Analysis*.— 2018.— № 3.— P. 104–111.
7. *Дудчик, Н. В.* Изучение свойств консорциума почвенных микроорганизмов как тест-объектов для оценки интегральной токсичности / Н. В. Дудчик // *Гигиена и санитария*.— 2012.— Т. 91, № 5.— С. 82–84.
8. *Медицинский журнал*. 2010. № 3 (33). С. 143–145. Cocolin, L. Editorial: Integration of omics into MRA / L. Cocolin, A. M. Membr, M. H. Zwietering // *Int. J. Of Food Microbiol.*— 2018.— Vol. 287.— P. 1–2.
9. *Fournier, P. E.* New laboratory tools for emerging bacterial challenges / P. E. Fournier, M. Drancourt, D. Raoult // *Clin. Infect. Dis.*— 2017.— Vol. 65, Suppl_1.— P. S39–S49.
10. *Métris, A.* Piecewise linear approximations to model the dynamics of adaptation to osmotic stress by food-borne pathogens / A. Métris, S. M. George, D. Ropers // *Int. J. Food Microbiol.*— 2017.— Vol. 240.— P. 63–74.
11. Bacterial profiles and phenotypic biomarkers of microbiota isolates in habitat: hazard identification factors / N. V. Dudchik [et al.] // *Health Risk Analysis*.— 2020.— № 2.— P. 92–100.
12. *Дудчик, Н. В.* Альтернативное тестирование токсичности: применение методов импедансной технологии в токсиколого-гигиенической практике / Н. В. Дудчик // *Вестн. Рос. воен.-мед. акад.*— 2008.— Т. 1.— С. 148.
13. *Дудчик, Н. В.* Прокариотические тест-модели для оценки биологического действия и гигиенической регламентации факторов окружающей среды / Н. В. Дудчик, В. В. Шевляков // *Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека: материалы Междунар. форума Науч. совета Рос. Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвящ. 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина» Минздрава России, Москва, 15–16 дек. 2016 г. / под ред. Ю. А. Рахманина: в 2 т.— М., 2016.— Т. 1.— С. 187–189.*

Dudchik N. V.

OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF METHODS FOR ESTIMATING MICROBIAL STATUS OF HUMAN HABITAT OBJECTS IN MODEL EXPERIMENT

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

Scientific justification and practice of hygienic rationing of biological factors of the habitat have a number of fundamental features and, in terms of methodology, are less developed than rationing of chemical factors. Effective hygienic control of microorganisms content in habitat objects is based on the use of quantitative and qualitative assessment methods with evaluated operational characteristics. In the course of the work, experimental modelling of microbial contamination of surfaces was carried out, experimental tests of quantitative evaluation of mesophilic aerobic and optional anaerobic microorganisms and qualitative detection of the presence of bacteria of the *E. coli* group in conditions of intermediate precision were carried out, operational characteristics of methods for detecting the microbial status of human habitat objects were calculated.

Keywords: microbiota, accuracy indicators, expanded uncertainty, microbiological risk analysis.

References

1. State Standard RF 54502–2011/ISO/TS 19036:2006. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Guidelines for the estimation of measurement uncertainty for quantitative determinations (IDT). Moscow; 2012. (in Russian)
2. State Standard BY ISO 5725–1–2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions. Minsk; 2003. (in Russian)

3. Filanyuk V. A., Shevlyakov V. V., Dudchik N. V. Methodology of hygienic regulation of microbial preparations and development of methods for measuring the microorganisms content in the air of the working area. Minsk; 2018. (in Russian)
4. Filanyuk V. A., Dudchik N. V., Shevlyakov V. V. Modern technology of certified methods development for content of active strains and microbial preparations control in the working area air. *Meditinskiy zhurnal*. 2021; 2(76): 120–8. (in Russian)
5. Dudchik N., Filanyuk V., Shevlyakov V., Sychik S. Evaluation of the metrological parameters of methods for quantitative determination of active microbial strains of genera *Pseudomonas* and *Bacillus* in the air of biotechnological production zone. *J. of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2019; 8(4): 1054–6.
6. Dudchik N. V., Drozdova E. V., Sychik S. I. Test-model and quantitative rdds criterion index which are applied to estimate antimicrobial potential of nanomaterials used for water purification and treatment: substantiation and metrologic assessment. *Health Risk Analysis*. 2018; 3: 104–11.
7. Drozdova E. V., Sychik S. I., Buraya V. V. et al. Experimental justification of indicative microbiological values for the safety of water bodies in the recreation areas. *Health Risk Analysis*. 2015; 1: 60–9. (in Russian)
8. Cocolin L., Membr A. M., Zwietering M. H. Editorial: Integration of omics into MRA. *Int. J. of Food Microbiol.* 2018; 287: 1–2.
9. Fournier P. E., Drancourt M., Raoul D. New laboratory tools for emerging bacterial challenges. *Clin. Infect. Dis.* 2017; 65(suppl_1): S39–S49.
10. Métris A., George S. M., Ropers D. Piecewise linear approximations to model the dynamics of adaptation to osmotic stress by food-borne pathogens. *Int. J. Food Microbiol.* 2017; 240: 63–74.
11. Dudchik N. V., Sychik S. I., Nezhvinskaya O. E. et al. Bacterial profiles and phenotypic biomarkers of microbiota isolates in habitat: hazard identification factors. *Health Risk Analysis*. 2020; 2: 92–100.
12. Dudchik N. V. Alternative toxicity testing: application of impedance technology methods in toxicological and hygienic practice. *Vestnik Rossiiskoi voenno-medicinskoi akademii*. 2008; 1: 148. (in Russian)
13. Dudchik N. V., Shevlyakov V. V. Prokaryotic test models for assessing biological action and hygienic regulation of environmental factors. In: Rachmanin Yu. A., ed. *Modern methodological problems of studying, assessing and regulating environmental factors affecting human health: Proceedings of the International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on human ecology and environmental hygiene, dedicated to 85-anniversary of the FSBI «Research Institute of ECH and GOS named after A. N. Sysin»*. 2016, Dec., 15–16; Moscow; RF. v.1. Moscow; 2016: 187–9. (in Russian)

Поступила 23.11.2021

УДК 614.7:64.066.44

Щербинская Е. С., Сычик С. И.

ВЛИЯНИЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА КАК ФАКТОРА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты оценки влияния факторов жилищно-коммунальной среды на состояние общественного здоровья (смертность, заболеваемость взрослого населения, заболеваемость детского населения). Установлены тенденции к росту факторов жилищно-коммунального благоустройства на территории Минской области за период 2014–2018 гг. Методом корреляционно-регрессионного анализа установлены разнонаправленные статистически значимые связи между факторами жилищно-коммунального благоустройства и показателями общественного здоровья (смертность, заболеваемость взрослого населения).

Ключевые слова: жилищно-коммунальные условия, общая смертность, заболеваемость взрослого населения, заболеваемость детского населения, связь.

Введение. Трудовой и человеческий потенциал, необходимый для успешного и эффективного развития регионов, зависит от общественного (популяционного) здоровья. Общественное здоровье

детерминируется рядом факторов, которые могут оказывать на него как прямое, так и опосредованное воздействие. Наиболее значимыми из таких факторов являются санитарно-гигиенические, социально-экономические, генетические, природно-климатические, которые обладают разной степенью влияния на состояние здоровья (смертность, заболеваемость, инвалидность) в зависимости от социально-демографических характеристик населения [1].

Согласно Ю. П. Лисицину [2] наиболее значимый вклад в состояние здоровья вносят образ жизни и условия жизни населения. Последние характеризуются жилищными условиями, а точнее состоянием внутрижилищной среды (качеством воздуха внутри помещения, инсоляцией, микроклиматом, коммунальным благоустройством), которые в совокупности с другими факторами формируют показатели здоровья населения, проживающего на административно-территориальных единицах. Изучение коммунального благоустройства как фактора внутрижилищной среды является интересным с позиции влияния на показатели общественного здоровья и рекомендовано к оценке Всемирной организацией здравоохранения [3].

По данным выполненных исследований по изучению связей показателей благоустройства жилья с показателями общественного здоровья в различных регионах было показано, что наличие водопровода, центрального отопления и газа в домах тесно связано с уровнями заболеваемости, смертности и ожидаемой продолжительности жизни [4, 5].

Стесненные жилищные условия также являются фактором риска ухудшения здоровья населения. Один из примеров — связь распространенности туберкулеза и скученности населения, поскольку передача инфекции от человека к человеку более вероятна в стесненных жилищных условиях [10].

В Республике Беларусь жилое помещение считается оборудованным, если в нем имеются системы водопровода и водоотведения, центрального отопления, газа и санитарные комнаты с горячим водоснабжением. Также нормами регулируются критерии, характеризующие безопасность жилья, санитарно-гигиенический комфорт и соблюдение социально-функциональных требований [11]. При этом следует отметить, что уровень комфорта проживания обуславливается показателем жизненного пространства, приходящегося на 1 жителя, который может учитываться либо по размерам жилой площади, либо по количеству комнат на 1 человека.

Важным показателем обеспечения населения качественной питьевой водой является охват населения централизованным водоснабжением. Преимущества централизованного водоснабжения обусловлены выбором наилучшего источника воды, возможностью обеспечения санитарной охраны данного источника, централизованным использованием методов, улучшающих качество питьевой воды, а также обеспечением надлежащего санитарного и технического контроля за режимом подготовки и качеством питьевой воды. Централизованное водоснабжение снижает риски вспышек инфекций, связанных с водой [6].

При широкой доступности природного газа и электричества во многих европейских странах отопление жилых помещений осуществляется твердыми видами топлива (древесина, уголь, торфяные брикеты, бытовой мусор). В связи с рядом эксплуатационных ограничений и несовершенством отопительных устройств в атмосферный воздух и воздух жилых помещений выбрасываются продукты неполного сгорания, такие как $PM_{2,5}$, монооксид углерода и ряд других загрязнителей воздуха. Продукты неполного сгорания, образующиеся во время горения древесины и других видов твердого топлива, содержат 28 токсичных загрязнителей, 14 из которых признаны Международным агентством по изучению рака как канцерогены [7]. Ряд проведенных исследований описывают связь между продуктами горения твердого топлива и повышением смертности населения от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний [8, 9]. Более безопасной альтернативой индивидуальным отопительным устройствам является центральное отопление, которое предполагает систему распределения тепла из одного источника энергии множеству потребителей. Исследования показывают (ВОЗ, 2015), что концентрации загрязнителей атмосферного воздуха в Швеции при переходе от твердого топлива к централизованному отоплению снизились в разы.

В Республике Беларусь происходит постепенное улучшение жилищно-коммунального благоустройства населенных пунктов. Следует отметить, что степень благоустройства в сельских населенных пунктах не всегда отвечает санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Цель работы — определить влияние жилищно-коммунального благоустройства на показатели общественного здоровья населения, проживающего в административно-территориальных единицах Минской области.

Материалы и методы. Объектом исследования послужили показатели общественного здоровья (общая смертность, заболеваемость детского населения, заболеваемость взрослого населения) в административно-территориальных единицах Минской области, включающей 22 района и 1 город

областного подчинения — Жодино. Предметом исследования являлись социально-гигиенические показатели (уровни благоустройства жилищного фонда административно-территориальных единиц Минской области, указанные в статистической учетной форме (ф. 1-жкх)). Всего проводилось исследование 1035 показателей на основании официальной статистики Республики Беларусь за период 2014–2018 гг.

Для определения тенденций социально-гигиенических показателей нами были построены динамические ряды. При их оценке рассчитывались характеристики интенсивности изменения ряда (показатель наглядности — $T_{нагл}, \%$).

Наличие и характер связей в системе «среда обитания — здоровье населения» определялись методом индикаторного анализа, основанным на корреляционном анализе динамических рядов с использованием корреляции Спирмена (R_{xy}). Статистически значимые различия учитывались при уровне $p \leq 0,05$. Для прогнозирования показателей здоровья населения, проживающего в административно-территориальных единицах, использовался регрессионный анализ. Регрессионная модель считалась качественной при значении критерия Фишера (F) выше табличного ($F_{табл}$), статистическая значимость модели оценивалась с помощью t-критерия, доля дисперсии, обусловленная регрессией, в общей дисперсии оценивалась с помощью коэффициента детерминации (R^2).

Накопление, корректировка, систематизация и статистический анализ исходной информации и визуализация полученных результатов проводились в электронных таблицах Excel с использованием возможностей программы STATISTICA 13.0 версия 13.3, лицензия № 817404CD-5276-DD11-9BF0-00151787D044 26999.

Результаты и их обсуждение. Обеспеченность населения жильем определяется по общей площади жилого помещения, приходящейся на одного жителя. Этот показатель рассчитывается путем деления общей площади жилого фонда на конец года на численность населения на конец года.

При анализе динамики показателя «Обеспеченность населения жильем (m^2 жилой площади на 1 жителя)» в Минской области за период 2014–2018 гг. было установлено, что данный показатель имеет тенденцию к росту ($T_{пр 2018} = 2,32 \%$) (рисунок 1).

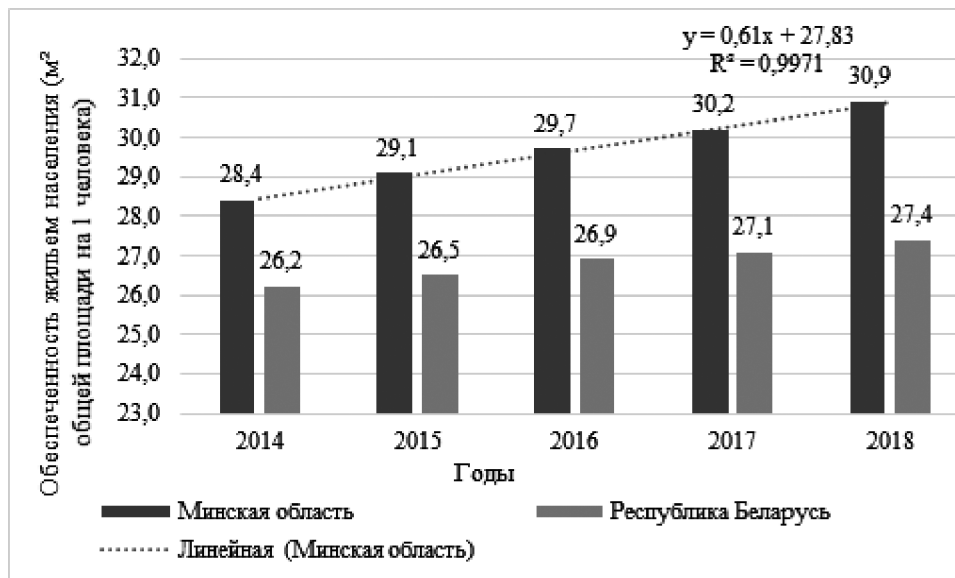


Рисунок 1.— Обеспеченность жильем населения Минской области за период 2014–2018 гг.

Как видно из рисунка 1, на протяжении всего анализируемого периода обеспеченность (m^2) жильем на 1 жителя в Минской области имела выраженную тенденцию к росту и была значительно выше среднереспубликанских значений. При сравнительном анализе была выявлена меньшая обеспеченность жильем населения, проживающего в следующих административно-территориальных единицах: г. Жодино ($23,9 m^2$), Пуховичском ($25,2 m^2$) и Борисовском ($25,5 m^2$) районах; наибольшая — в Минском ($41,6 m^2$), Крупском ($38,0 m^2$) и Клецком ($37,5 m^2$) районах.

Жилое помещение (дом, квартира и пр.) считается оборудованным при наличии:

водопровода внутри здания, куда поступает вода из централизованных либо нецентрализованных источников водоснабжения, а также при наличии отдельного кухонного помещения, где установлен водопроводный кран от распределительной сети водопровода;

канализации — если внутри здания имеется канализационное устройство для стока вод в централизованную наружную канализационную сеть либо поглощающие колодцы, септики во дворе, при этом площадь, оборудованная канализацией, не должна быть больше площади, оборудованной водопроводом;

центрального отопления — наличие собственной домовой котельной, групповой (квартальной), объединенной и районной котельных, от теплоэлектроцентрали, а также установки автоматического газового водонагревателя вне зависимости от источника тепла;

горячего водоснабжения — при условии оборудования специальным водопроводом, подающим централизованно в квартиры горячую воду для бытовых нужд проживающих (включая площадь домов, оборудованных местными водонагревателями);

ванны (душа) — независимо от способа поступления горячей воды и системы горячего водоснабжения;

газа — если имеется установленная напольная газовая плита либо варочная панель как в самом здании, так и в отдельно стоящей кухне, снабжаемая сетевым или сжиженным газом.

Уровень благоустройства жилища в Минской области за период 2014–2018 гг. представлен в таблице 1.

Таблица 1. — Уровень благоустройства жилища в Минской области за период 2014–2018 гг.

№	Жилищные условия населения	Территория	Годы					Т _{нагл} , %
			2014	2015	2016	2017	2018	
1	Водопровод	Минская область, %	71,3	73,1	74	74,9	75,8	106,31
		Республика Беларусь, %	75,8	76,8	77,4	78,1	78,9	104,09
2	Канализация	Минская область, %	68,3	69,8	71,3	72,5	73,8	108,05
		Республика Беларусь, %	74,2	75,1	75,9	76,7	77,6	104,58
3	Горячее водоснабжение	Минская область, %	71,2	72,6	73,8	74,6	75,2	105,62
		Республика Беларусь, %	74,9	75,7	76,4	77,2	77,9	104,01
4	Центральное отопление	Минская область, %	58,4	60,5	62,5	63,7	66	113,01
		Республика Беларусь, %	66,9	68,2	69,2	70,1	71,2	106,43
5	Ванны (душ)	Минская область, %	62,7	64,1	65,5	66,7	68,5	109,25
		Республика Беларусь, %	68,9	70	70,7	71,6	72,5	105,22
6	Газ	Минская область, %	94	94	94	93,9	93,7	99,68
		Республика Беларусь, %	87,2	86,6	86,5	86,3	86,1	98,74

Как видно из таблицы 1, уровень благоустройства жилища населения Минской области характеризуется увеличением в 2018 г. по сравнению с 2014 г.: количество жилья, оборудованного водопроводом, увеличилось на 4,5 %, канализацией — на 5,5 %, горячим водоснабжением — на 4,0 %, центральным отоплением — на 7,6 %, ванной (душем) — на 5,8 %; однако на 0,3 % снизилась оснащенность жилья газом.

Более всего жилищ, имеющих распределительную сеть водопровода, находится в г. Жодино (91,4 %), Дзержинском (90,4 %) и Минском (90,2 %) районах, менее всего — в Крупском (47,8 %), Мядельском (47,9 %) и Воложинском (48,9 %) районах; жилищ, оснащенных канализацией, более всего в г. Жодино (90,9 %), Минском (88,6 %) и Дзержинском (87,8 %) районах, менее всего — в Крупском (43,1 %), Березинском (43,8 %) и Воложинском (47,2 %) районах; жилищ, имеющих горячее водоснабжение, больше всего находится в г. Жодино (88,7 %), Минском (82,1 %) и Дзержинском (83,8 %) районах, меньше — в Березинском (9,5 %), Воложинском (32,3 %) и Крупском (33,4 %) районах; центральным отоплением наиболее часто оборудованы жилища г. Жодино (92,5 %), Минского (85,0 %) и Солигорского (84,9 %) районов, реже всего — в Крупском (43,9 %), Любанском (44,4 %), Воложинском

(45,3 %) районах; ванные комнаты с горячим водоснабжением наиболее часто оборудованы в г. Жодино (90,7 %), Дзержинском (85,5 %) и Минском (83,4 %) районах, менее — в Крупском (36,1 %), Березинском (38,6 %), Мядельском (39,1 %) районах. Удельный вес жилищ, снабжаемых сетевым или сжиженным газом, наиболее высокий на территории Крупского (99,1 %), Смолевичского (98,6 %) и Несвижского (98,6 %) районов, наиболее низкий — на территориях Солигорского (91,0 %), Минского (88,4 %) и Пуховичского (83,7 %) районов.

Таким образом, самый низкий удельный вес благоустроенного жилья выявлен в Березинском, Воложинском, Мядельском и Крупском районах, более высокий удельный вес благоустроенного жилья — в Минском, Дзержинском, Солигорском районах и г. Жодино.

Из всех вышеперечисленных факторов жилищной среды, формирующих здоровье населения наряду с химической безопасностью, условиями труда и прочими факторами, Всемирная организация здравоохранения выделяет обеспеченность жильем населения, охват централизованными системами водоснабжения, канализацией и центральным отоплением.

С целью выявления взаимосвязи между показателями общественного здоровья и жилищно-коммунальным благоустройством нами был выполнен корреляционный анализ, в результате которого были установлены статистически значимые корреляции между:

общей смертностью и обеспеченностью населения жильем (m^2 общей площади на 1 жителя), охватом населения централизованным водоснабжением, охватом населения канализацией, охватом населения центральным отоплением;

заболеваемостью детского населения и охватом населения централизованным водоснабжением и канализацией;

заболеваемостью взрослого населения и обеспеченностью населения жильем (m^2 общей площади на 1 жителя), охватом населения централизованным водоснабжением, канализацией, центральным отоплением (таблица 2).

Таблица 2. — Корреляции, связывающие коэффициенты общей смертности, заболеваемости детского и взрослого населения с факторами жилищно-коммунального благоустройства населения Минской области (R_{xy})

Показатель	Заболеваемость детского населения	Заболеваемость взрослого населения	Смертность
Обеспеченность населения жильем (m^2 общей площади на 1 жителя)	–	0,42	0,56
Охват населения централизованным водоснабжением	–0,19	–0,40	–0,80
Охват населения канализацией	–0,23	–0,44	–0,79
Охват населения центральным отоплением	–	–0,40	–0,75
Примечание — $p \leq 0,05$.			

Как видно из таблицы 2, положительная корреляционная связь между обеспеченностью населения жильем (m^2 общей площади на 1 жителя) и смертностью / заболеваемостью взрослого населения в данном случае может обуславливаться:

— уменьшением с 1990-х гг. численности населения, проживающего в административно-территориальных единицах Республики Беларусь [10];

— учетом ветхого и аварийного жилья в обеспеченности населения жильем (m^2 общей площади на 1 жителя), которое характеризуется низкими физическими характеристиками и худшими потребительскими качествами. Для данного типа жилья характерно изменение параметров микроклимата жилого помещения, не позволяющих обеспечить соблюдение санитарного законодательства [13]. Рост данной категории жилья составил в 2018 г. по сравнению с 2017 г. 12,4 %.

Ряд авторов (Н. Б. Косарева, Т. Д. Полиди, Е. Ю. Пастухова) в проведенных ими исследованиях подтверждают значимость влияния факторов жилищно-коммунального благоустройства на состояние здоровья населения [12, 14].

Для определения степени детерминированности вариации общей смертности и заболеваемости взрослого населения, проживающего в административно-территориальных единицах Минской области, факторами жилищно-коммунального благоустройства был проведен регрессионный анализ, результаты которого представлены в таблицах 3, 4.

Таблица 3. — Статистика соответствия регрессионной модели для общей смертности по факторам коммунально-жилищного благоустройства

Показатель	R	R ²	F	p	Ст. ошибка
Обеспеченность населения жильем (м ² общей площади на 1 жителя)	0,484	0,2343	34,892	≤ 0,001	3,2717
Охват населения централизованным водоснабжением, %	0,708	0,5011	114,51	≤ 0,001	2,6409
Охват населения канализацией, %	0,698	0,4873	108,35	≤ 0,001	2,6772
Охват населения центральным отоплением, %	0,631	0,3983	75,463	≤ 0,001	2,9003

Как видно из таблицы 3, все построенные регрессионные уравнения являются значимыми, тем не менее приемлемая модель соответствия результативного признака и предиктора выявлена только между общей смертностью и охватом населения централизованным водоснабжением ($R^2 = 0,5011$).

Таким образом, 50 % дисперсии общей смертности описываются охватом населения централизованным водоснабжением.

Таблица 4. — Статистика соответствия регрессионной модели для заболеваемости взрослого населения по факторам коммунально-жилищного благоустройства

Показатель	R	R ²	F	p	Ст. ошибка
Обеспеченность населения жильем (м ² общей площади на 1 жителя)	0,451	0,2038	29,169	≤ 0,001	271,03
Охват населения централизованным водоснабжением, %	0,243	0,0589	7,1298	0,008	294,65
Охват населения канализацией, %	0,294	0,0866	10,802	0,001	290,28
Охват населения центральным отоплением, %	0,243	0,0591	7,1653	0,008	294,61

При оценке полученных уравнений регрессий с целью определения вклада факторов жилищно-коммунального благоустройства в заболеваемость взрослого населения было установлено, что приемлемой модели между результативным признаком и предикторами не выявлено, так как коэффициент детерминации во всех случаях составил менее 0,5.

В связи с отсутствием достаточных по силе корреляций между показателями заболеваемости детского населения и факторами жилищно-коммунального благоустройства регрессионный анализ не проводился.

Заключение. Жилищно-коммунальные условия наряду с другими факторами среды обитания человека оказывают влияние на показатели общественного здоровья. В результате проведенного исследования выявлены:

прямая корреляционная связь между обеспеченностью населения жильем и показателями общественного здоровья (заболеваемость взрослого населения, смертность), которая может обуславливаться качественными характеристиками жилища и общим снижением численности населения;

обратные корреляционные связи между охватом населения централизованным водоснабжением, канализацией и центральным отоплением и показателями общественного здоровья (заболеваемость взрослого населения, смертность), что подтверждает литературные данные.

Увеличение охвата населения оборудованным жильем, соответствующим санитарно-гигиеническим и архитектурно-планировочным нормам, может способствовать улучшению показателей общественного здоровья населения, проживающего в административно-территориальных единицах.

Литература

1. Пастухова, Е. Я. Взаимосвязь здоровья населения и социально-экономических факторов (на примере сибирских регионов) / Е. Я. Пастухова // Региональная экономика: теория и практика. — 2016. — № 10 (433). — С. 180–189.
2. Лисицын, Ю. П. Общественное здоровье и здравоохранение: учебник / Ю. П. Лисицын. — 2-е изд. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. — С. 39.
3. Эпидемиология в программах жилищного строительства и в планировании жилых районов: доклад Комитета экспертов ВОЗ по вопросам жилищного строительства и охраны здоровья. — М.: Медицина, 1975. — 78 с. — (Серия технических докладов ВОЗ; № 544).

4. Urban planning, environment and health [Electronic resource] / World Health Organization Regional Office for Europe. — Copenhagen, 2010. — Mode of access: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/114448/E93987.pdf. — Date of access: 06.06.2020.
5. Социальная медицина / под ред. А. В. Мартыненко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2018. — 375 с.
6. Вода, санитария и гигиена [Электронный ресурс] / Всемирная организация здравоохранения. — Режим доступа: https://www.who.int/water_sanitation_health/facts_figures/ru/. — Дата доступа: 06.06.2020.
7. *Smith, K. R.* In praise of power / K. R. Smith // *Science*. — 2014. — Vol. 345, iss. 6197. — P. 603.
8. Short-term associations between barbecue fumes and respiratory health in young adults / E. S. Lenssen [et al.] // *Environmental Research*. — 2021. — Vol. 204, Part A. — Art. 111868.
9. Exposure to wood smoke particles produces inflammation in healthy volunteers / A. J. Ghio [et al.] // *Occup. Environ. Med.* — 2012. — Vol. 69, iss. 3. — P. 170–175.
10. Значение жилищных условий и городской среды для здоровья / М. Braubach [и др.] // *Гигиена и санитария*. — 2014. — № 1. — С. 9–15.
11. Жилище. Основные положения: СТБ 1154–99. — Введ. 01.01.1999. — Минск, 1999. — 13 с.
12. Сравнительный анализ потребления и расходов в жилищной сфере: докл. к XII Междунар. науч. конф. Нац. исслед. ун-та «Высшая школа экономики» по проблемам развития экономики и общества, Москва, 5–7 апреля 2011 г. / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики»; Н. Б. Косарева [и др.]. — М.: Изд. дом Высш. шк. экономики, 2011. — 56 с.
13. Об утверждении Положения о порядке обследования состояния многоквартирных, блокированных и многоквартирных жилых домов и их придомовых территорий, квартир в многоквартирных и блокированных жилых домах, общежитий в целях определения их несоответствия установленным для проживания санитарным и техническим требованиям и принятия решений об их восстановлении для использования по назначению, либо о переводе в нежилые, либо о сносе непригодных для проживания жилых домов, общежитий: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 марта 2013 г. № 221 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. — Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C21300221_1364850000.pdf. — Дата доступа: 23.11.2020.
14. *Пастухова, Е. Я.* Материальное благосостояние как фактор влияния на здоровье населения российских регионов / Е. Я. Пастухова // *Общество: Политика, Экономика, Право*. — 2017. — № 8. — С. 38–41.

Shcherbinskaya L. S., Sychik S. I.

IMPACT OF HOUSING AND COMMUNAL IMPROVEMENT AS A FACTOR OF HABITAT ON THE HEALTH OF THE POPULATION

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The article presents the results of assessment of the influence of factors of housing and communal environment on the state of public health (mortality, adult morbidity, child morbidity). Trends have been established to increase the factors of housing and communal improvement in the Minsk region for the period 2014–2018. Correlation-regression analysis methods established multidirectional statistically significant associations between factors of housing and communal improvement and indicators of public health (mortality, adult morbidity).

Keywords: housing and communal conditions, total mortality, adult morbidity, child morbidity, association.

References

1. *Pastukhova E. Ya.* The relationship of public health and socio-economic factors: evidence from the Siberian regions of Russia. *Regional economics: theory and practice*. 2016; 10: 180–9. (in Russian)
2. *Lisitsyn Yu. P.* Public health and health care: textbook. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2010: 39. (in Russian)
3. WHO. Epidemiology in housing programs and in residential planning: report of the WHO Expert Committee on Housing and Health. Technical Report Series, No 544. Moscow; 1975. (in Russian)

4. WHO. Urban planning, environment and health. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 2010. Available at: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/114448/E93987.pdf (accessed 06 June 2020).
5. *Martynenko A. V.*, ed. Social medicine. 2nd ed. Moscow: Yurayt; 2018. (in Russian)
6. WHO. Water, sanitation and hygiene. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/facts_figures/ru/ (accessed 06.06.2020). (in Russian)
7. *Smith K. R.* In praise of power. *Science*. 2014; 35(6197): 603.
8. *Lenssen E. S., Pieters R. H.H., Nijmeijer S. M.* et al. Short-term associations between barbecue fumes and respiratory health in young adults. *Environmental Research*. 2021; 204(Pt A.): 111868.
9. *Ghio A. J., Soukup J. M., Case M.* et al. Exposure to wood smoke particles produces inflammation in healthy volunteers. *Occup. Environ. Med.* 2012; 69(3): 170–5.
10. *Braubach M., Héroux M. E., Korol N.* et al. The value of housing conditions and urban environment for the health. *Gigiena i sanitariya*. 2006; 1: 12–6. (in Russian)
11. STB (BY) 1154–99. Housing. Basic provisions. Minsk; 1999. (in Russian)
12. *Kosareva N. B., Polidi T. D., Puzanov A. S., Tumanov A. A.* Comparative analysis of consumption and expenditure in housing: Report to the XII International Scientific Conference of the National Research University «Higher School of Economics» on the Development of Economy and Society, Moscow, April 5–7, 2011. Moscow: Publ. House of the HSE; 2011. (in Russian)
13. On approval of the Regulation on the procedure for examining the state of multi-apartment, blocked and single-apartment residential buildings and their house territories, apartments in multi-apartment and blocked residential buildings, dormitories in order to determine their non-compliance with the sanitary and technical requirements established for living and make decisions on their restoration for use as intended, either on the transfer to non-residential, or on the demolition of unsuitable residential buildings, dormitories: a resolution of the Council of Ministers of The Republic of Belarus, 2013, Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/C21300221_1364850000.pdf (accessed 23 November 2020). (in Russian)
14. *Pastukhova E. Ya.* Material welfare as a factor of influence on the population health in Russian regions. *Society: Politics, Economics, Law*. 2017; 8: 38–41. (in Russian)
e-mail для переписки: lizashcherbinskaya@gmail.com

Поступила 04.11.2021

Раздел II

РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

УДК 616–001.28:614.876

Аветисов А. Р., Сосновский А. В.

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ

*Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В представленной публикации определены общие подходы к моделированию доз внешнего и внутреннего облучения населения с помощью программы RESRAD (onsite). Дана оценка основных преимуществ и недостатков метода математического моделирования в сложившихся радиоэкологических условиях.

Ключевые слова: моделирование, внутреннее облучение, внешнее облучение.

Введение. Сегодня ни у кого не может вызвать сомнений тот факт, что наиболее точным методом дозиметрии является непосредственное измерение дозы облучения человека с использованием специализированного оборудования. Радионуклиды, попавшие в окружающую среду вследствие аварии на ЧАЭС, по определению являются открытым источником облучения, а значит формируют, хоть и в различной степени, как внешнее, так и внутреннее облучение человека. Непосредственное измерение дозы внешнего облучения человека с помощью индивидуальных дозиметров, несомненно, является «золотым стандартом». Однако на постоянной основе она проводится только среди лиц, относящихся к профессионалам или приравненным к ним лицам, — например, работников Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, некоторых категорий работников МЧС. Население на загрязненных радионуклидами территориях, как правило, не обеспечивается приборами для индивидуальной дозиметрии, так как применение в повседневной практике термолюминесцентных дозиметров при плотности загрязнения территории ниже 12 Ки/км² (444 кБк/м²) считается недостаточно целесообразным [1]. Аналогичный вывод звучит и в публикации МАГАТЭ 2008 г. [2]: «Нет необходимости далее продолжать крупномасштабный мониторинг пищевых продуктов, измерения радиоактивности всего тела у отдельных лиц и раздавать термолюминесцентные дозиметры лицам из состава населения». В силу этих причин оценка доз внешнего облучения населения сегодня осуществляется преимущественно расчетными методами. Расчет дозы внешнего облучения исходит из простой и понятной идеи о прямой пропорциональной связи между уровнем загрязнения территории радионуклидами и дозой облучения. Такой подход используется как в международной практике в целом, так и в Республике Беларусь в частности [3].

Схожие подходы постепенно формируются и в отношении определения дозы внутреннего облучения человека, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях. Доза внутреннего облучения наиболее точно определяется измерением активности инкорпорированного радионуклида с помощью метода спектрометрии излучения человека (далее — СИЧ). Однако проводить тотальные скрининговые измерения активности инкорпорированного радиоактивного цезия для всего населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, является трудно-выполнимой и недостаточно эффективной задачей. В силу этих причин в нашей стране существуют утвержденные рекомендации по необходимому числу обследованных лиц в населенном пункте, а также по возможности математического моделирования внутреннего облучения исходя из данных о плотности загрязнения территории радиоактивным цезием [4].

Таким образом, становится очевидным, что в условиях существующего облучения для населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, не только допускается, но и применяется на практике использование математических моделей и расчетов с целью установления дозы внешнего и внутреннего облучения.

Цель работы — определить основные возможности моделирования доз облучения населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях Брестской области, с помощью программы RESRAD (onsite).

Материалы и методы. Радиоэкологическое моделирование проведено с помощью пакета компьютерных программ RESRAD (RESRAD onsite) v.7.2 (США). В качестве исходных данных использовались результаты СИЧ-дозиметрии. Значения площадной активности брались из Каталога средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь [5].

Результаты и обсуждение. Проведено моделирование доз внутреннего и внешнего облучения населения, проживающего в условиях загрязнения территории изотопом ^{137}Cs . Расчет годовых эффективных доз осуществляли с помощью программы RESRAD (onsite) 7.2, разработанной в Аргонской национальной лаборатории (США) на основании экологической модели, которая учитывает коэффициенты перехода радионуклидов в системе почва — растения, растения — животные, животные — человек.

К особенностям программы можно отнести использование алгоритмов и коэффициентов, основанных на публикациях МКРЗ, где по умолчанию используются данные о радионуклидах и соответствующие им коэффициенты из публикации 107. Именно эта отличительная черта программы позволяет достаточно широко и с достаточной достоверностью использовать ее в целях математического моделирования радиационно-экологической обстановки, оценки доз и рисков облучения (рисунок 1).

Рисунок 1. — Настройка библиотек, основанных на публикациях МКРЗ

Другой важной особенностью программы является использование двух различных подходов не только к моделированию, но и к прогнозированию доз и рисков облучения на основе имеющихся данных. Известно, что полностью детерминистские подходы к оценке доз облучения населения иногда подвергаются критике [6]. Однако программа RESRAD (onsite) использует анализ неопределенностей, что позволяет отойти от полного детерминизма в расчетах, а также расширить возможности феноменологических моделей за счет использования значительно большего числа параметров, включаемых в дальнейшие расчеты. По умолчанию используется метод Латинского гиперкуба, ко-

торый часто считается более «экономичным» в сравнении с методом Монте-Карло с точки зрения усилий по созданию необходимой выборки данных и дальнейших расчетов (рисунок 2).

Рисунок 2. – Настройка использования анализа неопределенностей

Учитывая мощность современных компьютеров, указанные различия с каждым годом становятся всё менее существенными. Так как каждый метод имеет свои преимущества, выбор конечной модели в программе остается за исследователем. Исходя из вышеуказанных общих особенностей работы программы, следует предварительно отметить два главных преимущества моделирования в данной программной среде: наличие моделей, основанных на утвержденных международных рекомендациях, и отсутствие недостатков, связанных с полным детерминизмом в вычислениях, т. е. наличием в программе анализа неопределенностей при прогнозировании результатов вычислений.

Для расчета доз внутреннего облучения нами были использованы общедоступные статистические данные о среднегодовом потреблении основных продуктов питания (мясная, растительная и молочная компоненты), а также уровень загрязнения почвы радиоактивным цезием. Учитывался вклад продукта распада Cs-137 — Ba-137m. Для расчетов использовались следующие параметры (таблица 1).

Таблица 1. – Некоторые параметры, используемые в программе RESRAD для анализа доз облучения взрослого населения

№ п/п	Параметры	Значение	Значение по умолчанию
1	Толщина загрязненного слоя почвы	20 см	2 м
2	Площадь загрязнения населенного пункта	1 500 000 м ²	1 000 000 м ²
3	Потребление растительных продуктов	163	160
4	Потребление цельномолочной продукции	120 кг/год	100 кг/год
5	Потребление мясных продуктов	91 кг/год	63 кг/год
6	Плотность почвы	1,35	1,5

Распределение радионуклидов в почвенном профиле по вертикали является одним из определяющих параметров при дальнейших вычислениях мощности дозы гамма-излучения в воздухе и дозах внутреннего облучения человека. Толщина загрязненного слоя почвы 20 см для ¹³⁷Cs выбрана

в первую очередь исходя из технологий, применявшихся в СССР сразу после аварии на ЧАЭС и используемых сегодня в Российской Федерации и Республике Беларусь. Это, в свою очередь, было продиктовано результатами многочисленных измерений, которые показали, что в самом глубоком слое 20-сантиметрового керна удельная активность ^{137}Cs обычно на 2–3 порядка меньше, чем в самом верхнем его слое [7], что позволяет не учитывать более глубокие слои почвы в расчетах. В случае наличия информации об изменении уровня залегания радионуклида данный параметр необходимо привести в соответствие с измерениями.

Хорошо известно, что населенные пункты, находящиеся друг от друга на расстоянии 2 км, могут иметь существенные различия в плотности загрязнения территории радионуклидами. Значение площади загрязнения в 1 500 000 м² позволяет достаточно адекватно учитывать пятнистый характер загрязнения территории и тем самым — различия в величинах внешнего и внутреннего облучения населения соседствующих населенных пунктов. Особенно хорошо это становится заметным при попытках картирования уровней загрязнения территории в пределах одного района.

Анализ доз облучения с помощью RESRAD (onsite), проведенный нами ранее, показал хорошую согласованность результатов вычислений с данными СИЧ на примере работников Полесского радиационно-экологического заповедника [8]. Это дает возможность использовать программу RESRAD (onsite) для расчетов в других регионах Республики Беларусь при условии включения в параметры работы программы особенностей, характеризующих изучаемую местность.

Заключение.

1. Программа RESRAD (onsite) позволяет достаточно корректно рассчитывать и прогнозировать дозы облучения населения с учетом специфики места проживания.

2. Ключевыми параметрами, влияющими на точность и воспроизводимость расчетов доз облучения населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, являются уровень загрязнения местности радионуклидами, плотность почвенного покрова, уровень потребления основных продуктов питания.

3. К существенным дополнительным параметрам, влияющим на результаты моделирования, следует отнести глубину проникновения радионуклида в почву и площадь загрязнения территории.

Литература

1. Радиационный мониторинг облучения населения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: ТС проект RER/9/074 / М. И. Балонов [и др.]. — Вена, Австрия, 2007. — 119 с.

2. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт: доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. — Вена: МАГАТЭ, 2008. — 180 с.

3. Динамика соотношения доз внешнего и внутреннего облучения жителей населенных пунктов, находящихся на территориях с различной плотностью радиоактивного загрязнения / Л. Н. Эвентова [и др.] // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. — 2018. — № 1. — С. 80–85.

4. Метод оценки средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории, загрязненной радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС: инструкция по применению: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 12.12.2014. — Гомель: ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», 2014. — 9 с.

5. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. — Минск, 2015. — 94 с.

6. Власова, Н. Г. Оценка доз облучения населения в отдаленном периоде после чернобыльской аварии / Н. Г. Власова // Радиационная гигиена. — 2014. — Т. 7, № 3. — С. 9–18.

7. Рамзаев, В. П. Вертикальное распределение ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015–2016 гг. / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский, К. В. Варфоломеева // Радиационная гигиена. — 2019. — Т. 12, № 3. — С. 27–41.

8. Аветисов, А. Р. Сравнительная характеристика эффективных доз внутреннего облучения населения, полученных прямым и расчетным методом / А. Р. Аветисов, А. Н. Стожаров // Санитарно-эпидемиологическая служба Республики Беларусь: история, актуальные проблемы на современном этапе и перспективы развития: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье и окружающая среда», посвящ. 90-летию сан.-эпидемиолог. службы Респ. Беларусь, Минск, 28 окт. 2016 г.: в 2 т. / редкол.: Н. П. Жукова [и др.]. — Минск: БГМУ, 2016. — Т. 1. — С. 184–187.

POSSIBILITIES OF CALCULATION OF RADIATION DOSES OF POPULATION LIVING IN AREAS CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDES

Educational institution «Belarusian State Medical University», Minsk, Belarus

The presented publication defines general approaches to modeling the doses of external and internal exposure to the population using the RESRAD (onsite) program. The main advantages and disadvantages of the method of mathematical modeling in the prevailing radioecological conditions are evaluated.

Keywords: modeling, internal exposure, external exposure.

References

1. Balonov M. I., Barkovskiy A. N., Bruk G. A. et al. Radiation monitoring of population exposure in the remote period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: CU project RER/9/074. Vienna; 2007. (in Russian)
2. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience: Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment». Vienna; 2008.
3. Eventova L. N., Mataras A. N., Visenberg Y. V., Vlasova N. G. Dynamics of ratio of external and internal exposure doses of residents of settlements in territories with various density of radioactive contamination. *Mediko-biologicheskie problemy zhiznedejatel'nosti [Medical and biological problems of life activity]*. 2018; 1: 80–5. (in Russian)
4. Method for assessing the average annual effective radiation dose of residents of settlements located on the territory contaminated with radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant: instructions for use: approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus December 12, 2014. Gomel: State Institution «Republican Scientific and Practical Center for Radiation Medicine and Human Ecology»; 2014. (in Russian)
5. Catalog of average annual effective radiation doses for residents of populated areas of the Republic of Belarus. Minsk; 2015. (in Russian)
6. Vlasova N. G. Doses assessment of population at long-term period after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena [Radiation Hygiene]*. 2014; 7(3): 9–18. (in Russian)
7. Ramzaev V. P., Barkovsky A. N., Varfolomeeva K. V. Vertical distribution of ^{137}Cs in soddy-podzolic sandy soil in grasslands and forests of the Bryansk region in 2015–2016. *Radiatsionnaya Gygiena [Radiation Hygiene]*. 2019; 12(3): 27–41. (in Russian)
8. Avetisov A. R., Stozharov A. N. Comparative characteristics of effective doses of internal irradiation of the population received by the direct and calculated method. In: Zhukova N. P. et al., eds. *Sanitary and Epidemiological Service of the Republic of Belarus: history, current problems at the present stage and development prospects: collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference «Health and Environment», dedicated to the 90th anniversary of the Sanitary and Epidemiological Service of the Republic of Belarus*, Minsk, October 28, 2016. v. 1. Minsk; 2016: 183–6. (in Russian)

Поступила 03.11.2021

УДК 614.876:614.841.4

Кляус В. В., Жукова О. М., Гусейнова Д. И.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНГАЛЯЦИОННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ПОЖАРАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты оценки текущего уровня радиоактивного загрязнения территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (далее — ППРЭЗ), лесного фонда Республики Беларусь по состоянию на 2020 г., результаты

оценки коэффициентов ресуспензии для территории ПГРЭЗ и результаты прогнозирования последствий лесных пожаров на территории ПГРЭЗ, полученные в рамках реализации НИР «Оценить меры радиационной защиты населения от загрязнения приземного воздуха при лесных пожарах на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения», выполняемой по заданию «Разработка методов оценки доз облучения, ожидаемых в результате ингаляционного поступления радионуклидов при чрезвычайных ситуациях на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения» мероприятия 1.2 «Снижение рисков трансграничных переносов радиоактивных элементов при чрезвычайных ситуациях на радиоактивно загрязненных территориях государств — участников Союзного государства и повышение оперативности их ликвидации» Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: радионуклид, чернобыльская зона отчуждения, ПГРЭЗ, лесной фонд, лесной пожар, объемная активность, ингаляционная доза облучения, персонал, население.

Введение. С 1993 по 2013 г. в чернобыльской зоне отчуждения (далее — ЧЗО) произошло более 1250 природных пожаров различных видов. При пожарах в ЧЗО повышенные уровни содержания ^{137}Cs в воздухе фиксируются не только в Республике Беларусь и Украине, но и в странах Европы (Франция, Германия, Греция) и Скандинавии. Например, во время последних крупных пожаров в ЧЗО в апреле 2020 г. в атмосферу было выброшено порядка 0,7–1,2 ТБк ^{137}Cs . Дымовые шлейфы частично распространились на юг и запад и способствовали обнаружению находящегося в воздухе ^{137}Cs над территорией Украины и в Западной Европе. Увеличение содержания ^{137}Cs в воздухе варьировалось от нескольких сотен мкБк/м³ на севере Украины до незначительных уровней в несколько мкБк/м³ в других европейских странах. Моделирование рассеяния дымовой эмиссии при пожарах позволило определить время прибытия облака и помогло оценить возможное увеличение объемной активности ^{137}Cs в воздухе в Европе. Повышение содержания в воздухе ^{90}Sr (по оценкам, его выброс составил порядка 345–612 ГБк) и Pu (до 75 ГБк, в основном ^{241}Pu) регистрировалось только в ЧЗО. ^{241}Am составил только 1,4 % от общего количества выброшенных антропогенных радионуклидов, но на его долю пришлось до 80 % ингаляционной дозы облучения [1].

При пожарах в ЧЗО радиоактивные зола, недожог, пепел становятся открытыми источниками ионизирующего излучения, а уровень их загрязнения нередко равен уровню загрязнения радиоактивных отходов. Особую опасность представляют дымовые выбросы, содержащие радионуклиды, осажденные на мелкодисперсной аэрозольной фракции, поэтому определение дисперсного состава радионуклидов в дымовых выбросах при пожарах в ПГРЭЗ является крайне актуальной задачей. Ингаляционное поступление радиоактивных аэрозолей может давать вклад во внутреннюю дозу облучения лиц, участвующих в тушении пожаров и в лесохозяйственных работах на местах возгораний, а также населения, проживающего в близлежащих населенных пунктах. Согласно оценкам, максимальные дозы облучения персонала, принимающего участие в ликвидации пожаров в украинской части ЧЗО, составляют до 0,97 мкЗв за 1 час работы [2].

Для ограничения облучения работников, отнесенных к категории «персонал» и выполняющих работы в зонах радиоактивного загрязнения, нормативными документами Республики Беларусь установлена доза облучения 5 мЗв/год [3, 4], а для ограничения облучения населения — предел дозы облучения 1 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв/год [5]. Метод оценки доз облучения персонала и иных лиц, участвующих в пожаротушении от пожаров в ЧЗО, и населения, проживающего в близлежащих населенных пунктах, в настоящее время в Республике Беларусь отсутствует.

Цель работы — определить изотопный состав радионуклидов на горельниках, оценить текущий уровень радиоактивного загрязнения территории ПГРЭЗ, лесного фонда Республики Беларусь, оценить коэффициенты ресуспензии на территории ПГРЭЗ, выполнить прогноз последствий пожаров на территории ЧЗО и оценку доз ингаляционного облучения лиц, участвующих в пожаротушении, населения, проживающего в Гомельской области, и населения, находящегося в зоне риска.

Материалы и методы. Уточнение загрязнения радионуклидами территории ПГРЭЗ проводилось на основании результатов комплексного обследования территории ПГРЭЗ, проведенного в 2007–2008 гг. Белгидрометом по заданию «Реализация комплексного проекта по созданию тематического атласа современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси» Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006–2010 годы. В пробах почвы, которые отбирались в ПГРЭЗ, содержание ^{137}Cs измерялось по сетке с шагом 1 км, содержание ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ — по сетке с шагом 4 км. Содержание ^{241}Pu рассчитывалось на основе

данных о содержании ^{241}Am , полученных экспериментальным путем. В результате были построены карты радиоактивного загрязнения территории ПГРЭЗ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{238,239,240,241}\text{Pu}$ по состоянию на 1 января 2009 г., а также карта-прогноз загрязнения ^{241}Am по состоянию на 1 января 2056 г., которые включены в Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси [6].

Кроме того, для уточнения загрязнения радионуклидами территории ПГРЭЗ использованы результаты проекта Polessie State Radiation. Radioactive contamination of the territory of Belarus in the Polessie State Radiation-Ecological Reserve/ NATO Programme for Security through Science. Science for Peace: Final Report, project SFP.EAP.SFPP 983057 (далее — проект НАТО). Для определения плотности загрязнения почвы в пробах почвы, которые отбирались в ПГРЭЗ, содержание радионуклидов измерялось по сетке с шагом 0,5 км. В результате построены карты радиоактивного загрязнения территории ПГРЭЗ, граничащей с Украиной [7].

На основании данных о значениях объемной активности радионуклидов в воздухе после пожаров на территории ПГРЭЗ, произошедших в 2015 г. [8], и данных о плотности загрязнения территории по состоянию на 2015 г. рассчитаны значения коэффициентов ресуспензии радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am на территории ПГРЭЗ.

Коэффициенты ресуспензии радионуклидов R (м^{-1}) на территориях, загрязненных радионуклидами, рассчитывались как отношение средней объемной активности аэрозолей в воздухе к плотности загрязнения территории:

$$R = A_v / S, \quad (1)$$

где A_v — объемная активность аэрозолей в воздухе, $\text{Бк}/\text{м}^3$;
 S — плотность загрязнения площадки, $\text{Бк}/\text{м}^2$.

Для прогнозирования последствий пожаров на радиоактивно загрязненной после ЧАЭС территории были проведены оценки последствий для 6 различных сценариев лесных пожаров (реальные и гипотетические), с учетом реальных метеорологических данных. Исходные данные для некоторых из рассмотренных сценариев представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Исходные данные (сценарии) для расчета последствий пожаров на территории ПГРЭЗ

Сценарий, №	Дата пожара	Территория	Площадь, км^2	Плотность загрязнения, $\text{Бк}/\text{м}^2$	Направление ветра	Осадки, мм	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$
Сценарий 1	8 августа 2015 г.	Украина, приграничная территория с РБ (НП Усов и Красное)	50	$^{137}\text{Cs} - 3,7 \times 10^6$ $^{90}\text{Sr} - 9,2 \times 10^5$ $^{239}\text{Pu} - 9,1 \times 10^3$ $^{241}\text{Am} - 2,6 \times 10^4$	Юго-западное	Без осадков	1–2	20–32
Сценарий 2	7 апреля 2020 г.	Граница РБ — Украина (Денисовичское лесничество)	110	$^{137}\text{Cs} - 3,7 \times 10^5$ $^{90}\text{Sr} - 1,3 \times 10^4$ $^{239}\text{Pu} - 7,0 \times 10^2$ $^{241}\text{Am} - 1,0 \times 10^5$	Юго-западное	Без осадков	2–3	6–16
Сценарий 3	25 августа 2020 г.	ПГРЭЗ (участок, ограниченный НП Лесок, Молочки, Радин)	54	$^{137}\text{Cs} - 4,0 \times 10^6$ $^{90}\text{Sr} - 5,0 \times 10^5$ $^{239}\text{Pu} - 1,2 \times 10^4$ $^{241}\text{Am} - 1,7 \times 10^4$	Юго-западное, южное	Дождь, 2,1–4,2	0–1	17–23

Моделирование сценариев пожаров в ПГРЭЗ проводилось с помощью программного комплекса Java-based Real Time On-line Decision Support System (далее — JRODOS). С помощью модуля JRODOS-Wildfire и модели переноса частиц Лагранжа (LASAT) оценены перенос и осаждение перераспределенных радионуклидов, а также концентрации радионуклидов в окружающей среде и дозы ингаляционного облучения людей [9].

Индивидуальные эффективные дозы облучения персонала $E_{\text{инг}}$ (Зв), ожидаемые в результате ингаляционного поступления радионуклидов при тушении пожара на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, оценивались с использованием выражения:

$$E_{ing} = \sum_{i=1}^s (e(g)_i \times \rho_i) \times v \times t, \quad (2)$$

где $e(g)_i$ — дозовый коэффициент для персонала, равный ожидаемой эффективной дозе, обусловленной ингаляционным поступлением 1 Бк i -го радионуклида в организм в зависимости от возраста человека, с учетом процессов метаболизма радионуклида в организме, класса растворимости и размера частиц в радиоактивном аэрозоле, Зв/Бк;

ρ_i — объемная активность i -го радионуклида в зоне дыхания участников пожаротушения, Бк/м³;

v — интенсивность дыхания, м³/ч. Согласно [3] значение $v_{перс}$ принято равным 3 м³/ч;

t — продолжительность вдыхания загрязненного воздуха, ч.

Индивидуальные эффективные дозы облучения населения рассчитывались также по формуле (2), принимая во внимание, что ρ_i — прогнозируемое либо фактическое значение объемной активности i -го радионуклида в воздухе в населенном пункте, Бк/м³, а $v_{нас} = 0,9$ м³/ч для рассматриваемой возрастной группы «взрослые (старше 17 лет)» [3].

Результаты и их обсуждение. Проанализированы данные, характеризующие современную радиационную обстановку на территории Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС, в том числе радиоактивное загрязнение лесного фонда и территории ПГРЭЗ. По состоянию на 01.01.2020 г. территория лесного фонда, отнесенная к зонам радиоактивного загрязнения, составляет 1559,5 тыс. га, или 16,3 % от общей площади [10].

Результаты радиационного обследования и построенные на их основе карты загрязнения ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am, ^{238,239,240}Pu позволили оценить распределение территории ПГРЭЗ по уровням загрязнения почвы и суммарную активность этих радионуклидов на территории ПГРЭЗ.

В результате анализа уровней содержания радионуклидов в различных почвенных слоях установлено, что в 2010–2020 гг. глубина проникновения радионуклидов (основной запас) по вертикальному профилю различных почв в ближней и дальней зоне ЧАЭС составила от 5 до 15 см. В 5–7-сантиметровом слое автоморфных почв ближней зоны осталось 95 % запаса ¹³⁷Cs, в дальней зоне — около 65 %, в дерново-подзолисто-глееватых и глеевых почвах соответственно 74 % и 52 %, в аллювиальных (пойменных) — 64 % и 33 %. ⁹⁰Sr в 5-сантиметровом слое автоморфных, дерново-подзолисто-глееватых и глеевых почв ближней зоны осталось 79 %, в аллювиальных — 47,5 %. В почвах дальней зоны, соответственно, — 38 %, 34 % и 17 %. Основная часть изотопов Pu и ²⁴¹Am в почвах находятся в верхнем слое (0–10 см), и лишь в песчаных разновидностях дерново-подзолистых почв — в 20-сантиметровом слое [10].

К настоящему времени более 80 % топливных горячих частиц растворились в почве, и радионуклиды включились в процессы биогеохимической миграции. Это привело к тому, что на данный момент в лесной подстилке, древостое и подлеске может находиться до половины активности ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs от содержания в почве, а также менее 1 % изотопов Pu и ²⁴¹Am, которые содержатся в нижней гумифицированной части подстилки. Pu и ²⁴¹Am в почвах находятся преимущественно в малоподвижном состоянии.

С использованием данных измерений объемной активности ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am при пожарах в районе д. Кожушки 2015 г. проведена оценка значений коэффициентов ресуспензии радионуклидов во время пожаров на территории ПГРЭЗ. Значения коэффициентов составили от $4,79 \times 10^{-10} \text{ м}^{-1}$ до $8,99 \times 10^{-10} \text{ м}^{-1}$ для ¹³⁷Cs и от $1,15 \times 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ до $4,61 \times 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ для ²⁴¹Am.

Для изучения мест пожаров и радиационного обследования гари, образовавшейся после пожара 2015 г., в районе бывшей д. Кожушки в рамках выезда в ПГРЭЗ проведена гамма-съемка маршрута посещения зоны отчуждения. При проведении обследования 10.09.2020 г. в районе пункта захоронения отходов дезактивации измерены уровни мощности экспозиционной дозы (далее — МЭД) гамма-излучения. Значения МЭД гамма-излучения составили: 0,35 мкЗв/ч, 0,37 мкЗв/ч, 0,4 мкЗв/ч, 0,41 мкЗв/ч, 0,45 мкЗв/ч (рисунок 1).

В результате моделирования лесных пожаров в ПГРЭЗ установлено, что перенос радиоактивного облака из ПГРЭЗ до близлежащих населенных пунктов (далее — НП) составит несколько часов, а в случае пожара в ЧЗО на территории Украины — от 7 до 18 часов в зависимости от метеорологических условий.

Объемная активность в воздухе, интегрированная во времени, через 24 часа после начала пожара в очаге пожара составит для различных сценариев: для ¹³⁷Cs порядка 10^5 – 10^7 Бк × с/м³, ⁹⁰Sr — 10^4 – 10^6 Бк × с/м³, ²³⁹Pu — 10^2 – 10^4 Бк × с/м³, ²⁴¹Am — 10^3 – 10^4 Бк × с/м³ (рисунок 2).

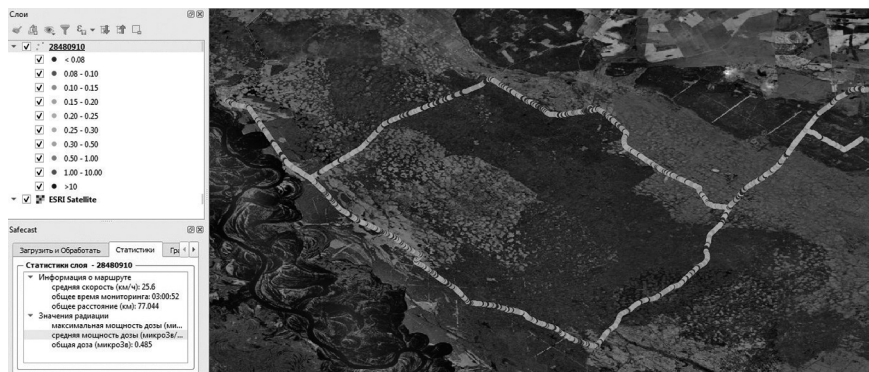


Рисунок 1.— Гамма-съемка маршрута посещения зоны отчуждения с индикацией доз внешнего облучения в районе гари около д. Кожушки 10 сентября 2020 г., мкЗв

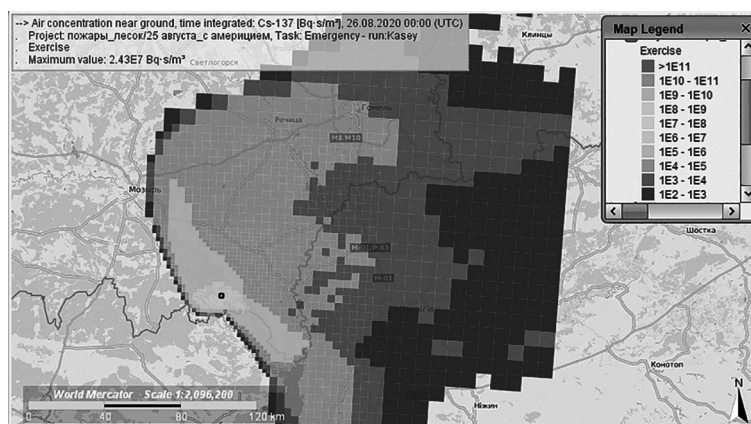


Рисунок 2.— Концентрация цезия-137 в воздухе, интегрированная во времени, через 24 часа после начала, Бк × с/м³

Выпадения ^{137}Cs на почву в НП Гомельской области составят от $1,2 \text{ Бк/м}^2$ до $2,4 \times 10^5 \text{ Бк/м}^2$ (при метеоусловиях с осадками).

Результаты выполненной оценки последствий для различных сценариев лесных пожаров, возникающих в ПГРЭЗ на территориях с высокой плотностью загрязнения, приведены в таблице 2.

Таблица 2.— Результаты расчетов последствий для различных сценариев лесных пожаров в ПГРЭЗ

Параметр	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Для персонала	На месте пожара		
Максимальная объемная активность радионуклида в воздухе, Бк/м³	$^{137}\text{Cs} - 9,5$ $^{90}\text{Sr} - 2,4 \times 10^1$ $^{239}\text{Pu} - 1,0 \times 10^{-1}$ $^{241}\text{Am} - 3,3 \times 10^{-1}$	$^{137}\text{Cs} - 7,1$ $^{90}\text{Sr} - 2,5 \times 10^{-1}$ $^{239}\text{Pu} - 6,7 \times 10^{-3}$ $^{241}\text{Am} - 9,6 \times 10^{-3}$	$^{137}\text{Cs} - 1,95 \times 10^3$ $^{90}\text{Sr} - 2,44 \times 10^2$ $^{239}\text{Pu} - 2,8 \times 10^{-1}$ $^{241}\text{Am} - 3,9 \times 10^{-1}$
Ингаляционная доза облучения от отдельных радионуклидов в очаге возгорания за 24 ч, мкЗв	$^{137}\text{Cs} - 7,5$ $^{90}\text{Sr} - 1,5 \times 10^1$ $^{239}\text{Pu} - 1,0 \times 10^2$ $^{241}\text{Am} - 2,4 \times 10^2$	$^{137}\text{Cs} - 1,7$ $^{90}\text{Sr} - 4,6 \times 10^{-1}$ $^{239}\text{Pu} - 1,7 \times 10^1$ $^{241}\text{Am} - 2,1 \times 10^1$	$^{137}\text{Cs} - 4,3 \times 10^1$ $^{90}\text{Sr} - 4,2 \times 10^1$ $^{239}\text{Pu} - 7,1 \times 10^2$ $^{241}\text{Am} - 8,4 \times 10^2$
Общая ингаляционная доза облучения в очаге возгорания за 24 ч, мкЗв	$3,62 \times 10^2$	$4,0 \times 10^1$	$1,6 \times 10^5$
Для населения	г. Гомель	г. Брагин	г. Гомель
Объемная активность радионуклида в воздухе, Бк/м³	$^{137}\text{Cs} - 1,20 \times 10^{-1}$ $^{90}\text{Sr} - 4,6 \times 10^{-2}$ $^{239}\text{Pu} - 2,3 \times 10^{-4}$ $^{241}\text{Am} - 6,6 \times 10^{-4}$	$^{137}\text{Cs} - 2,4 \times 10^{-2}$ $^{90}\text{Sr} - 8,0 \times 10^{-4}$ $^{239}\text{Pu} - 2,1 \times 10^{-5}$ $^{241}\text{Am} - 3,1 \times 10^{-5}$	$^{137}\text{Cs} - 1,5 \times 10^{-1}$ $^{90}\text{Sr} - 2,0 \times 10^{-2}$ $^{239}\text{Pu} - 2,3 \times 10^{-3}$ $^{241}\text{Am} - 3,2 \times 10^{-4}$

Параметр	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Для персонала	На месте пожара		
Выпадения на почву, Бк/м ²	¹³⁷ Cs — 1,0 × 10 ¹ ⁹⁰ Sr — 2,6 ²³⁹ Pu — 1,3 × 10 ⁻² ²⁴¹ Am — 3,6 × 10 ⁻²	¹³⁷ Cs — 1,2 ⁹⁰ Sr — 4,0 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 1,1 × 10 ⁻³ ²⁴¹ Am — 1,5 × 10 ⁻³	¹³⁷ Cs — 2,4 × 10 ³ ⁹⁰ Sr — 3,0 × 10 ² ²³⁹ Pu — 3,6 ²⁴¹ Am — 5,1
Ингаляционная доза облучения за первые 24 ч, мкЗв	¹³⁷ Cs — 2,9 × 10 ⁻² ⁹⁰ Sr — 5,6 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 3,9 × 10 ⁻¹ ²⁴¹ Am — 9,3 × 10 ⁻¹	¹³⁷ Cs — 3,6 × 10 ⁻³ ⁹⁰ Sr — 9,6 × 10 ⁻⁴ ²³⁹ Pu — 3,6 × 10 ⁻² ²⁴¹ Am — 4,3 × 10 ⁻²	¹³⁷ Cs — 2,4 × 10 ⁻² ⁹⁰ Sr — 2,3 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 3,9 × 10 ⁻¹ ²⁴¹ Am — 4,6 × 10 ⁻¹
Общая ингаляционная доза облучения возгорания за 24 ч, мкЗв	1,4	0,08	0,9
Для населения	г. Мозырь	г. Хойники	г. Брагин
Объемная активность радионуклида в воздухе, Бк/м ³	¹³⁷ Cs — 2,03 × 10 ⁻³ ⁹⁰ Sr — 5,1 × 10 ⁻⁴ ²³⁹ Pu — 8,3 × 10 ⁻⁷ ²⁴¹ Am — 7,2 × 10 ⁻⁶	¹³⁷ Cs — 3,4 × 10 ⁻² ⁹⁰ Sr — 1,2 × 10 ⁻³ ²³⁹ Pu — 3,1 × 10 ⁻⁵ ²⁴¹ Am — 4,5 × 10 ⁻⁵	¹³⁷ Cs — 2,5 × 10 ⁻¹ ⁹⁰ Sr — 3,2 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 3,8 × 10 ⁻⁴ ²⁴¹ Am — 5,4 × 10 ⁻⁴
Выпадения на почву, Бк/м ²	¹³⁷ Cs — 1,0 × 10 ⁻¹ ⁹⁰ Sr — 2,9 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 1,2 × 10 ⁻⁴ ²⁴¹ Am — 4,1 × 10 ⁻⁴	¹³⁷ Cs — 1,5 ⁹⁰ Sr — 5,8 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 1,6 × 10 ⁻³ ²⁴¹ Am — 1,9 × 10 ⁻³	¹³⁷ Cs — 1,8 × 10 ³ ⁹⁰ Sr — 2,3 × 10 ² ²³⁹ Pu — 2,7 ²⁴¹ Am — 3,9
Ингаляционная доза облучения от отдельных радионуклидов за первые 24 ч, мкЗв	¹³⁷ Cs — 2,02 × 10 ⁻⁴ ⁹⁰ Sr — 3,9 × 10 ⁻⁴ ²³⁹ Pu — 4,2 × 10 ⁻³ ²⁴¹ Am — 1,0 × 10 ⁻²	¹³⁷ Cs — 4,5 × 10 ⁻³ ⁹⁰ Sr — 1,4 × 10 ⁻³ ²³⁹ Pu — 5,2 × 10 ⁻² ²⁴¹ Am — 6,3 × 10 ⁻²	¹³⁷ Cs — 3,9 × 10 ⁻² ⁹⁰ Sr — 4,5 × 10 ⁻² ²³⁹ Pu — 6,4 × 10 ⁻¹ ²⁴¹ Am — 7,7 × 10 ⁻¹
Общая ингаляционная доза облучения от очага возгорания за 24 ч, мкЗв	0,015	0,12	1,5

Анализ вклада в ингаляционную дозу облучения персонала показал, что при всех рассмотренных сценариях пожаров вклад в дозу трансурановых радионуклидов будет максимальным и составит порядка 48–69 % для ²⁴¹Am и 23–48 % для ²³⁹Pu. Вклад радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr будет незначительным и составит от 1 до 10 % для каждого из радионуклидов. Вклад радионуклидов в ингаляционную дозу облучения персонала по наиболее консервативному сценарию 3 (штиль) приведен на рисунке 3.

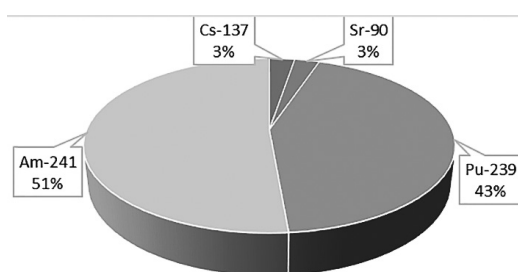


Рисунок 3.— Вклад различных радионуклидов в ингаляционную дозу облучения персонала на месте пожара (сценарий 3), %

Заключение. В результате выполнения исследований определен изотопный состав радионуклидов на горельниках: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am, изотопы Pu. Запас радионуклидов на территории ПГРЭЗ составляет: ¹³⁷Cs — 2,5 × 10¹⁵ Бк (67 560 Ки), ⁹⁰Sr — 1,8 × 10¹² (4 864 Ки), ^{238,239,240}Pu — 2,2 × 10¹² (60 Ки) и ²⁴¹Am — 4,9 × 10¹² (132 Ки).

В результате участия в натурных исследованиях в ПГРЭЗ уточнены текущие уровни МЭД гамма-излучения в районе крупного пожара в д. Кожушки — 0,35–0,45 мкЗв/час.

Результаты оценки коэффициентов ресуспензии на участках возникновения пожаров в ЧЗО показали, что коэффициент ресуспензии для ¹³⁷Cs составляет (1,9–4,79) × 10⁻¹⁰ м⁻¹, а для ²⁴¹Am — (1,15–4,61) × 10⁻⁸ м⁻¹.

В результате выполненного прогноза последствий пожаров на территории ПГРЭЗ для различных сценариев с учетом реальных метеорологических данных установлено, что объемная активность радионуклидов в воздухе на местах пожара для ^{137}Cs составит от 7 Бк/м^3 до $2 \times 10^5 \text{ Бк/м}^3$, ^{90}Sr — от $2,5 \times 10^{-3} \text{ Бк/м}^3$ до $2,4 \times 10^3 \text{ Бк/м}^3$, ^{241}Am — от $6,7 \times 10^{-3} \text{ Бк/м}^3$ до $3 \times 10^{-1} \text{ Бк/м}^3$ и ^{239}Pu — от $9,6 \times 10^{-3} \text{ Бк/м}^3$ до $4 \times 10^{-1} \text{ Бк/м}^3$ соответственно. При этом уровни выпадений данных радионуклидов на почву составят от $1,2 \text{ Бк/м}^2$ до $2,4 \times 10^3 \text{ Бк/м}^2$ для ^{137}Cs , от $4 \times 10^{-2} \text{ Бк/м}^2$ до $3 \times 10^2 \text{ Бк/м}^2$ для ^{90}Sr , от $1,3 \times 10^{-2} \text{ Бк/м}^2$ до $3,6 \text{ Бк/м}^2$ для ^{239}Pu , от $1,5 \times 10^{-3} \text{ Бк/м}^2$ до $5,1 \text{ Бк/м}^2$ для ^{241}Am .

Дозы облучения участников пожаротушения (т. е. персонала) на месте пожаров при проведении консервативной оценки, т. е. при допущении отсутствия СИЗ органов дыхания при пожаротушении и времени тушения непрерывно в течение 24 часов и с учетом реальных метеорологических условий, могут составить от 0,04 мЗв до 1,6 мЗв (при штиле). Таким образом, при метеорологических условиях «штиль» для лиц, участвующих в пожаротушении на территории ПГРЭЗ без применения СИЗ органов дыхания в течение более 75 часов за год, может быть превышен установленный предел дозы облучения — 5 мЗв/год [3, 5].

Результаты оценки доз облучения населения для вышеприведенных сценариев показали, что максимальные значения доз облучения будут наблюдаться при большей скорости ветра и могут составить до 1,4–1,5 мкЗв/сут (г. Гомель, г. Брагин). Предел дозы облучения для населения 1 мЗв/год [3] может быть достигнут при неблагоприятных для населения, проживающего вблизи ЧЗО, метеоусловиях (скорости ветра порядка 3–4 м/с) при ингаляции воздуха, загрязненного в результате пожаров на территориях с высокой плотностью загрязнения (порядка $4,6 \times 10^6 \text{ Бк/м}^3$ по ^{137}Cs , $5 \times 10^5 \text{ Бк/м}^3$ по ^{90}Sr , $1,2 \times 10^4 \text{ Бк/м}^3$ и $1,7 \times 10^4 \text{ Бк/м}^3$ по ^{239}Pu и ^{241}Am), более 1000 часов в течение года. При высокой скорости ветра (более 5 м/с) радиологическая опасность ингаляции загрязненного радионуклидами воздуха будет выше.

Для верификации моделей, используемых при оценке последствий пожаров, были использованы данные, полученные Белгидрометом на пунктах наблюдения радиационного мониторинга атмосферного воздуха г. Мозырь, г. Гомель при пожарах, произошедших в 2015 г. Полученные результаты расчетов свидетельствуют о достаточно хорошей сопоставимости расчетных данных программного модуля JRODOS-Wildfire и данных радиационного мониторинга.

Вклад в дозу ингаляционного облучения персонала на месте пожара составит от 1 до 10 % отдельно для ^{137}Cs и ^{90}Sr , ^{241}Am — 48–69 %, $^{238,239+240}\text{Pu}$ — 23–48 %.

Полученные результаты изотопного и количественного состава радионуклидов на горельниках в ПГРЭЗ, оценки коэффициентов ресуспензии на участках возникновения пожаров в ЧЗО, результаты прогноза последствий пожаров на территории ЧЗО с помощью программного комплекса JRODOS позволят впервые в Республике Беларусь разработать метод оценки доз облучения персонала и иных лиц, участвующих в пожаротушении от пожаров в ЧЗО, и населения, проживающего в зоне риска.

Литература

1. Europe-wide atmospheric radionuclide dispersion by unprecedented wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone / O. Masson [et al.] // Environmental Science and Technology. — 2021. — Vol. 55, iss. 20. — P. 13834–13848.

2. Радиологические последствия пожара в чернобыльской зоне отчуждения в апреле 2015 года / В. А. Кашпаров [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2017. — Т. 57, № 5. — С. 512–527.

3. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиен. нормативы: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена. — Вып. 2. — Минск, 2013. — С. 34–167.

4. Требования к радиационной безопасности: санитар. нормы и правила: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена. — Вып. 2. — Минск, 2013. — С. 4–34.

5. Требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении работ в зонах радиоактивного загрязнения: санитар. нормы и правила: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 2 июля 2015 г. № 89. — Минск, 2015. — 12 с.

6. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси / редкол.: Ю. А. Израэль, И. М. Богдевич. — М.; Минск, 2009. — 140 с.

7. Radioactive contamination of the territory of Belarus in the Polesie State Radiation-Ecological Reserve. NATO Programme for Security through Science. Science for Peace: Final Report, project SFP.EAP. SFPP 983057 / Yu. Bondar [et al.]. — Minsk, 2011. — 58 p.

8. Радиационный мониторинг / М. Г. Герменчук [и др.] // Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2015 / под общ. ред. М. А. Ересько. — Минск: БелНИЦ «Экология», 2016. — С. 298–305.

9. JRodos User Guide [Electronic resource] / I. Ievdin [et al.]. — Mode of access: https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodos_UserGuide.pdf. — Date of access: 03.06.2020.

10. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2018 год / под общ. ред. Е. П. Богодяж. — Минск, 2019. — 476 с.

Kliaus V. V., Zhukova O. M., Huseinava D. I.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR WORKERS AND PUBLIC DOSE ASSESSMENT AS A RESULT OF INHALATION OF RADIONUCLIDES IN CASE OF FIRES IN AREAS WITH A HIGH LEVEL OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

This article presents the results of assessment of the current level of radioactive contamination of the territory of the Polesie State Radiation and Environmental Reserve (hereinafter — PSRER), the forest fund of the Republic of Belarus as of 2020, the results of assessment of resuspension coefficients for the territory of PSRER, and the results of predicting the consequences of forest fires at the PSRER, obtained as part of the research work «To assess the measures of radiation protection of the public from surface air pollution during forest fires in areas with a high level of radioactive contamination», carried out on the assignment «Development of methods for dose assessment as a result of inhalation intake of radionuclides in emergency situations on the territories with a high level of radioactive contamination» measure 1.2 «Reducing the risks of transboundary transport of radioactive elements in emergency situations in the radioactive contaminated territories of the Member States of the Union State and speeding up their liquidation «Program of joint activities of Russia and Belarus within the framework of the Union State for the protection of the population and rehabilitation of territories affected by the disaster at the Chernobyl nuclear power plant».

Keywords: radionuclide, Chernobyl exclusion zone, PSRER, forest fund, forest fire, activity concentration, inhalation dose, workers, public.

References

1. Masson O., Romanenko O., Saunieret O. et al. Europe-wide atmospheric radionuclide dispersion by unprecedented wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone, April 2020. *Environmental Science and Technology*. 2021; 55(20): 13834–48.

2. Kashparov V. A., Myroniuk V. V., Zhurba M. A. et al. Radiological consequences of the fire in the Chernobyl exclusion zone in April 2015. *Radiation biology. Radioecology*. 2017; 57(5): 512–27. (in Russian)

3. Criteria for assessing radiation exposure: Hygienic standards: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 28 December 2012, No 213. In: *Radiation hygiene*. Minsk; 2015: 34–167. (in Russian)

4. Requirements for radiation safety: Sanitary standards and rules: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 28 December 2012, No 213. In: *Radiation hygiene*. Minsk; 2015: 4–34. (in Russian)

5. Requirements for ensuring radiation safety during work in areas of radioactive contamination: sanitary standards and rules: approved by the resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2 July 2015, No 89. Minsk; 2015. (in Russian)

6. Izrael' Yu. A., Bogdevich I. M., eds. The atlas of recent and predictable aspects of consequences of Chernobyl accident on polluted territories of Russia and Belarus (ARPA — Belarus). Moscow; Minsk; 2009. (in Russian)

7. Radioactive contamination of the territory of Belarus in the Polesie State Radiation-Ecological Reserve. NATO Programme for Security through Science. Science for Peace: Final Report, project SFP.EAP. SFP 983057 / Yu. Bondar [et al.]. — Minsk, 2011. — 58 p.

8. *Germenchuk M. G., Golikov U. N., Zhukova O. M. et al. Radiation monitoring. In: Eres'ko M.A., gen. ed. National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus: Observation Results, 2015. Minsk; 2016: 298—305. (in Russian).*

9. *Ievdin I., Trybushnyi D., Staudt Ch., Landman C. JRodos User Guide. Available at: https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodod_UserGuide.pdf (accessed 03 June 2020).*

10. *Bogodyazh E. P., gen ed. National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus: Observation Results, 2018. Minsk; 2019. (in Russian)*

e-mail для переписки: vkliaus@gmail.com, olga.zhukova.47@inbox.ru, dianahuseinava@gmail.com

Поступила 05.11.2021

УДК [614.876:621.039.58]-035.63/.64

Кляус В. В., Николаенко Е. В., Кочергина Н. С.

ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ УРОВНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ В СЛУЧАЕ ТЯЖЕЛОЙ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА АЭС

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящей статье приведены результаты оценки прогнозируемых уровней содержания радионуклидов (^{131}I и ^{137}Cs) в продуктах питания в случае тяжелой запроектной аварии на Белорусской АЭС и АЭС сопредельных государств (Ровенской и Смоленской АЭС), а также результаты оценки доз внутреннего облучения населения от потребления загрязненных радионуклидами пищевых продуктов и рекомендации по проведению аварийного радиационного мониторинга пищевых продуктов в случае радиационной аварии на АЭС.

Ключевые слова: радионуклид, Белорусская АЭС, тяжелая запроектная авария, объемная активность, удельная активность, пищевые продукты, доза облучения населения.

Введение. Как показал опыт аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима, при тяжелых радиационных авариях наблюдаются крайне высокие уровни радиоактивных выпадений на почву и подстилающую поверхность (до 5 000 кБк/м² [1]) и в связи с этим высокие уровни загрязнения пищевых продуктов. Согласно опыту аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима и в соответствии с публикациями МАГАТЭ и НКДАР ООН основными дозообразующими радионуклидами в продуктах питания являются ^{131}I и ^{137}Cs .

В связи с пуском в эксплуатацию Белорусской АЭС, а также ввиду того, что вблизи границ эксплуатируются АЭС, 100-километровые радиусы расширенного планирования которых (далее — РРП) [2] попадают на территорию Республики Беларусь, возникает необходимость прогнозирования уровней загрязнения пищевой продукции при возможной радиационной аварии на АЭС, оценки ожидаемых доз внутреннего облучения населения при потреблении загрязненных радионуклидами пищевых продуктов, а также заблаговременного определения необходимости введения защитных мероприятий для населения и возможных масштабов проведения аварийного радиационного мониторинга пищевых продуктов.

Цель работы — оценить прогнозируемые уровни содержания радионуклидов в продуктах питания в случае тяжелой запроектной аварии на Белорусской АЭС и АЭС сопредельных государств, оценить ожидаемые дозы внутреннего облучения населения от потребления пищевых продуктов и определить масштабы проведения аварийного радиационного мониторинга пищевых продуктов.

Материалы и методы. В качестве тяжелой аварии на Белорусской АЭС с реактором типа ВВЭР-1200 выбран сценарий реперной тяжелой запроектной аварии (далее — ЗА) с большой течью теплоносителя первого контура с отказом активной части САОЗ (ДУЗ46+ЕССС) и дополнительным наложением полного обесточивания АЭС в первые 24 часа. Расчетная суммарная активность аварийного выброса при такой ЗА составит $4,5 \times 10^{15}$ Бк (^{137}Cs — $6,9 \times 10^{12}$ Бк, ^{131}I — $3,6 \times 10^{13}$ Бк).

В качестве сценария ЗА на Ровенской АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 рассмотрена авария с разрывом трубопровода Ду850 на входе в реактор и потерей всех источников переменного тока на 24 часа, которая обычно рассматривается в качестве запроектной для реакторов такого типа [3].

Расчетная суммарная активность аварийного выброса при такой ЗА на Ровенской АЭС составит $3,39 \times 10^{15}$ Бк ($^{137}\text{Cs} - 3,6 \times 10^{12}$ Бк, $^{131}\text{I} - 1,7 \times 10^{13}$ Бк).

Смоленская АЭС — АЭС с 3 энергоблоками типа РБМК-1000. Неблагоприятные аварийные сценарии на реакторах типа РБМК могут быть определены только по отчетам АЭС, эксплуатирующих данный тип реакторных установок, которые отсутствуют в открытом доступе, поэтому в качестве сценария тяжелой аварии рассмотрен наиболее неблагоприятный сценарий — тяжелая ЗА с выбросом радионуклидов порядка чернобыльского с суммарной активностью аварийного выброса 3×10^{18} Бк ($^{137}\text{Cs} - 3,7 \times 10^{16}$ Бк, $^{131}\text{I} - 2,7 \times 10^{17}$ Бк) [4].

Моделирование сценариев тяжелых аварий на Белорусской, Ровенской и Смоленской АЭС проведено с помощью программного пакета Java-based Realtime Online Decision Support System (далее — JRODOS). Для оценки переноса радионуклидов в пищевые продукты использовалась модель переноса радионуклидов по пищевой цепи — Terrestrial Food Chain and Dose Model (далее — модель FDMT). Для ранней фазы аварии в качестве входных данных модель FDMT использует значения объемной активности радионуклидов в приземном слое атмосферы и информацию об осадках в ближней или дальней зоне АЭС, полученные с помощью модели атмосферной дисперсии Гаусса [5].

Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере и прогноза радиоактивных выпадений и уровней содержания радионуклидов в продуктах питания при ЗА на АЭС рассмотрено по 2-летним сценариям метеоусловий, когда существует вероятность произрастания растительных продуктов и нахождения животных на открытом пастбище. Метеорологические сценарии характеризуются различной температурой воздуха, скоростью и направлением ветра, осадками (или их отсутствием) и являются характерными для районов Республики Беларусь, входящих в 100-километровую зону вокруг Белорусской, Ровенской и Смоленской АЭС. Метеорологические сценарии выбраны на основании анализа данных многолетних наблюдений (с 1999 по 2018 г.), предоставленных ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» для метеостанции (далее — МС) Лынтупы, МС Ошмяны, МС Мстиславль и МС Пинск. Метеорологические условия рассмотренных сценариев представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Метеорологические условия сценариев аварий на Белорусской, Ровенской и Смоленской АЭС

Параметр	Ровенская АЭС		Смоленская АЭС		Белорусская АЭС	
	сценарий 1	сценарий 2	сценарий 1	сценарий 2	сценарий 1	сценарий 2
Дата	10.08.2018	20.06.2019	11.06.2019	24.05.2019	03.06.2019	10.05.2019
Направление ветра, °	135	184	70	90	110	102
Скорость ветра, м/с	5,7	3,3	2,3	3,6	2	2
Категория устойчивости атмосферы	C	D	F	C (с 22:00 — D)	D	F
Высота слоя перемешивания, м	1350	275	150	880	400	100
Осадки, мм	Отсутствуют	2,34	Отсутствуют	1,5	Отсутствуют	1,2
Температура воздуха, °C	+29	+27	+26	+19	+20	+15
Давление, мм рт. ст.	749	742	748	740	750	738
Влажность воздуха, %	39	60	70	92	70	80 (100 — при выпадении осадков)

Процессы осаждения и задержки радионуклидов растительностью и почвой являются исходными данными для оценки переноса радионуклидов по пищевым цепям.

Процессы сухого и влажного осаждения в модели FDMT рассматриваются отдельно. Общее осаждение на поверхности растений рассчитывается по формуле:

$$A_i = A_{di} + f_{w,i} \times A_w, \quad (1)$$

где A_i — общий объем выпадений для каждого типа растения i , Бк/м²;

A_{di} — объем сухого осаждения для каждого типа растения i , Бк/м²;
 $f_{w,i}$ — фракция задержки листвой для каждого типа растения;
 A_w — общее влажное осаждение, Бк/м².

Сухое осаждение для различных видов растений рассчитывается на основе интегрированной по времени объемной активности радионуклидов в воздухе с использованием скорости осаждения, которая зависит от типа растения:

$$A_{di} = v_{gi} \times \bar{C}_{air}, \quad (2)$$

где v_{gi} — скорость осаждения для каждого типа растений, м/с;

\bar{C}_{air} — интегрированная по времени объемная активность радионуклида в воздухе, Бк × с/м³.

Расчет корневого поглощения растениями, а также внешнего воздействия осажженных радионуклидов основан на расчете общего осаждения на почву и растительность:

$$A_s = A_{ds} + A_{dg} + A_w, \quad (3)$$

где A_s — общее осаждение, Бк/м²;

A_{ds} — сухое осаждение на почву, Бк/м²;

A_{dg} — сухое осаждение на траву, Бк/м²;

A_w — общее влажное осаждение, Бк/м².

Концентрация радионуклидов в растительных продуктах в зависимости от времени является результатом прямого загрязнения листовой части растения и переноса активности из почвы путем корневого поглощения и ресуспензии:

$$C_i(t) = C_{i,l}(t) + C_{i,r}(t), \quad (4)$$

где $C_i(t)$ — концентрация радионуклида в растении i ;

$C_{i,l}(t)$ — концентрация радионуклида в результате поглощения через поверхность листьев;

$C_{i,r}(t)$ — концентрация радионуклида вследствие корневого поглощения и ресуспензии.

При оценке значения концентрации (удельной активности) радионуклидов необходимо различать растения, которые используются полностью (лиственные овощи и кормовые травы), и растения, у которых используются отдельные части (например, злаки и картофель). В первом случае концентрация радионуклидов $C_{i,l}(t)$ в момент времени t после осаждения определяется начальным уровнем загрязнения от выпадений и потерей активности из-за воздействия атмосферных воздействий (дождь, ветер), радиоактивного распада и разбавления за счет роста. Удельная активность радионуклидов в растении во время сбора урожая определяется по формуле:

$$C_{i,l}(t) = \frac{A_i}{Y_i} e^{-(\lambda_w + \lambda_r) \times \Delta t}, \quad (5)$$

где $C_{i,l}(t)$ — удельная активность радионуклидов в растении во время сбора урожая;

A_i — общий объем выпадений для каждого типа растения i , Бк/м²;

Y_i — урожайность растений на момент сбора урожая, кг/м²;

λ_w — коэффициент потерь из-за атмосферных воздействий, день⁻¹;

λ_r — скорость радиоактивного распада, день⁻¹;

Δt — промежуток времени между осаждением радионуклида и сбором урожая, дней [6].

Доза внутреннего облучения от поступления радионуклидов с пищевыми продуктами рассчитывалась по формуле [7]:

$$E_{ing} = \sum_i^n (C_{f,i} \times U_{f,i} \times DI_i \times CF_{5,i}), \quad (6)$$

где $C_{f,i}$ — удельная(объемная) активность радионуклида i в продукте f , кБк/кг или кБк/л;

$U_{f,i}$ — количество продукта f , потребляемого рассматриваемой возрастной группой населения в день, кг/день или л/день. Потребление продуктов питания приведено в таблице 2;

E_{ing} — эффективная доза от поступления с пищей, мЗв;

$CF_{5,i}$ — коэффициент перехода к дозе, мЗв/кБк [8, 9];

DI_i — период потребления продукта в днях. В случае, если $T_{1/2}$ превышает 21 день, используется 30 дней. Если $T_{1/2}$ менее 21 дня, используется значение среднего периода жизни изотопа:

$$T_m = T_{1/2} \times 1,44, \quad (7)$$

где $T_{1/2}$ — период полураспада радионуклида.

Таблица 2.— Уровни потребления продуктов питания населением, используемые в расчетах, г/день

Перечень продуктов питания	1–2 года	3–7 лет	8–12 лет	13–17 лет	17 и более (взрослые)
Листовые овощи	58	74	79	86	94
Молоко	560	140	180	210	230
Свинина	3,9	72	78	90	108
Картофель	45	35	60	83	160

Результаты и их обсуждение. Графически прогнозируемые значения выпадений на почву основных радиологически значимых радионуклидов ^{131}I и ^{137}Cs после ЗА на Белорусской АЭС представлены на рисунке 1.

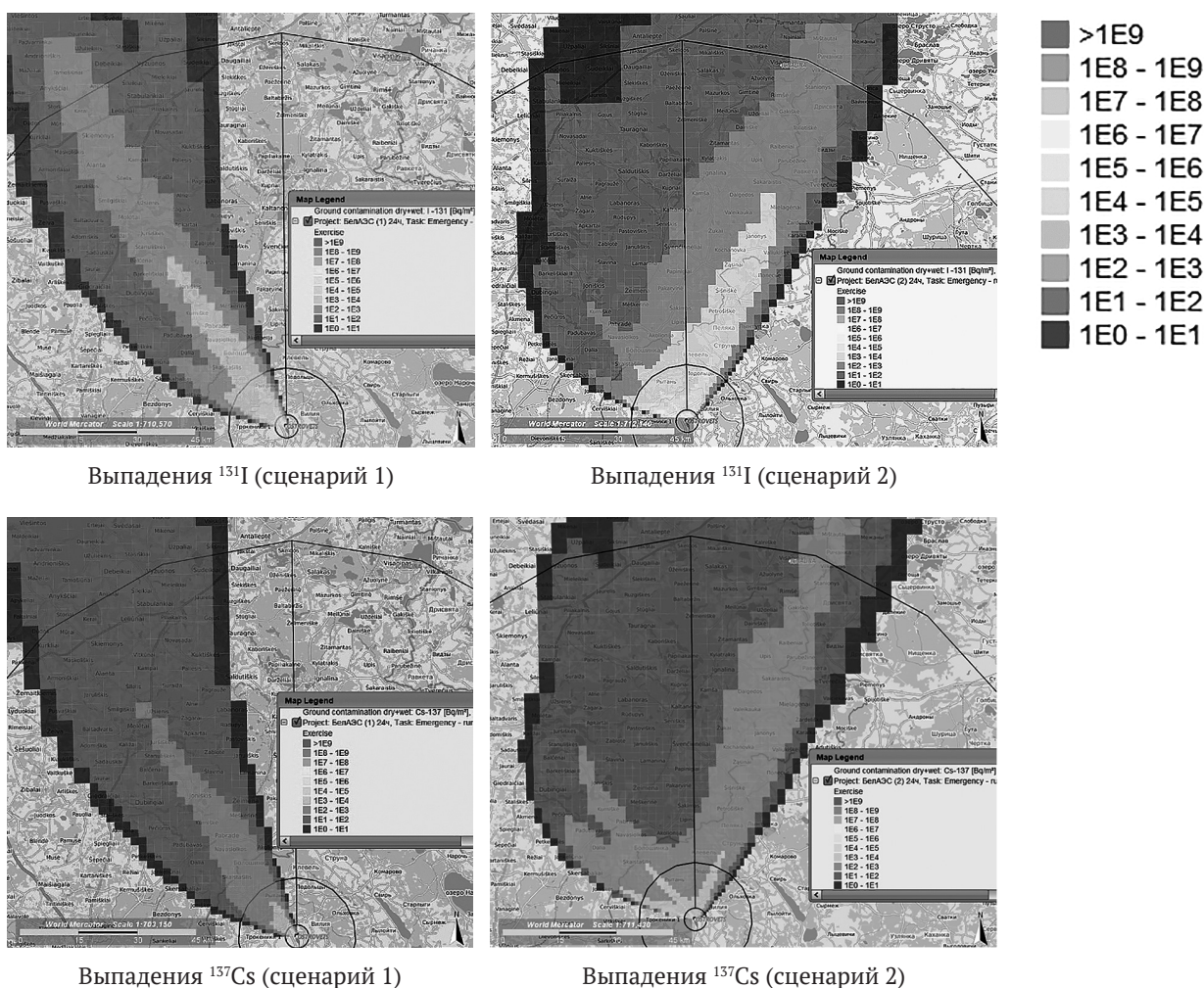


Рисунок 1.— Выпадения на почву ^{131}I и ^{137}Cs при тяжелой радиационной аварии на Белорусской АЭС, Бк/м²

Согласно расчетным данным территория в радиусе 3 км вокруг Белорусской АЭС при ЗА будет загрязнена изотопом ^{131}I с плотностью загрязнения от 120 до 462 кБк/м². В связи с этим необходимо предусмотреть мероприятия по ограничению использования местных продуктов питания в радиусе 3–5 км вокруг Белорусской АЭС. Плотность выпадения ^{131}I на территории 15 км, 30 км, 100 км вокруг Белорусской АЭС будет составлять менее 37 кБк/м².

Максимальные плотности выпадения ^{137}Cs на расстоянии 3 км от Белорусской АЭС за 24 ч после ЗА на Белорусской АЭС составят менее 37 кБк/м². Следовательно, согласно расчетным данным, за-

грязнение территории ^{137}Cs при ЗА на Белорусской АЭС на расстоянии 3–5 км от станции будет незначительным.

При проведении и оценке результатов аварийного радиационного мониторинга (разведки) необходимо учитывать существующее постчернобыльское загрязнение территории. В связи с тем, что уровни выпадений на почву будут очень невысоки (ниже 37 кБк/м² или 1 Ки/км²), дополнительных защитных мер на этой территории проводить не потребуется.

Прогнозируемые значения выпадений на почву основных радиологически значимых радионуклидов ^{131}I и ^{137}Cs после ЗА на Ровенской АЭС и Смоленской АЭС представлены на рисунках 2 и 3.

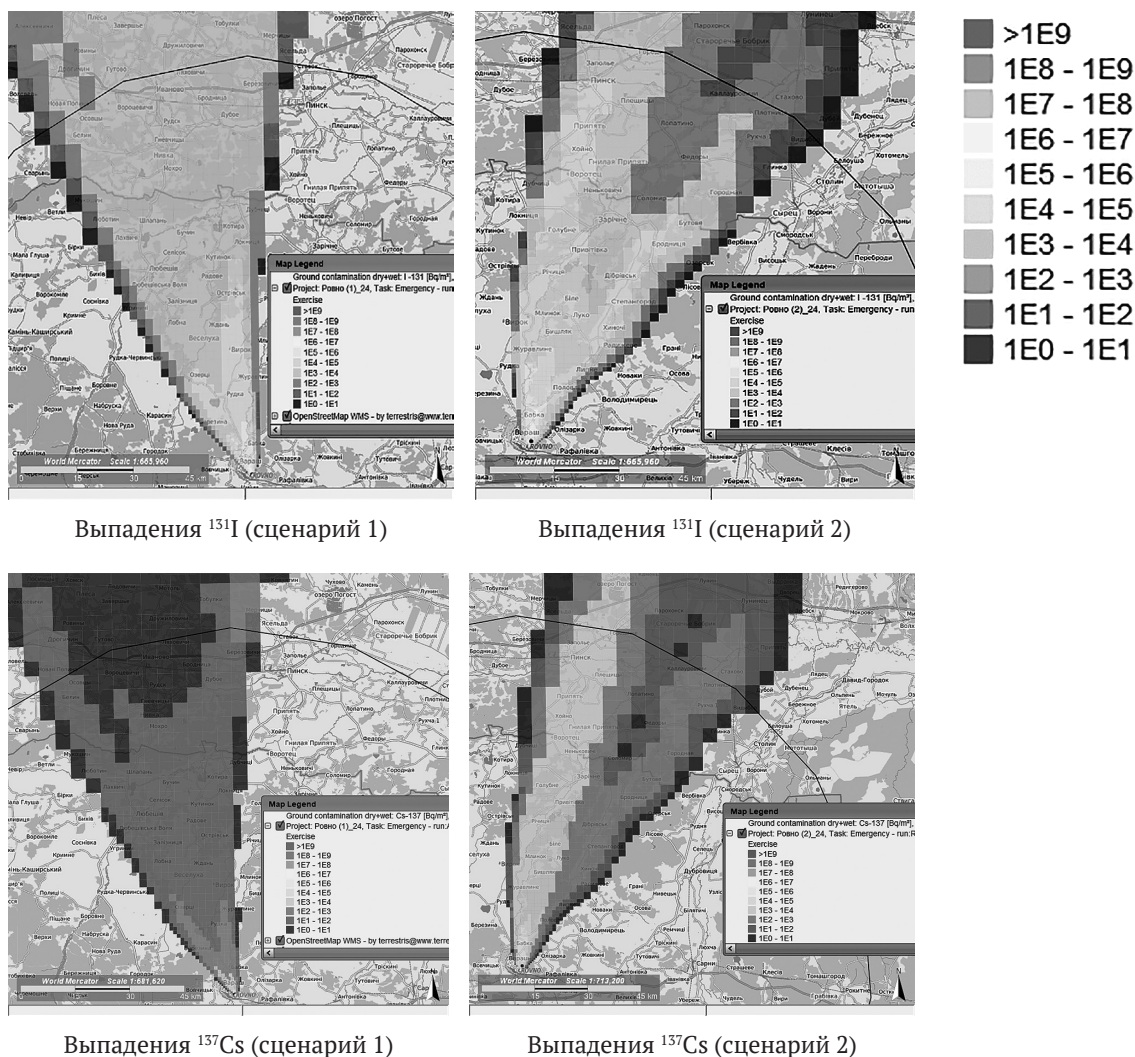
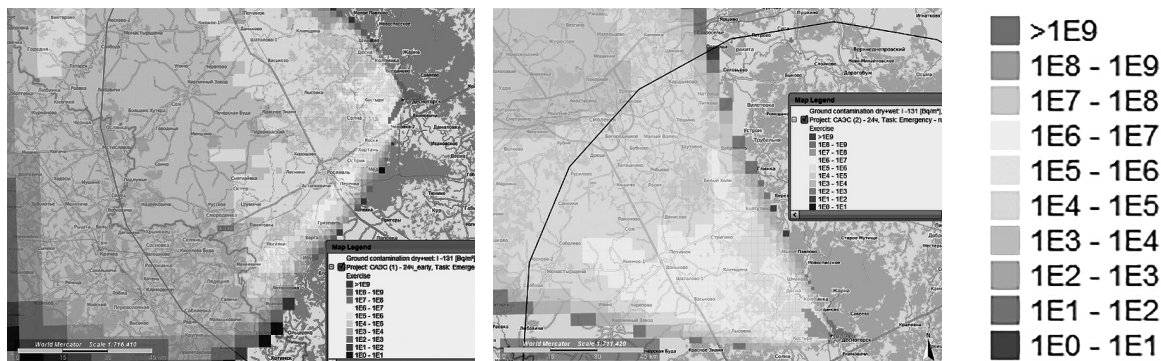


Рисунок 2. – Выпадения на почву ^{131}I и ^{137}Cs при тяжелой радиационной аварии на Ровенской АЭС, Бк/м²

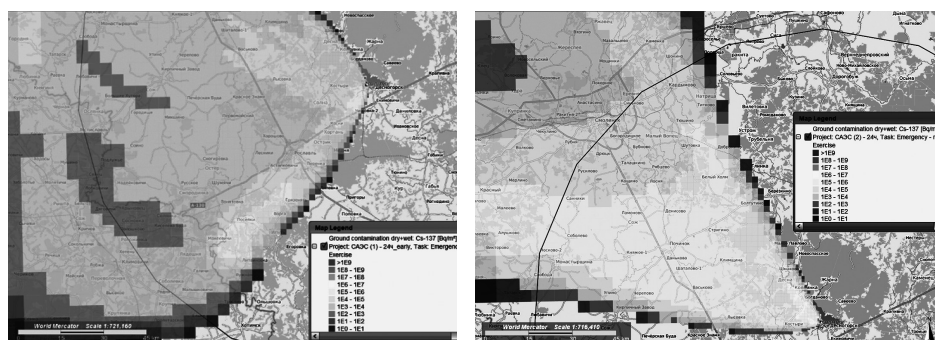
Максимальная плотность выпадения ^{131}I на территории Республики Беларусь за 10 и 24 часа после ЗА на Ровенской АЭС для сценария 2 составляет 5,74 кБк/м². Следовательно согласно расчетным данным даже максимальная плотность выпадений ^{131}I при ЗА на Ровенской АЭС не внесет дополнительный вклад в радиационную обстановку на приграничной территории Республики Беларусь. Мероприятия по блокированию щитовидной железы и по ограничению использования местных продуктов питания не предусматриваются.

Максимальная плотность выпадения ^{137}Cs в почве на территории Республики Беларусь за 10 и 24 часа после ЗА на Ровенской АЭС для сценария 2 составляет 0,18 кБк/м². Следовательно, согласно расчетным данным даже максимальная плотность выпадений ^{137}Cs при ЗА на Ровенской АЭС не внесет дополнительный вклад в радиационную обстановку на приграничной территории Республики Беларусь.



Выпадения ^{131}I (сценарий 1)

Выпадения ^{131}I (сценарий 2)



Выпадения ^{137}Cs (сценарий 1)

Выпадения ^{137}Cs (сценарий 2)

Рисунок 3.— Выпадения на почву ^{131}I и ^{137}Cs при тяжелой радиационной аварии на Смоленской АЭС, Бк/м²

Максимальная плотность выпадений ^{131}I на территории Республики Беларусь за 24 часа после ЗА на Смоленской АЭС для сценария 2 составит $8,43 \times 10^5$ Бк/м².

Согласно расчетным данным, плотность выпадений ^{131}I при ЗА на Смоленской АЭС внесет дополнительный вклад в радиационную обстановку на приграничной территории Республики Беларусь. В связи с этим необходимо предусмотреть мероприятия по блокированию щитовидной железы и по ограничению использования местных продуктов питания на приграничной территории Республики Беларусь.

Результаты оценки удельной активности основных дозообразующих радионуклидов ^{131}I и ^{137}Cs в продуктах питания [10, 11] на расстоянии 3 км от Белорусской АЭС на раннем этапе аварии приведены на рисунках 4 и 5. Красной линией на рисунках обозначен действующий уровень вмешательства по удельной активности в продуктах питания, молоке и воде (далее — ДУВ7), который равен для ^{131}I — 1 000 Бк/кг, для ^{137}Cs — 200 Бк/кг [2]. При превышении ДУВ7 требуется реализация мер по введению запрета на потребление пищевых продуктов и питьевой воды и проведение радиационного мониторинга.

Максимальные уровни содержания ^{131}I на раннем этапе аварии будут отмечаться в листовых овощах: удельная активность ^{131}I составит за первые сутки на расстоянии 3 км от Белорусской АЭС до 651 кБк/кг (сценарий 2), а в коровьем молоке — до 89,6 кБк/л (сценарий 2).

Максимальные уровни содержания ^{137}Cs на раннем этапе аварии будут наблюдаться в листовых овощах — до 42 кБк/кг (сценарий 2). В коровьем молоке максимальная удельная активность ^{137}Cs составит 2,28 кБк/л (сценарий 2), в мясе (свинина) — 61,2 Бк/кг (сценарий 2), в картофеле — 5,78 Бк/кг.

Значение удельной активности в продуктах питания, молоке и воде (ДУВ7) составляет для ^{131}I — 1 000 Бк/кг, для ^{137}Cs — 200 Бк/кг [2]. ДУВ7 для ^{131}I при ЗА будут превышены в радиусе 100 км, для ^{137}Cs — превышены в 2–3 раза в радиусе 3–5 км от Белорусской АЭС. Следовательно, защитные меры в виде введения запрета на потребление местных продуктов питания и воды из открытых источников и проведение мониторинга продуктов питания и питьевой воды потребуются в радиусе 100 км от Белорусской АЭС [2, 8, 9].

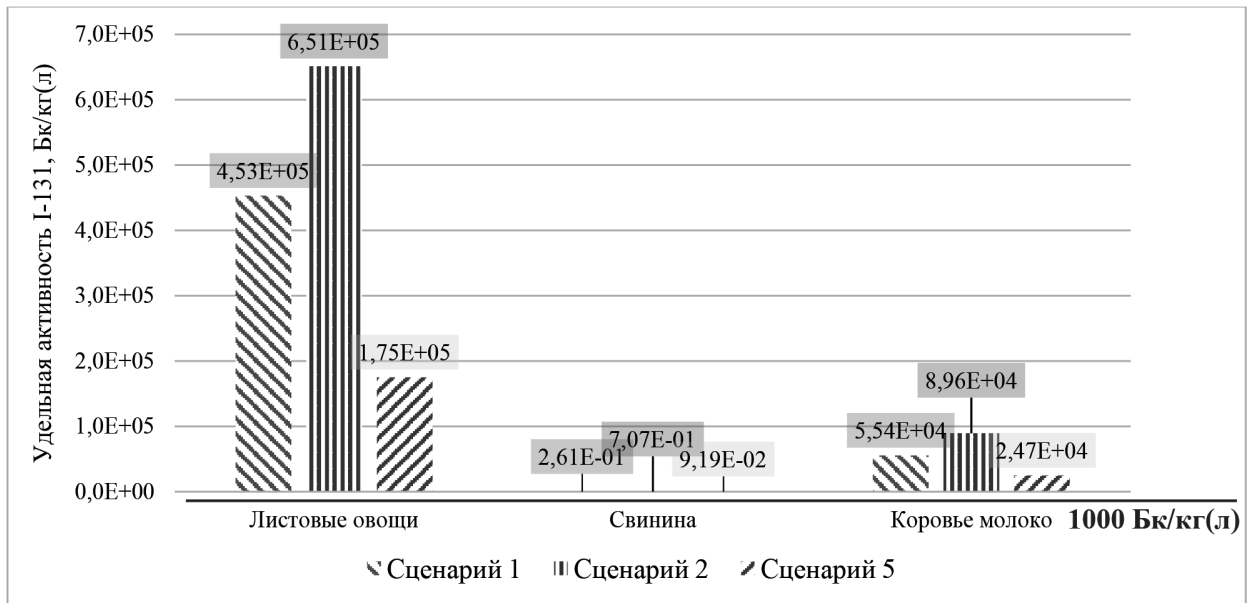


Рисунок 4.— Загрязнения продуктов питания I-131 при аварии на Белорусской АЭС на расстоянии 3 км от площадки

Уровни содержания ^{137}Cs в молоке превысят нормативы согласно РДУ-99 (норматив 100 Бк/л) более чем в 20 раз. В мясе (свинина) и картофеле превышение нормативов содержания ^{137}Cs не прогнозируется (нормативы содержания ^{137}Cs составляют 180 и 80 Бк/кг соответственно).

В случае аварии на Ровенской АЭС результаты оценки удельной активности основных дозобразующих радионуклидов ^{131}I и ^{137}Cs в продуктах питания [10, 11] на территории Республики Беларусь (65 км от Ровенской АЭС) на раннем этапе аварии приведены на рисунках 6 и 7. Красной линией на рисунках обозначен ДУВ7.

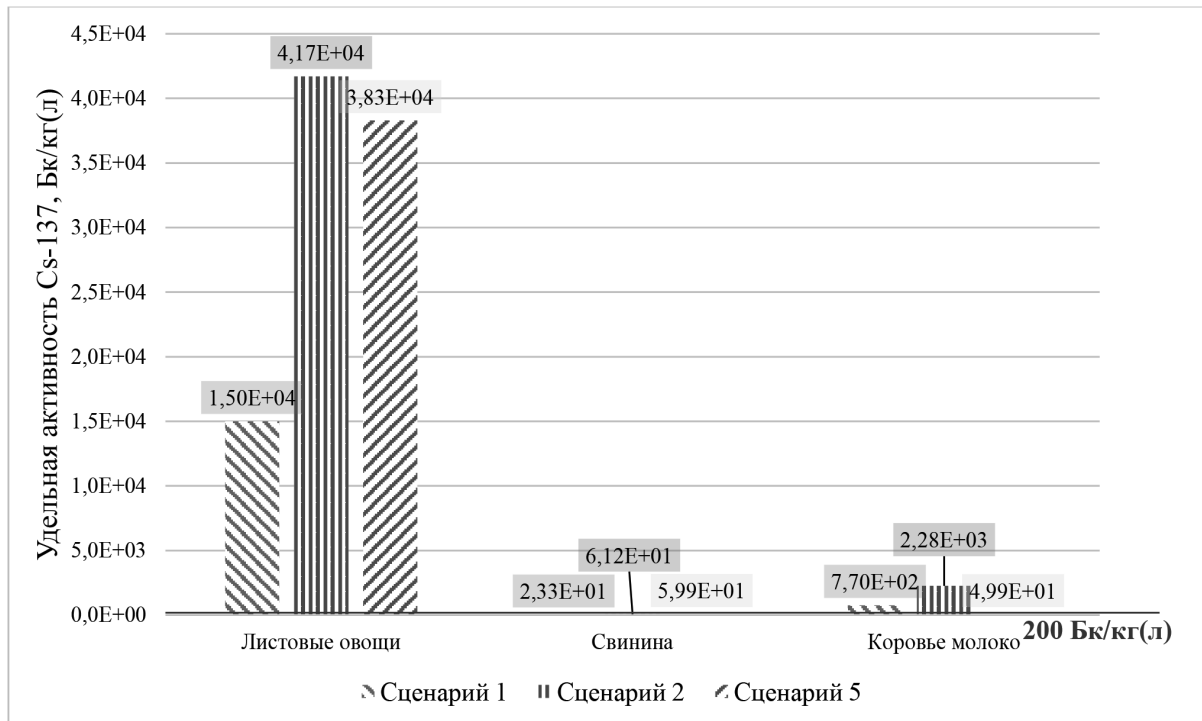


Рисунок 5.— Загрязнения продуктов питания Cs-137 при аварии на Белорусской АЭС на расстоянии 3 км от площадки

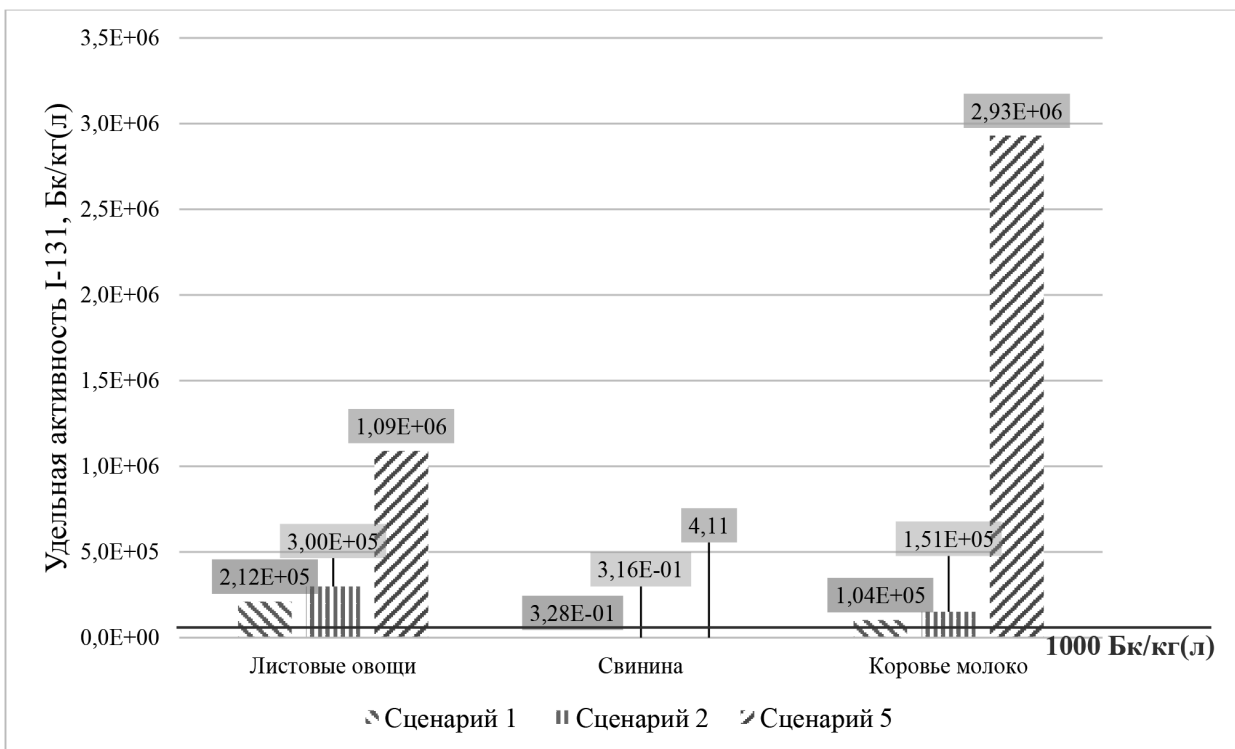


Рисунок 6. — Загрязнения продуктов питания I-131 при аварии на Ровенской АЭС на границе с Республикой Беларусь (на расстоянии 65 км от площадки)

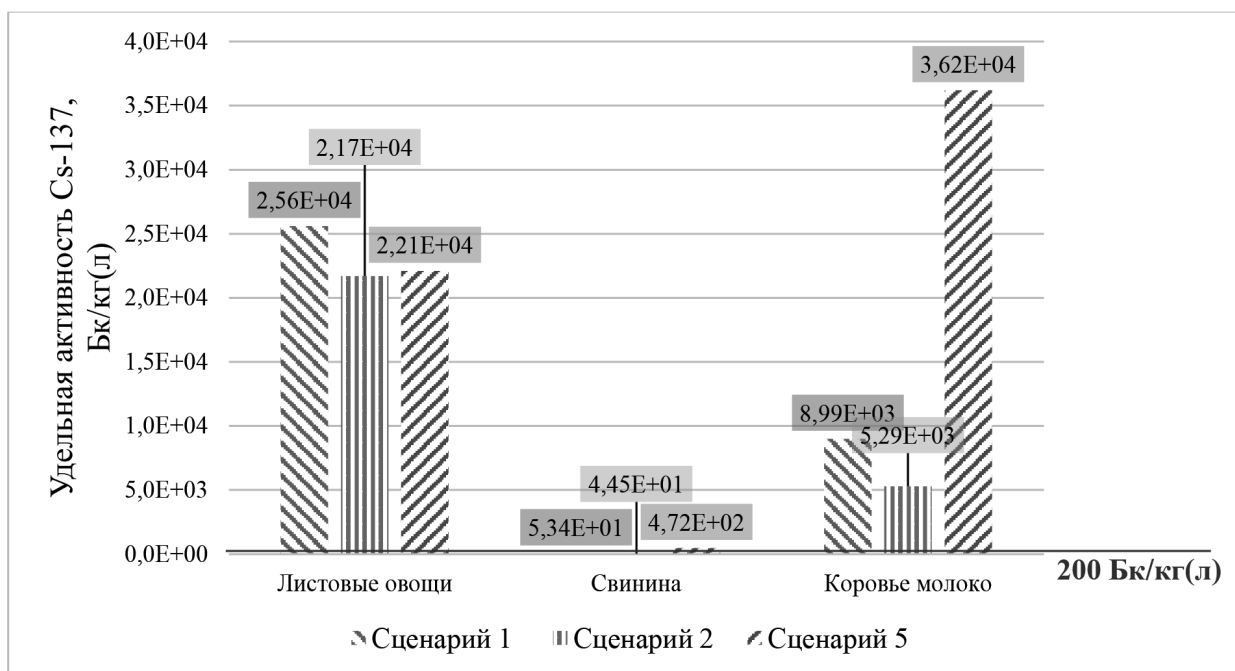


Рисунок 7. — Загрязнения продуктов питания Cs-137 при аварии на Ровенской АЭС на границе с Республикой Беларусь (на расстоянии 65 км от площадки)

Максимальные уровни содержания ^{131}I на раннем этапе аварии будут наблюдаться в листовых овощах: удельная активность ^{131}I в приграничных населенных пунктах (далее — НП) Республики Беларусь составит 12–13 кБк/кг за первые сутки, а в коровьем молоке — порядка 2 кБк/л. В РРП уровни содержания ^{131}I в листовых овощах будут находиться в диапазоне от 1,37 до 8,69 кБк/кг, в молоке — от 0,2 до 1,46 кБк/л.

ДУВ7 по ^{131}I будет превышен в радиусе 100 км от Ровенской АЭС, что потребует запрета на потребление местных продуктов питания на приграничной территории Беларуси и проведения их мониторинга в РПП [2, 9].

Максимальные уровни содержания ^{137}Cs на раннем этапе аварии в приграничных НП Республики Беларусь будут отмечаться также в листовых овощах — до 521 Бк/кг (сценарий 2). В коровьем молоке максимальная удельная активность ^{137}Cs составит до 80 Бк/л (сценарий 2), в мясе (свинина) — до 146 Бк/кг (сценарий 2), в картофеле до 1 Бк/кг. ДУВ7 для ^{137}Cs превышен не будет ни для одного из рассматриваемых пищевых продуктов.

Однако уровни содержания ^{137}Cs в молоке превысят нормативы согласно РДУ-99 в 6 раз (норматив 100 Бк/л). В мясе (свинина) и картофеле превышение нормативов содержания ^{137}Cs не прогнозируется (нормативы содержания ^{137}Cs составляют 180 и 80 Бк/кг соответственно).

В случае аварии на Смоленской АЭС результаты оценки удельной активности основных дозобразующих радионуклидов ^{131}I и ^{137}Cs в продуктах питания [10, 11] на территории Республики Беларусь на расстоянии 80 км от АЭС на раннем этапе аварии приведены на рисунках 8 и 9. Красной линией на рисунках обозначен ДУВ7.

Максимальные уровни содержания ^{131}I на раннем этапе аварии будут отмечаться в листовых овощах: удельная активность ^{131}I за первые сутки в приграничных НП Республики Беларусь составит 1 009 кБк/кг, а в коровьем молоке — 2 930 кБк/л (сценарий 5). В РПП уровни содержания ^{131}I будут незначительно меньше, в листовых овощах — 977 кБк/кг, в молоке — 2 570 кБк/л.

Максимальные уровни содержания ^{137}Cs на раннем этапе аварии в приграничных НП Республики Беларусь будут наблюдаться также в листовых овощах — до 22 кБк/кг (сценарии 2 и 5). В коровьем молоке максимальная удельная активность ^{137}Cs составит до 36 кБк/л (сценарий 5), в мясе (свинина) — до 472 Бк/кг (сценарий 5).

Значение ДУВ7, согласно расчетам, будет превышено в 1 000–3 000 раз для ^{131}I и в 100 раз для ^{137}Cs в отдельных продуктах питания. Таким образом, при тяжелой ЗА на Смоленской АЭС порядка чернобыльской потребуются введение таких мер, как:

- запрет на потребление местных продуктов питания на приграничной территории Республики Беларусь в радиусе до 100 км от станции;
- мониторинг продуктов питания и питьевой воды в радиусе до 300 км от станции.

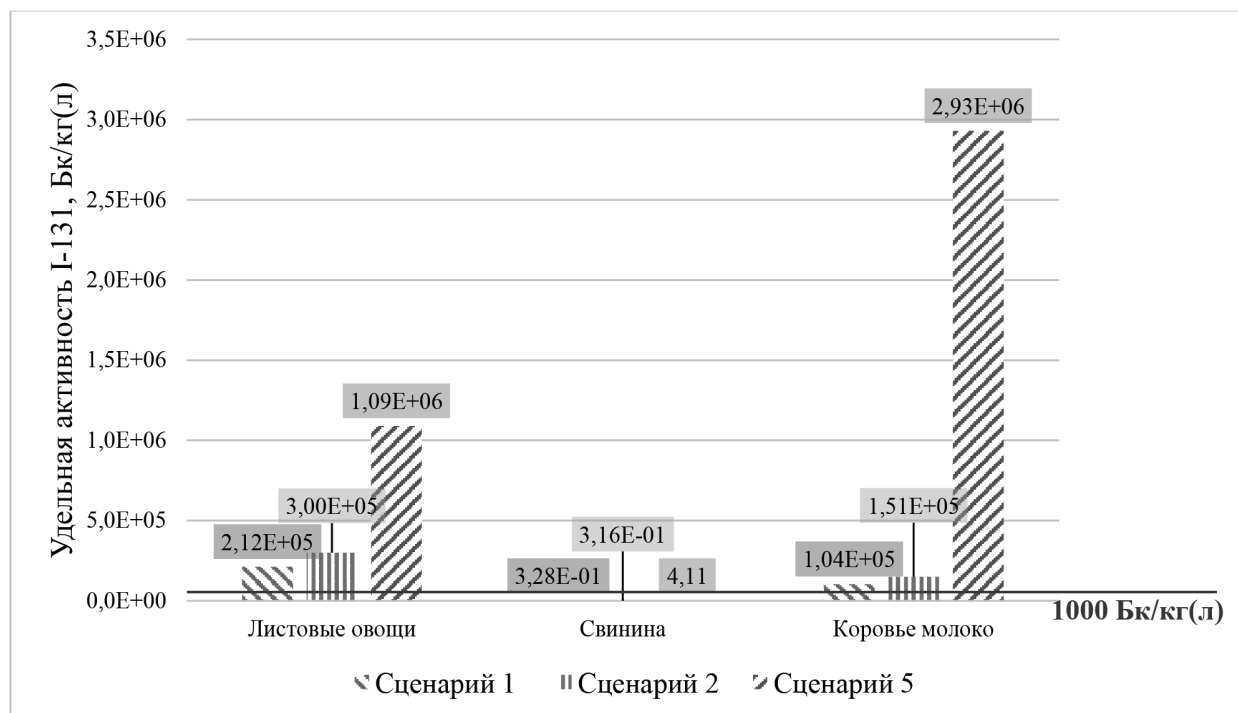


Рисунок 8.— Загрязнения продуктов питания I-131 при аварии на Смоленской АЭС на границе с Республикой Беларусь (на расстоянии 80 км от площадки)

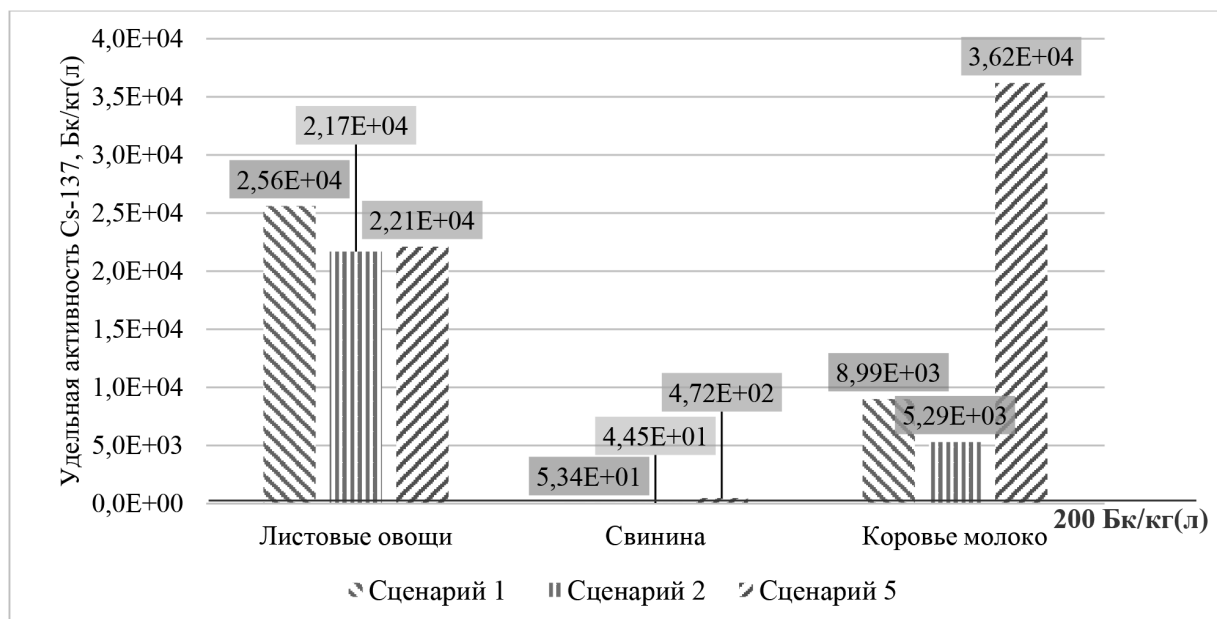


Рисунок 9.— Загрязнения продуктов питания Cs-137 при аварии на Смоленской АЭС на границе с Республикой Беларусь (на расстоянии 80 км от площадки)

Заключение. По результатам проведенной прогнозной оценки загрязнения пищевых продуктов вследствие тяжелых запроектных радиационных аварий на Белорусской, Ровенской и Смоленской АЭС установлено, что при тяжелой аварии на любой из вышеперечисленных АЭС необходимо обязательное проведение аварийного радиационного мониторинга продуктов питания и питьевой воды в радиусе 100 км от АЭС с возможностью расширения зоны мониторинга на расстояние до 300 км от площадки АЭС.

Отбор проб питьевой воды, поверхностной воды, используемой в хозяйственно-питьевых целях, и пищевых продуктов должен проводиться только после окончания аварийного выброса. Приоритетными НП для отбора проб воды и пищевых продуктов являются те НП, где зафиксированы наибольшие уровни мощности дозы гамма-излучения.

Исходя из перечня радиационно-значимых радионуклидов, поступающих в окружающую среду в результате развития аварии, их качественных и количественных характеристик и на основании результатов моделирования аварий на АЭС установлены радионуклиды и показатели, определение которых обязательно при проведении АРМ: суммарная β -активность, суммарная α -активность (в питьевой воде), ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr (в питьевой воде и продуктах питания) [1, 8, 9].

Расширенный перечень определяемых радионуклидов и показателей при проведении аварийного радиационного мониторинга пищевых продуктов и питьевой воды должен включать следующие: суммарная β -активность, суммарная α -активность, ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{65}Zn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{94}Nb , ^{95}Nb , ^{51}Cr , ^{95}Zr , ^{131}I [11]. Для Белорусской и Ровенской АЭС в отдельных пробах питьевой воды необходимо будет провести измерения ^3H .

Основными продуктами питания местного производства, для которых необходимо проведение аварийного радиационного мониторинга на ранней стадии аварии, являются: молоко от животных, находившихся в свободном выпасе во время и после аварийного выброса, листовые овощи и другие растения, выращиваемые и наиболее употребляемые местным населением и имеющие съедобные части, растущие над поверхностью земли.

На ранней и средней фазах радиационной аварии не рекомендуется забой скота, и при возможности скот должен быть укрыт и переведен на чистые корма. В отношении домашнего скота и использования мясной продукции необходимо руководствоваться рекомендациями Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Литература

1. Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On / Nuclear Energy Agency. Organisation for Economic Co-operation and Development.— Paris: NEA OECD, 2002.— 39 p.

2. План защитных мероприятий при радиационной аварии на Белорусской атомной электростанции (внешний аварийный план) [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 22 марта 2018 г. № 211. — Режим доступа: <https://energodoc.by/document/view?id=3245>. — Дата доступа: 01.06.2020.

3. Хмельницкая АЭС. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), т. 13, часть 14. Оценка последствий трансграничного переноса при нормальной эксплуатации и аварийных режимах [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://minpriroda.gov.by/uploads/files/000640_804678_aes_coru.pdf. — Дата доступа: 02.11.2021.

4. История атомной энергетики Советского Союза и России. — Вып. 4: Уроки аварии на Чернобыльской АЭС [Электронный ресурс]. — М.: ИздАТ, 2002. — Режим доступа: http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v4_2002/go,72. — Дата доступа: 02.11.2021.

5. JRodos User Guide [Electronic resource] / I. Ievdin [et al.]. — Mode of access: https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodos_UserGuide.pdf. — Date of access: 29.10.2021.

6. Müller, H. Model Description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV6.0. RODOS(RA3)-TN(03)06 / Institute of Radiation Protection (GSF); H. Müller, F. Gering, G. Pröhl. — Neuherberg, 2003. — 55 p.

7. Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency. IAEA-TECDOC-1162 / International Atomic Energy Agency. — Vienna: IAEA, 2002. — 186 p.

8. Требования к радиационной безопасности: санитар. нормы и правила: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена: сб. норм. док. — Минск: РЦГЭиОЗ, 2013. — С. 6–34.

9. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиен. норматив: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена: сб. норм. док. — Минск: РЦГЭиОЗ, 2013. — С. 35–167.

10. Пристер, Б. С. Проблемы сельскохозяйственной радиозоологии и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления: монография / Б. С. Пристер; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. — Чернобыль: Ин — т проблем безопасности АЭС, 2008. — 320 с.

11. Reconstruction of the Ingestion Doses Received by the Population Evacuated from the Settlements in the 30-km Zone around the Chernobyl Reactor / G. Pröhl [et al.] // Health Physics. — 2002. — Vol. 82, iss. 2. — P. 173–181.

Kliaus V. V., Nikalayenka A. U., Kacharhina N. S.

PREDICTED CONTAMINATION LEVELS OF FOOD IN CASE OF SEVERE RADIATION ACCIDENT AT THE NPP

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

This article presents the results of assessment of contamination levels (^{131}I and ^{137}Cs) in foodstuff in case of a severe beyond design basis accident at the Belarusian NPP and NPPs of neighboring countries (Rivne and Smolensk NPPs), as well as the results of internal exposure dose assessment of the population from consumption of contaminated food products and recommendations for emergency radiation monitoring of foodstuff in case of radiation accident at the NPP.

Keywords: radionuclide, Belarusian NPP, severe nuclear accident, specific activity, volumetric activity, food products, public exposure doses.

References

1. Nuclear Energy Agency. Organisation for Economic Co-operation and Development. Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On. Paris: NEA OECD; 2002.

2. Plan of protective measures in case of radiation accident at the Belarusian NPP (The external emergency plan) approved by the Resolution of the Government of the Republic of Belarus in March 22, 2018 No 211. Minsk; 2018. Available at: <https://energodoc.by/document/view?id=3245> (accessed 05 November 2021). (in Russian)

3. Khmelnytsky NPP. Environmental Impact Assessment (EIA), v. 13, part 14. Assessment of the consequences of transboundary transport during normal operation and emergency modes. Kiev: JSC «Kiev Research and Design Institute «Energoproekt»; 2011. Available at: http://minpriroda.gov.by/uploads/files/000640_804678_aes_copy.pdf/ (accessed 05 November 2021). (in Russian)

4. History of the atomic energy of the Soviet Union and Russia. Iss. 4: Lessons from the Chernobyl accident. Moscow: Izdat, 2002: 72 p. Available at: http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v4_2002/go,72 (accessed 05 November 2021). (in Russian)

5. Ievdin I., Trybushnyi D., Staudt C. et al. JRodos User Guide; 2018. Available at: https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodos_UserGuide.pdf (accessed 05 November 2021).

6. Müller H., Gering F., Pröhl G. Model Description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV6.0. RODOS(RA3)-TN(03)06. Neuherberg: Institute of Radiation Protection (GSF); 2003.

7. IAEA. Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency: IAEA-TECDOC-1162. Vienna; 2002.

8. Requirements for radiation safety: sanitary rules and regulations: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on December 28, 2012 No 213 In: *Radiation hygiene*: collection of normative documents. Minsk; 2013: 6–34. (in Russian)

9. Evaluation Criteria for Radiation Exposure: hygienic standard: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on December 28, 2012 No 213 In: *Radiation hygiene*: collection of normative documents. Minsk; 2013: 35–167. (in Russian)

10. Prister B. S. Problems of agricultural radioecology and radiobiology at environmental pollution with a young mixture of nuclear fission products: monograph. Chernobyl: National academy of sciences of Ukraine Institute for safety problems of Nuclear Power Plants; 2008.

11. Pröhl G., Mück K., Likhtarev I. et al. Reconstruction of the Ingestion Doses Received by the Population Evacuated from the Settlements in the 30-km Zone around the Chernobyl Reactor. *Health Physics*. 2002; 82(2): 173–81.

e-mail для переписки: zav_radsafety@rspch.by

Поступила 22.11.2021

УДК 614.876+614.84+614.73

Кляус В. В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ БЕЛОРУССКОЙ АЭС В РАМКАХ ПОДХОДА МАГАТЭ К ЭТАПАМ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящей статье приведены результаты оценки возможного радиологического воздействия Белорусской АЭС (далее — БелАЭС) на население Республики Беларусь и сопредельных государств, полученные на различных этапах развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики в соответствии с процедурой, рекомендованной МАГАТЭ. Оценка радиологического воздействия БелАЭС на население проводилась на доэксплуатационном этапе и включала в себя оценку прогнозируемых доз облучения населения от рутинных выбросов и сбросов АЭС, оценку доз облучения населения от возможных аварийных выбросов АЭС, в том числе в трансграничном контексте.

Ключевые слова: Белорусская АЭС, радиологическое воздействие, население, доза облучения, нормальная эксплуатация, радиационная авария, радиационный мониторинг.

Введение. Для стран, впервые развивающих ядерную энергетику, к которым относится и Республика Беларусь, Международным агентством по атомной энергии (далее — МАГАТЭ) разработан поэтапный подход к развитию национальной инфраструктуры ядерной энергетики [1]. Данный подход включает в себя развитие инфраструктуры по 19 компонентам, в числе которых и «охрана

окружающей среды». Под «охраной окружающей среды» в инфраструктурном подходе МАГАТЭ понимается развитие законодательной и нормативной базы, проведение процедуры оценки воздействия на окружающую среду (далее — ОВОС), включая оценку радиологического воздействия на окружающую среду и население, на различных этапах жизненного цикла АЭС (рисунок 1), в том числе в трансграничном контексте, а также проведение мониторинга фоновых уровней содержания радионуклидов в различных средах вблизи площадки размещения АЭС. Процедура оценки воздействия строительства и эксплуатации ядерных объектов для новых ядерных энергетических программ описана в документе МАГАТЭ [2], а процедура проведения оценки радиологического воздействия на население и окружающую среду — в стандартах безопасности МАГАТЭ [3, 4]. Развитие национальной инфраструктуры ядерной энергетики до пуска АЭС в эксплуатацию, по оценкам МАГАТЭ, занимает от 10 до 15 лет, и опыт Республики Беларусь в части реализации компонента «охрана окружающей среды» для Белорусской АЭС в целом подтверждает данные оценки.

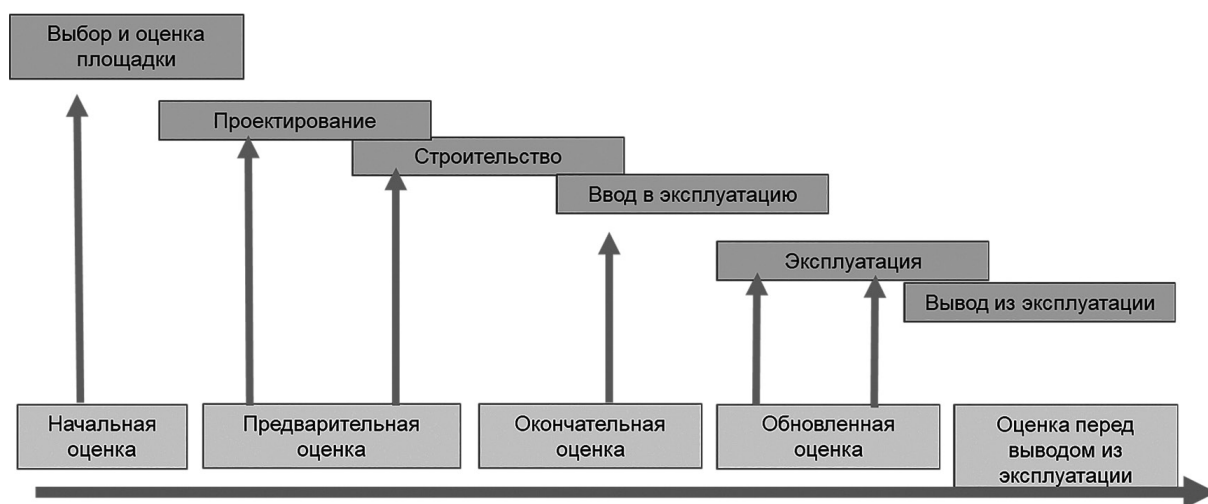


Рисунок 1.— Подход МАГАТЭ к оценке радиологического воздействия на разных стадиях жизненного цикла АЭС

В Законе Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» воздействие на окружающую среду определено как «любое прямое или косвенное воздействие на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к изменению окружающей среды», а Законом Республики Беларусь от 18 июля 2016 г. № 399-З «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду» определены требования к проведению процедуры оценки, а также объекты, для которых выполняется данная процедура, в том числе и АЭС.

Цель работы — провести анализ мероприятий, выполненных в рамках реализации подхода МАГАТЭ к развитию национальной инфраструктуры ядерной энергетики в части обеспечения радиационной безопасности населения на доэксплуатационном этапе БелАЭС, а также оценку возможного радиологического воздействия БелАЭС при нормальной эксплуатации и возможных авариях на население Республики Беларусь и сопредельных государств.

Материалы и методы. Оценка радиологического воздействия БелАЭС выполнялась в соответствии с национальным законодательством в области охраны окружающей среды и радиационной безопасности, а также с учетом того, что Республикой Беларусь ратифицирован ряд международных конвенций, среди которых: Конвенция о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусская конвенция, утверждена Указом Президента Республики Беларусь № 726 от 14 декабря 1999 г.), и Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (Конвенция Эспоо, принята Указом Президента Республики Беларусь № 487 от 20 октября 2005 г.).

Нормативными документами Республики Беларусь не установлены показатели негативного воздействия радиационного загрязнения окружающей среды радионуклидами на экологические системы, природные и природно-антропогенные объекты, поэтому при выполнении оценки радиологического воздействия определяющим является обеспечение сохранения благоприятных условий жизнедеятельности человека.

В период с 2009 по 2021 г. в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [3, 4] выполнение оценки радиологического воздействия БелАЭС проводилось для режима нормальной эксплуатации и для возможных аварийных ситуаций (проектные и запроектные аварии):

2009 г. — начальная оценка доз облучения населения при нормальной эксплуатации БелАЭС и при возможных авариях по данным станций-аналогов, оценка трансграничного воздействия (выбор площадки);

2012 г. — предварительная оценка доз облучения населения при нормальной эксплуатации БелАЭС для определения границ санитарно-защитной зоны и обоснования нормативов предельно допустимых выбросов радионуклидов (проектирование);

2016 г. — предварительная оценка доз облучения населения при авариях для обоснования аварийных зон (строительство);

2019 г. — предварительная оценка доз облучения населения при нормальной эксплуатации БелАЭС для обоснования нормативов предельно допустимых сбросов радионуклидов (строительство);

2020 г. — окончательная оценка доз облучения населения при авариях (эксплуатация);

2021 г. — окончательная оценка доз облучения населения при нормальной эксплуатации БелАЭС для уточнения нормативов предельно допустимых выбросов радионуклидов (эксплуатация).

Для оценки радиологического воздействия БелАЭС при нормальной эксплуатации выполнялась оценка эффективных годовых доз облучения различных возрастных групп населения от радиоактивных выбросов и сбросов АЭС и сравнение их с действующими значениями граничных доз от проектного уровня газоаэрозольных выбросов из венттрубы энергоблока (таблица 1) и проектных сбросов радионуклидов в р. Виля (таблица 2) в соответствии с Предварительным отчетом по обоснованию безопасности БелАЭС (далее — ПООБ).

Таблица 1. — Годовой проектный выброс радиоактивных газов и аэрозолей с БелАЭС при работе одного блока в номинальном режиме, Бк/год × блок

Радионуклид	Проектный выброс из венттрубы	Радионуклид	Суммарный выброс из венттрубы	Радионуклид	Проектный выброс из венттрубы
³ H	4,00E+12	^{131m} Xe	2,00E+11	⁵¹ Cr	8,50E+04
¹⁴ C	3,00E+11	¹³³ Xe	2,80E+13	⁵⁴ Mn	5,30E+03
^{85m} Kr	6,00E+11	¹³⁵ Xe	6,70E+12	⁶⁰ Co	3,40E+04
^{85m} Kr	2,20E+12	¹³⁸ Xe	1,90E+11	⁸⁹ Sr	3,50E+05
⁸⁵ Kr	3,10E+11	¹³¹ I	8,30E+07	⁹⁰ Sr	6,50E+02
⁸⁷ Kr	1,20E+12	¹³² I	1,10E+08	¹³⁴ Cs	2,20E+07
⁸⁸ Kr	4,80E+12	¹³³ I	1,50E+08	¹³⁷ Cs	3,30E+07
¹³⁵ I	1,20E+08	¹³⁴ I	7,20E+07	Сумма	4,30E+13

Таблица 2. — Годовой проектный сброс радионуклидов в р. Виля с БелАЭС при работе одного блока в номинальном режиме, Бк/год × блок

Радионуклид	Проектный сброс	Радионуклид	Проектный сброс
³ H	1,10E+13	¹³¹ I	9,56E+06
⁵¹ Cr	2,86E+06	¹³² I	4,43E+03
⁵⁴ Mn	2,72E+05	¹³³ I	3,20E+04
⁵⁹ Fe	1,067E+06	¹³⁴ I	1,10E+03
⁵⁸ Co	4,05E+06	¹³⁵ I	8,80E+3
⁶⁰ Co	1,99E+06	¹³⁴ Cs	1,30E+08
⁸⁹ Sr	1,353E+07	¹³⁷ Cs	2,04E+08
⁹⁰ Sr	3,830E+04	¹⁴¹ Ce	1,70E+05
⁹⁵ Zr	3,073E+06	⁹⁵ Nb	1,47E+06

Моделирование атмосферного переноса радионуклидов и расчет доз облучения населения от выбросов радиоактивных газов и аэрозолей выполнялись с помощью лицензионного программного пакета Consequences of Releases to the Environment: Assessment Methodology (далее — PC CREAM-08). Метеорологические условия выбраны на основании анализа многолетних данных метеонаблюдений, предоставленных ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» для метеостанции (далее — МС) Лынтупы. Моделирование переноса радионуклидов в р. Вилия и расчет доз облучения населения от радиоактивных сбросов Белорусской АЭС выполнялись с использованием Методики разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей Ростехнадзора [5].

При оценке доз облучения при нормальной эксплуатации БелАЭС учитывались следующие основные пути облучения населения:

при внутреннем облучении — ингаляция радионуклидов из атмосферного воздуха (газов, паров, аэрозолей); ингаляция ресуспендированного материала; потребление растительной продукции (овощи, фрукты, злаки), произрастающей в районе размещения АЭС, и животноводческой продукции местного производства (мясо, молоко, яйца); потребление питьевой воды; потребление продуктов из пресноводных водоемов (пресноводная рыба); случайное заглатывание частиц почвы или донных отложений.

при внешнем облучении — внешнее облучение от радионуклидов, осажденных на поверхности земли и других типах подстилающей поверхности; внешнее облучение от радионуклидов в воде и донных отложениях (от рекреационной активности на берегу, плавания, рыбалки); внешнее облучение от радионуклидов в атмосферном воздухе (облучение от облака).

Дозы облучения оценивались с использованием концепции критической группы, а впоследствии — репрезентативного лица МКРЗ. Для определения параметров репрезентативного лица использованы данные об образе жизни, особенностях ведения личного подсобного хозяйства, потребления продуктов питания среди взрослого населения Островецкого района. Уровни потребления питьевой воды, интенсивность ингаляции, а также дозовые коэффициенты для различных возрастных групп использованы в соответствии с [6].

При проведении оценки радиационного воздействия БелАЭС при авариях рассматривались запроектные аварии (далее — ЗА) уровней 5–7 по шкале ИНЕС. Согласно ПООБ БелАЭС для тяжелых ЗА на БелАЭС с вероятностью выброса на уровне 10^{-7} 1/год предложен предельный аварийный выброс (далее — ПАВ) для радиационно-значимых радионуклидов для ранней фазы аварии, связанной с утечками продуктов деления через неплотности двойной защитной оболочки и байпасом контайнмента (приземный выброс): ^{135}Xe — 104 ТБк; ^{131}I — 50 ТБк; ^{137}Cs — 5 ТБк. Суммарный выброс радионуклидов в окружающую среду при тяжелой аварии в зависимости от высоты выброса и фазы аварии ожидается на уровне от 93,5 до 20 000 ТБк.

Рассмотрены ЗА, для которых аварийный выброс:

1) не превышает ПАВ — РЗА с выбросом радионуклидов, предложенным в ПООБ Белорусской АЭС [5], и ТЗА с уменьшенным выбросом;

2) превышает ПАВ по ^{137}Cs — РЗА с выбросом радионуклидов, смоделированным с помощью программного пакета The International Radiological Assessment System Version 1.3 (далее — InterRas) на основании данных о состоянии станции и динамике протекания аварии согласно ВАБ БелАЭС;

3) превышает ПАВ по ^{137}Cs и ^{131}I — ЗА с начальными условиями на основании данных о состоянии станции и динамике протекания аварии согласно ОВОС БелАЭС и ТЗА с неуменьшенным выбросом.

Сравнительная характеристика аварийных выбросов для рассмотренных сценариев ЗА приведена в таблице 3.

Таблица 3. — Уровни аварийных выбросов радионуклидов, рассмотренные в рамках оценки радиологического воздействия на население запроектных аварий на БелАЭС, Бк

Радионуклид	ПАВ	ЗА	РЗА	РЗА с заданным выбросом	ТЗА с уменьшенным выбросом	ТЗА с уменьшенным выбросом
^{135}Xe	10E+17	3,2E+15	3,6E+15	1,8E+15	2,6E+15	2,6E+15
^{131}I	5E+13	4,4E+14	3,6E+13	2,25E+13	3,5E+14	1,4E+11
^{137}Cs	5E+12	1,8E+13	6,9E+12	1,6E+12	1,4E+13	5,7E+09
Суммарный	2E+16	1,6E+16	2,45E+15	2,38E+15	1,3E+16	8,9E+15

Для оценки последствий аварийных ситуаций с помощью программных пакетов InterRas и Java-based Realtime Online Decision Support System (далее — JRODOS) оценивались следующие дозы облучения, формируемые в течение раннего этапа аварии:

— для области детерминированных эффектов — доза облучения красного костного мозга за 10 часов;

— для области стохастических эффектов — общая эффективная доза (состоит из эффективной дозы внутреннего облучения от ингаляции и перорального поступления радионуклидов и эффективной дозы внешнего облучения от проходящего радиоактивного облака и от выпадений на подстилающую поверхность) и доза облучения щитовидной железы за первые 7 дней.

Полученные результаты расчетов сравнивались с установленными в [7] граничными дозами (при нормальной эксплуатации) и с установленными в [6, 8] критериями аварийного реагирования (в случае аварии).

Результаты и их обсуждение. Несмотря на то что инфраструктурный подход МАГАТЭ предполагает развитие по направлению «охрана окружающей среды», выполненный анализ международных документов в области оценки радиологического воздействия на окружающую среду показал, что практическая реализация данного направления в большинстве стран мира осуществляется путем усовершенствования нормативно-правовой базы в области радиационной безопасности, проведения радиационного мониторинга нулевого фона вокруг ядерной установки и путем проведения оценки радиологического воздействия на население.

В рамках реализации подхода МАГАТЭ к этапам развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики за период с 2010 по 2020 г. в Республике Беларусь с учетом международных рекомендаций разработан и утвержден ряд законодательных и нормативных документов в области обеспечения радиационной безопасности населения, которые устанавливают основные ситуации облучения (планируемое, аварийное, существующее), критерии радиационной безопасности (основные пределы доз облучения, граничные дозы и референтные уровни), а также иные нормативы, позволяющие оценить радиационное воздействие на население в различных ситуациях облучения.

Радиационный мониторинг доэксплуатационных уровней содержания природных и техногенных радионуклидов в пищевых продуктах, питьевой воде, а также анализ демографической обстановки и заболеваемости населения в районе размещения БелАЭС выполнен ГП «НПЦГ» в период с 2015 по 2020 г.

Результаты оценки годовой эффективной дозы облучения населения Беларуси от одного энергоблока БелАЭС в режиме нормальной эксплуатации с выбросом радионуклидов в венттрубу на уровне проектного (таблица 1) представлены в таблице 4.

Таблица 4. — Прогнозируемые значения годовой эффективной дозы облучения взрослого населения на расстоянии 2 км от БелАЭС, рассчитанные с помощью PC CREAM-08, Зв/год

Радионуклид	Внешнее облучение		Внутреннее облучение		Суммарная доза	Вклад радионуклида в дозу, %
	от факела выброса	от поверхности	от ингаляции	от потребления продуктов питания		
³ H	0,00E+00	0,00E+00	6,61E-10	1,65E-09	2,31E-09	2,8
¹⁴ C	1,83E-14	0,00E+00	3,76E-09	6,63E-08	7,00E-08	84,8
⁸⁸ Kr	6,08E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,08E-09	7,4
¹³⁵ Xe	1,23E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,23E-09	1,5
¹³¹ I	1,81E-14	4,39E-12	3,36E-12	5,57E-10	5,65E-10	0,7
¹³⁴ Cs	2,03E-14	1,93E-12	8,29E-13	2,76E-10	2,78E-10	0,3
¹³⁷ Cs	5,54E-17	1,81E-12	8,75E-13	3,00E-10	3,03E-10	0,4
⁶⁰ Co	5,02E-17	4,72E-15	1,95E-15	4,41E-15	1,11E-14	< 0,1
Сумма	7,31E-09	8,14E-12	4,43E-09	6,90E-08	8,08E-08	97,8

Прогнозируемое значение годовой эффективной дозы облучения населения на расстоянии 2 км от площадки от радиационно-значимых радионуклидов (вклад в дозу которых составляет до 98 %) от одного блока будет порядка 0,08 мкЗв/год. К радиационно-значимым радионуклидам, участву-

юшим в формировании эффективной дозы облучения (вклад 98 %), относятся: ^{14}C (84,8 %), ^3H (2,8 %), ^{135}Xe (1,5 %), ^{131}I (0,7 %), ^{137}Cs (0,4 %), ^{134}Cs (0,3 %). Максимальное значение годовой эффективной дозы облучения населения от двух энергоблоков не превысит 0,2 мкЗв/год, что в 250 раз ниже установленной величины граничной дозы облучения от выбросов радиоактивных веществ в атмосферу АЭС — 50 мкЗв/год [7]. Основным путем облучения будет внутреннее облучение от ингаляции радионуклидов и перорального поступления радионуклидов, суммарный вклад в дозу которых составит до 90 %.

Результаты оценки радиологического воздействия на население Беларуси радиоактивных сбросов БелАЭС в р. Виляя показали, что максимальное значение годовой эффективной дозы облучения от двух энергоблоков составит порядка 20 мкЗв/год, что в 2,5 раза ниже установленной граничной дозы облучения от жидких сбросов радиоактивных веществ 50 мкЗв/год [7]. Основными дозообразующими радионуклидами, которые вносят вклад более 99 % в годовую эффективную дозу облучения населения, будут являться: ^{137}Cs (42 %), ^{134}Cs (39,7 %), ^3H (17,8 %), ^{60}Co (0,1 %), ^{131}I (0,2 %). Доминирующим путем облучения, вклад в дозу которого составляет более 90 %, будет внутреннее облучение за счет потребления рыбы [9].

На основании полученных результатов прогнозирования годовой эффективной дозы облучения населения от выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации вокруг БелАЭС установлен радиус санитарно-защитной зоны, равный 1 км (с учетом точки на местности, где реализуется максимальное значение дозы облучения).

Сравнительный анализ результатов оценки ожидаемых доз облучения населения при реперной ЗА на БелАЭС с общим выбросом радионуклидов порядка 10^{15} Бк, полученных с использованием различных программных кодов, приведен в таблице 5.

Таблица 5.— Результаты оценки ожидаемых доз облучения населения при реперной ЗА на БелАЭС

Доза облучения	Расстояние от площадки	Расчетное значение дозы облучения, Зв(Гр)	
		InterRas	JRODOS
Красный костный мозг ¹⁾	3–5 км	6×10^{-6} – $5,8 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$ – $1,91 \times 10^{-4}$
	15–20 км	5×10^{-6} – $1,3 \times 10^{-5}$	$1,24 \times 10^{-6}$ – $1,53 \times 10^{-5}$
	50–100 км	н. д. ²⁾	$3,21 \times 10^{-10}$ – $6,13 \times 10^{-7}$
Щитовидная железа ³⁾	3–5 км	29×10^{-2} (взрослые)	$93,8 \times 10^{-2}$ (дети) $42,6 \times 10^{-2}$ (взрослые)
	15–20 км	$1,2 \times 10^{-2}$ (взрослые)	$4,31 \times 10^{-2}$ (дети) $1,96 \times 10^{-2}$ (взрослые)
	50–100 км	$0,33 \times 10^{-2}$ (взрослые)	$3,09 \times 10^{-2}$ – $1,94 \times 10^{-1}$ (взрослые) $6,80 \times 10^{-2}$ – $4,27 \times 10^{-1}$ (дети)
Общая эффективная доза ⁴⁾	3–5 км	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,67 \times 10^{-2}$
	15–20 км	$7,1 \times 10^{-4}$	11×10^{-4}
	50–100 км	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,44 \times 10^{-6}$ – $11,9 \times 10^{-6}$
¹⁾ значение средней ОБЭ — взвешенной поглощенной дозы облучения за 10 часов; ²⁾ нет данных; ³⁾ значение эквивалентной дозы облучения за 7 дней; ⁴⁾ значение общей эффективной дозы за 7 дней.			

При тяжелой ЗА на БелАЭС с общим выбросом радионуклидов порядка 10^{16} Бк максимальное значение ожидаемой общей эффективной дозы облучения населения может составить до 140 мЗв на расстоянии 1 км от АЭС, а максимальное значение дозы облучения щитовидной железы — до 630 мГр, что превысит установленные критерии (100 мЗв и 50 мЗв за первые 7 дней соответственно) [6, 8].

Для населения сопредельных государств при реперной ЗА на БелАЭС максимальные значения общей эффективной дозы и дозы облучения щитовидной железы будут наблюдаться на расстоянии 20–25 км от АЭС и составят 2,7 мкЗв и 28,2 мГр соответственно, а на расстоянии 50 км от АЭС (г. Вильнюс) — 0,82 мЗв и 11 мГр соответственно. Результаты оценки годовых доз облучения населения сопредельных и других государств представлены в [10].

По результатам прогнозирования аварий на БелАЭС различной степени тяжести установлено, что основными защитными мероприятиями при авариях на БелАЭС будут являться блокирование щитовидной железы и укрытие населения в зданиях и сооружениях (в радиусе 15–25 км от БелАЭС) и ограничение потребления и/или введение полного запрета на потребление загрязненных местных пищевых продуктов на основании данных радиационного контроля (в радиусе 100–300 км от БелАЭС), а также проведение мониторинга окружающей среды и доз облучения населения.

Заключение. Разработанные в Республике Беларусь законодательные и нормативные документы в области радиационной безопасности, а также проведенные радиационный мониторинг нулевого фона вокруг БелАЭС и оценка радиологического воздействия БелАЭС на население на различных этапах жизненного цикла позволили начать реализацию программы развития атомной энергетики в стране в соответствии с международными подходами и рекомендациями МАГАТЭ.

Результаты проведенной начальной оценки радиологического воздействия БелАЭС на население использованы при подготовке документа «Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь. Оценка воздействия на окружающую среду» (далее — отчет ОВОС), получившего положительное заключение государственной экологической экспертизы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 13.07.2010 г., № 28, а также позволили научно обосновать перечень и объем мероприятий по защите населения в случае радиационной аварии, радиусы аварийного реагирования, действующие уровни вмешательства [8].

Результаты проведенной предварительной оценки радиологического воздействия БелАЭС на население легли в основу разработки проекта «Белорусская АЭС. Энергоблоки № 1, 2. Расчетное обоснование размеров санитарно-защитной зоны Белорусской АЭС в составе двух энергоблоков», разработки обоснования нормативов предельно допустимых и допустимых газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов БелАЭС.

Результаты окончательной оценки позволили разработать программу аварийного радиационного мониторинга, а также уточнить значения установленных в [7] пределов допустимых газоаэрозольных выбросов БелАЭС.

Оценка радиологического воздействия БелАЭС на население в трансграничном контексте указывает на безопасность БелАЭС для населения сопредельных и других государств при ее нормальной эксплуатации. Рассчитанные значения ожидаемых доз облучения населения других государств при авариях использованы белорусской делегацией при обсуждении отчета ОВОС на технических консультациях и общественных слушаниях в Австрии, Латвии, Литве, Польше и Украине.

Литература

1. Вехи развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики / Международное агентство по атомной энергии. — Вена, 2020. — 95 с. — (Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии № NG-G-3.1 (Rev. 1).
2. Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes: IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.11 / International Atomic Energy Agency. — Vienna, 2014. — 63 p.
3. Radiation Protection of the Public and the Environment: IAEA Safety Standards Series No. GSG-8 / International Atomic Energy Agency. — Vienna, 2018. — 76 p.
4. Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities: IAEA Safety Standards Series No. GSG-10 / International Atomic Energy Agency. — Vienna, 2018. — 104 p.
5. Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) 22 декабря 2016 г. № 551. — М., 2016. — 22 с.
6. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиен. нормативы: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена. — Вып. 2. — Минск, 2013. — С. 34–167.
7. Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций: санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 31.03.2010 № 39. — Минск: РЦГЭ и ОЗ, 2010. — 115 с.

8. План защитных мероприятий при радиационной аварии на белорусской атомной электростанции (внешний аварийный план) [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 22 марта 2018 г. № 211. — Режим доступа: <https://energodoc.by/document/view?id=3245>. — Дата доступа: 01.06.2020.

9. Дозы облучения населения от жидких радиоактивных сбросов Белорусской АЭС в р. Виляя / Е. В. Николаенко [и др.] // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.), Г. Е. Косяченко (зам. гл. ред.) [и др.]. — Минск: Изд. центр БГУ, 2020. — Вып. 30. — С. 58–66.

10. Кенигсберг, Я. Э. Прогноз облучения населения за счет трансграничного влияния Белорусской АЭС / Я. Э. Кенигсберг, В. В. Кляус, Е. П. Куц // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / редкол.: В. П. Филонов (гл. ред.) [и др.]. — Минск, 2010. — Вып. 15. — С. 90–98.

Kliaus V. V.

RESULTS OF THE ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL IMPACT OF THE BELARUSIAN NPP TO PUBLIC IN THE FRAMEWORK OF THE IAEA APPROACH TO STAGES DEVELOPING THE NATIONAL NUCLEAR POWER INFRASTRUCTURE

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

This article presents the results of assessment of possible radiological impact of the Belarusian NPP on the public in the Republic of Belarus and neighboring states, obtained at various stages of the development of the national nuclear energy infrastructure in accordance with the procedure recommended by the IAEA. The assessment of the radiological impact of the BelNPP on the public was carried out at the pre-operational stage and included dose assessment to public from routine NPP releases and discharges, projected dose assessment to public from possible accidental releases from the NPP, including in a transboundary context.

Keywords: Belarusian NPP, radiological impact, public, exposure dose, normal operation, radiation accident, radiation monitoring.

References

1. IAEA. Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power; No NG-G-3.1 (Rev. 1). Vienna; 2020.
2. IAEA. Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes; No NG-T-3.11. Vienna; 2014.
3. IAEA. Radiation Protection of the Public and the Environment; No GSG-8. Vienna; 2018.
4. IAEA. Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities; No GSG-10. Vienna; 2018.
5. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor). Procedure for development of standards for permissible discharges of radioactive substances into water bodies for water users. Moscow; 2016. (in Russian)
6. Criteria for assessing radiation exposure: Hygienic standards: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 28 December 2012, No 213. In: *Radiation hygiene*. Minsk; 2015: 34–167. (in Russian)
7. Hygienic requirements for the design and operation of nuclear power plants: sanitary rules, regulations and hygienic standards: approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on March 31, 2010 No 39. Minsk; 2010. (in Russian)
8. The plan of protective measures in case of a radiation accident at the Belarusian nuclear power plant (external emergency plan): approved by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on March 22, 2018 No 211. Available at: <https://energodoc.by/document/view?id=3245> (accessed 01 June 2020). (in Russian)
9. *Nikalayenka A. U., Kliaus V. V., Zhukova O. M., Huseinava D. I.* Public Exposure Doses from Radioactive Liquid Discharges of Belarusian NPP in the Viliya River. In: Syhchik S. I., chief ed. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*: collection of scientific papers. Iss. 30. Minsk; 2020: 58–65. (in Russian)

10. Kenigsberg J., Kliaus V., Kouts K. Prediction of population irradiation as a result of transboundary effect of the Belarusian nuclear power plant. In: Filonov V. P. et al., eds. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda: collection of scientific papers*. Iss. 15. Minsk; 2010: 90–8. (in Russian)
e-mail для переписки: vkliaus@gmail.com

Поступила 22.11.2021

УДК 614.73:621.039.58(476)

Николаенко Е. В., Роздяловская Л. Ф., Гусейнова Д. И., Кляус В. В.

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ БелАЭС НА НАСЕЛЕНИЕ ПРИ РАБОТЕ АЭС В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Представлены результаты оценки доз облучения населения от ожидаемых фактических выбросов Белорусской АЭС (далее — БелАЭС) в режиме нормальной эксплуатации, основанные на расчетах с применением в качестве исходных параметров характеристик фактических выбросов энергоблока с реактором ВВЭР-1200 Ленинградской АЭС-2 (далее — ЛАЭС-2), данных о метеоусловиях площадки размещения БелАЭС и параметров репрезентативного лица населения, проживающего в зоне наблюдения (далее — ЗН) БелАЭС. Проведена оценка доз облучения населения от предполагаемых фактических газоаэрозольных выбросов БелАЭС по всем путям облучения и определен вклад основных дозообразующих радионуклидов в суммарную дозу облучения. Установлено, что приоритетными путями облучения являются погружение в радиоактивное облако и внутреннее облучение по пероральному пути от потребления пищевых продуктов. Выполнено сравнение доз облучения населения от предполагаемых фактических выбросов БелАЭС с соответствующим нормативом граничной дозы, дозами облучения от проектных выбросов станций — аналогов БелАЭС и фактическими годовыми эффективными дозами населения, проживающего в ЗН южнокорейских АЭС с типом реактора PWR (зарубежный аналог реактора ВВЭР). Отмечено, что современные АЭС с реактором ВВЭР-1200 обеспечивают более высокий уровень защиты населения от газоаэрозольных выбросов, чем их зарубежные аналоги — водо-водяные реакторы PWR.

Ключевые слова: атомная электростанция, станция — аналог БелАЭС, газоаэрозольные выбросы, доза облучения населения, граничная доза.

Введение. Введение в промышленную эксплуатацию в июне 2021 г. Белорусской АЭС является одним из главных достижений Республики Беларусь как суверенного государства. БелАЭС обеспечена передовыми многоуровневыми системами защиты, эффективность которых постоянно подтверждается многочисленными экспертными оценками, в том числе международных экспертов. Однако ни одна из АЭС не может работать без образования газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов в окружающую среду, являющихся постоянным источником дополнительного техногенного облучения населения, в связи с чем проблема влияния АЭС на здоровье населения и окружающую среду не перестает быть актуальной.

Наиболее эффективным научным подходом к оценке радиологического воздействия АЭС на здоровье человека признается подход, основанный на оценках доз облучения населения, обусловленных эксплуатацией АЭС. В соответствии с установленными нормативами при нормальной эксплуатации БелАЭС эти дозы должны находиться в диапазоне от минимально значимой дозы — 10 мкЗв/год до значения граничной дозы облучения населения — 100 мкЗв в год (50 мкЗв от радиоактивных выбросов и 50 мкЗв — от сбросов) [1].

Анализ доз облучения населения в зоне наблюдения действующих российских АЭС с типом реактора ВВЭР-1000/ВВЭР/1200 (станций — аналогов БелАЭС) показывает, что в условиях нормальной эксплуатации АЭС дозы облучения населения в ЗН АЭС не превышают нескольких микрозиверт и укладываются в границы временных флуктуаций техногенного фона, обусловленного радионуклидами глобального и чернобыльского выпадений (таблица 1).

Таблица 1. — Эффективные дозы облучения населения в ЗН российских станций — аналогов БелАЭС, мкЗв/год [2–4]

АЭС	Ростовская АЭС	Балаковская АЭС	Нововоронежская АЭС
Дозы облучения от фоновое загрязнение почвы ^{137}Cs	7,00	1,80	22
Дозы облучения, обусловленные работой АЭС в нормальном режиме	2,80E-03	1,10E-03	8,30E-02

Поскольку определить инструментальными методами вклад таких маленьких доз в общую дозу облучения населения (репрезентативного лица) не представляется возможным, дозы от эксплуатации АЭС оцениваются расчетным путем с помощью математических моделей, использующих данные о фактических или проектных выбросах и сбросах АЭС в окружающую среду и характеристики репрезентативного лица в ЗН АЭС, полученные по результатам радиационно-гигиенического мониторинга.

В настоящей работе для оценки доз облучения населения при нормальной эксплуатации БелАЭС использованы данные о фактических выбросах ЛАЭС-2, являющейся конструкционно полным аналогом БелАЭС (реактор ВВЭР-1200), а в качестве модельных параметров репрезентативного лица — характеристики репрезентативного лица населения, проживающего в ЗН БелАЭС. Фактические данные о величине сбросов энергоблоков станции — аналога БелАЭС использованы в расчетах по причине недостаточности на данный момент необходимых характеристик фактических годовых выбросов БелАЭС из-за короткого периода промышленной эксплуатации станции (с июня 2021 г.).

В работе выполнена оценка дозовых нагрузок на население от газоаэрозольных выбросов БелАЭС с учетом различных путей облучения и рассмотрены годовые эффективные дозы репрезентативного лица (далее — ГЭД) от внутреннего облучения при потреблении различных пищевых продуктов, произведенных в зоне влияния газоаэрозольных выбросов БелАЭС. Полученные результаты сопоставлены с установленными для облучения населения нормативами, проектными выбросами станций — аналогов БелАЭС и ГЭД населения, проживающего в ЗН зарубежных атомных электростанций с водо-водяным типом реактора PWR (зарубежный аналог реактора ВВЭР).

Цель работы — экспертная оценка радиологического воздействия БелАЭС на население в условиях нормальной эксплуатации на основе данных о фактических активностях и структуре газоаэрозольных выбросов станции — аналога БелАЭС.

Материалы и методы. Для экспертной оценки радиологического воздействия БелАЭС на население рассчитывались обусловленные газоаэрозольными выбросами ГЭД репрезентативного лица в ЗН БелАЭС. В качестве исходных параметров при выполнении расчетов использованы характеристики фактических выбросов ЛАЭС-2 в режиме нормальной эксплуатации, данные о метеоусловиях площадки размещения БелАЭС и параметры репрезентативного лица населения, проживающего в ЗН БелАЭС, полученные в результате опроса населения государственным предприятием НППЦГ в Островском районе в 2017–2018 гг. Такой подход к выбору исходных параметров позволил предположительно рассматривать полученные результаты как дозовые нагрузки населения от фактических выбросов БелАЭС.

Для расчета ГЭД от выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации использован лицензионный программный пакет PC-CREAM 08 (Consequences of Releases to the Environment: Assessment Methodology), разработанный Агентством по охране здоровья Великобритании (Health Protection Agency), одобренный Регистром обеспечения качества Ллойда в качестве компьютерного кода, соответствующего стандартам качества ISO 9001:2008 и системе менеджмента качества компьютерных программ EickIT 5.5, номер свидетельства 956546 [5, 6]. В методологии использованы Публикация 103 МКРЗ, дозовые коэффициенты и взвешивающие тканевые множители в соответствии с Публикацией 60 МКРЗ [7, 8]. ГЭД от выброса рассчитывалась по всем путям облучения на расстоянии до 10 км от источника выброса.

Результаты и их обсуждение. Рассчитаны дозы облучения населения, формируемые по различным путям облучения от каждого радионуклида (таблица 2). Наибольший вклад в суммарную ГЭД от выбросов вносят внешнее облучение от радиоактивного облака и пероральный путь облучения от потребления пищевых продуктов (рисунок 1). При этом основной вклад во внешнее облучение от облака вносят инертные радиоактивные газы (далее — ИРГ), доля которых в суммарной ГЭД от аэрозольных выбросов составляет 64 % (рисунок 2А). ^{14}C формирует более 30 % суммарной ГЭД за счет ингаляционного и перорального путей поступления. Среди остальных радионуклидов (без учета ИРГ и ^{14}C) основной вклад вносят ^{131}I и изотопы Cs, поступающие в организм человека пероральным и ингаляционным путем (рисунок 2Б).

Таблица 2.— ГЭД от выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации, рассчитанная на основе фактических выбросов энергоблока ВВЭР-1200 ЛАЭС-2, мкЗв

Радионуклид	Внешнее облучение от облака	Внешнее облучение от радиоактивного загрязнения поверхности земли	Внутреннее облучение от ингаляции	Внутреннее облучение от перорального поступления	Суммарная годовая доза
⁴¹ Ar	$8,75 \times 10^{-5}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$8,75 \times 10^{-5}$
¹³³ Xe	$9,06 \times 10^{-6}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$9,06 \times 10^{-6}$
¹³⁵ Xe	$2,32 \times 10^{-5}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$2,32 \times 10^{-5}$
^{135m} Xe	$1,82 \times 10^{-5}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$1,82 \times 10^{-5}$
¹³⁸ Xe	$5,45 \times 10^{-3}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$5,45 \times 10^{-3}$
⁸⁷ Kr	$5,30 \times 10^{-5}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$5,30 \times 10^{-5}$
⁸⁸ Kr	$5,63 \times 10^{-5}$	Нет данных	Нет данных	Нет данных	$5,63 \times 10^{-5}$
⁶⁰ Co	$5,88 \times 10^{-9}$	$4,35 \times 10^{-7}$	$5,15 \times 10^{-7}$	$2,32 \times 10^{-6}$	$3,35 \times 10^{-6}$
¹³¹ I	$1,38 \times 10^{-9}$	$3,17 \times 10^{-7}$	$5,66 \times 10^{-7}$	$3,23 \times 10^{-4}$	$3,24 \times 10^{-4}$
¹³⁴ Cs	$3,37 \times 10^{-9}$	$2,43 \times 10^{-7}$	$3,10 \times 10^{-7}$	$1,46 \times 10^{-4}$	$1,46 \times 10^{-4}$
¹³⁷ Cs	$1,37 \times 10^{-11}$	$1,40 \times 10^{-7}$	$2,16 \times 10^{-7}$	$1,04 \times 10^{-4}$	$1,04 \times 10^{-4}$
³ H	Нет данных	Нет данных	$6,52 \times 10^{-6}$	$5,9 \times 10^{-5}$	$6,55 \times 10^{-5}$
¹⁴ C	$6,78 \times 10^{-10}$	Нет данных	$1,40 \times 10^{-4}$	$5,40 \times 10^{-5}$	$5,54 \times 10^{-5}$
Сумма	$1,17 \times 10^{-2}$	$1,14 \times 10^{-6}$	$1,98 \times 10^{-4}$	$6,03 \times 10^{-3}$	$1,76 \times 10^{-2}$

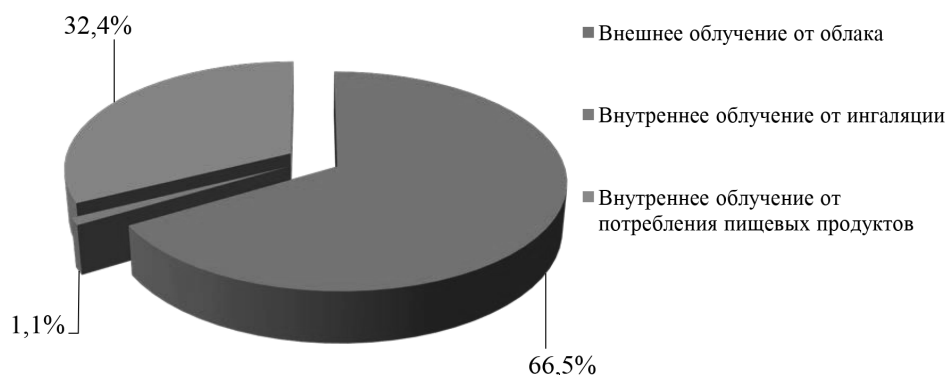


Рисунок 1.— Вклад различных путей облучения в суммарную ГЭД населения от газоаэрозольных выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации (рассчитано на основе фактических выбросов энергоблока ВВЭР-1200 ЛАЭС-2)

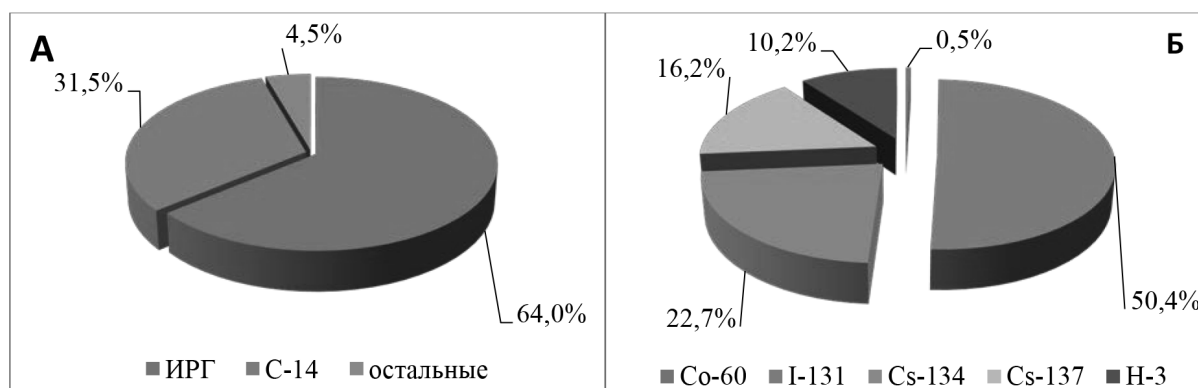


Рисунок 2.— Вклад ИРГ и ¹⁴C (А) и остальных (без учета ИРГ и ¹⁴C) радионуклидов (Б) в суммарную ГЭД населения от газоаэрозольных выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации (рассчитано на основе фактических выбросов энергоблока ВВЭР-1200 ЛАЭС-2)

Суммарная ГЭД облучения населения от газоаэрозольных выбросов одного энергоблока БелАЭС согласно проведенным расчетам составляет $1,76 \times 10^{-2}$ мкЗв, от двух энергоблоков — $3,5 \times 10^{-2}$ мкЗв.

Отдельно рассмотрены ГЭД внутреннего облучения населения от потребления различных пищевых продуктов, произведенных в зоне влияния газоаэрозольных выбросов БелАЭС, как основного пути облучения (таблица 3). Наибольшее значение дозы по пероральному пути облучения формируется от потребления молока и молочных продуктов, на втором месте — дозы от продуктов питания из хлебных злаков (рисунок 3).

Таблица 3. — ГЭД внутреннего облучения населения от потребления продуктов питания, загрязненных в результате газоаэрозольных выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации, рассчитанная на основе фактических выбросов энергоблока ВВЭР-1200 ЛАЭС-2, мкЗв

Радионуклид	ГЭД						Суммарная ГЭД
	мясо и мясная продукция	молоко и молочная продукция	фрукты	лиственные овощи	корнеплоды	зерновые (хлебные злаки)	
^{60}Co	$1,03 \times 10^{-7}$	$3,24 \times 10^{-7}$	$2,41 \times 10^{-7}$	$1,23 \times 10^{-6}$	$2,18 \times 10^{-9}$	$4,91 \times 10^{-7}$	$2,32 \times 10^{-6}$
^{131}I	$3,72 \times 10^{-6}$	$2,79 \times 10^{-4}$	$1,49 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$2,33 \times 10^{-6}$	$1,12 \times 10^{-6}$	$3,23 \times 10^{-4}$
^{134}Cs	$1,55 \times 10^{-5}$	$7,35 \times 10^{-5}$	$1,90 \times 10^{-5}$	$7,36 \times 10^{-6}$	$3,44 \times 10^{-6}$	$1,80 \times 10^{-5}$	$1,46 \times 10^{-4}$
^{137}Cs	$1,09 \times 10^{-5}$	$5,88 \times 10^{-5}$	$1,36 \times 10^{-5}$	$5,15 \times 10^{-6}$	$2,45 \times 10^{-6}$	$1,31 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-4}$
^3H	$3,76 \times 10^{-6}$	$2,46 \times 10^{-5}$	$1,02 \times 10^{-5}$	$1,20 \times 10^{-5}$	$6,17 \times 10^{-6}$	$1,00 \times 10^{-6}$	$5,90 \times 10^{-5}$
^{14}C	$3,20 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-3}$	$5,78 \times 10^{-4}$	$5,94 \times 10^{-4}$	$3,06 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-3}$	$5,40 \times 10^{-3}$
Сумма	$3,54 \times 10^{-4}$	$2,24 \times 10^{-3}$	$6,36 \times 10^{-4}$	$6,41 \times 10^{-4}$	$3,20 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-3}$	$6,03 \times 10^{-3}$

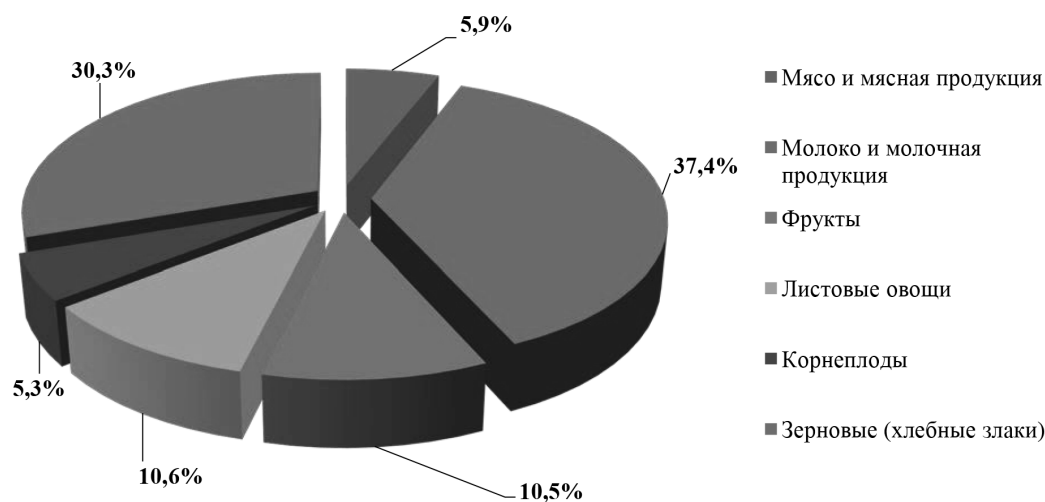


Рисунок 3. — Распределение ГЭД населения от потребления продуктов питания, загрязненных в результате газоаэрозольных выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации (рассчитано на основе фактических выбросов энергоблока ВВЭР-1200 ЛАЭС-2)

В аспекте анализа полученных результатов рассмотрены опубликованные данные о дозах облучения населения от фактических и проектных газоаэрозольных выбросов станций — аналогов БелАЭС при нормальной эксплуатации [9–12]. Сопоставлены только дозы облучения, рассчитанные с учетом всего перечня основных дозобразующих радионуклидов в выбросе (^{14}C , ^3H , ИРГ, ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{60}Co), включая расчетную дозу облучения населения от проектных выбросов БелАЭС [11] и фактических выбросов южно-корейских станций с водо-водяным реактором PWR, являющимся зарубежным аналогом ВВЭР [12] (рисунок 4).

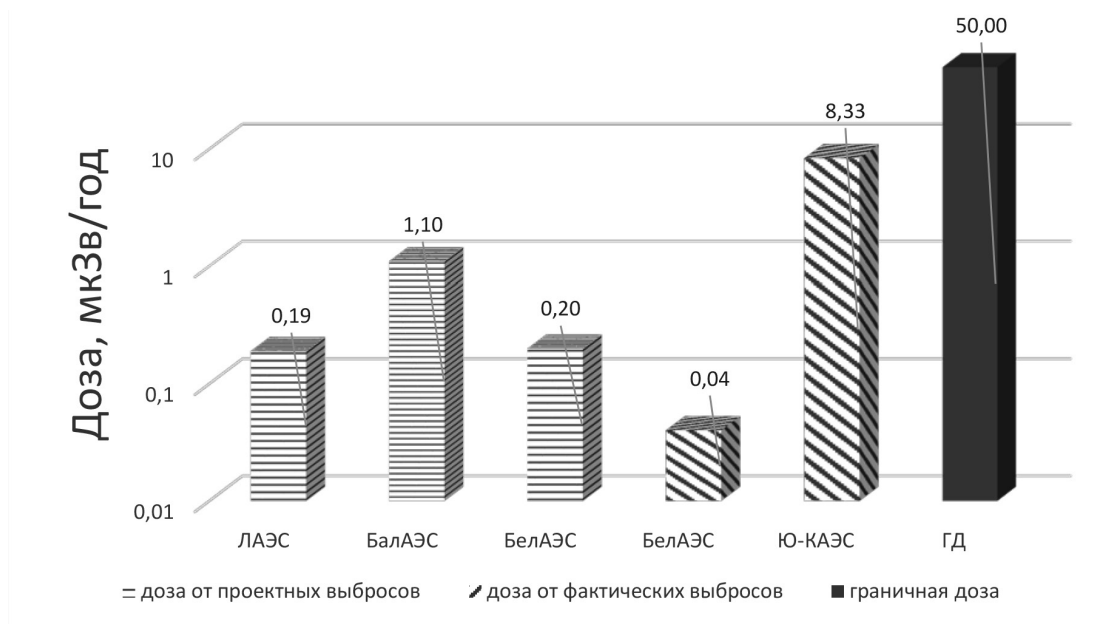


Рисунок 4. — Сопоставление нормативного уровня граничной дозы и фактических / планируемых доз облучения населения станций — аналогов БелАЭС: Ленинградской-2 (ЛАЭС-2), Балтийской (БалАЭС) и южно-корейских АЭС (Ю-АЭС)

Из рисунка 4 следуют несколько важных выводов:

дозы облучения населения как от проектных, так и от фактических газоаэрозольных выбросов реакторов типа ВВЭР-1200, рассчитанные с учетом полного перечня основных дозообразующих радионуклидов в выбросе при условии нормальной эксплуатации АЭС, в десятки раз ниже нормативной величины граничной дозы (50 мкЗв/год);

расчетные дозы облучения населения от фактических газоаэрозольных выбросов БелАЭС на порядок ниже значений, рассчитанных на основе выбросов радионуклидов, определенных проектом БелАЭС [12];

технологии очистки газоаэрозольных выбросов современных АЭС с реактором ВВЭР-1200 обеспечивают более низкие уровни доз облучения населения, чем их зарубежные аналоги — водо-водяные реакторы PWR.

Заключение. В результате выполненных исследований определены возможные дозы облучения населения (репрезентативного лица) от фактических газоаэрозольных выбросов БелАЭС, которые в разы ниже определенных ранее проектных доз облучения и составляют менее чем 0,4 % от соответствующего норматива граничной дозы. Более 66 % дозовой нагрузки на население будет формироваться за счет погружения в радиоактивное облако, и более 32 % — за счет внутреннего облучения по пероральному пути от потребления пищевых продуктов. Наибольший вклад в дозу облучения по пероральному пути вносит потребление молока и молочных продуктов (37,4 %), на втором месте — дозы от продуктов питания из хлебных злаков (30,3 %).

Технологии очистки газоаэрозольных выбросов современных АЭС с реактором ВВЭР-1200 обеспечивают более низкие уровни доз облучения населения, чем их зарубежные аналоги — водо-водяные реакторы PWR.

Литература

1. Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций [Электронный ресурс]: санитарные нормы и правила: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 31 марта 2010 № 39. — Режим доступа: https://radbez.bsmu.by/library/san_pin_NP.pdf. — Дата доступа: 21.10.2021.

2. Шарпан, Л. А. Оценка дозы облучения населения в результате атмосферных выбросов Ростовской АЭС / Л. А. Шарпан, Е. И. Карпенко, С. И. Спиридонов // Атомная энергия. — 2013. — Т. 115, № 3. — С. 163–165.

3. Газиев, И. Я. Модельные расчеты радиоактивного загрязнения окружающей среды и оценки доз облучения населения зоны наблюдения Балаковской АЭС / И. Я. Газиев, А. И. Крышев // Радиация и риск. — 2011. — Т. 20, № 2. — С. 47–57.

4. Газиев, И. Я. Модельные расчеты радиоактивного загрязнения атмосферы, местности, сельскохозяйственной продукции и доз облучения населения в зоне наблюдений Нововоронежской АЭС / И. Я. Газиев, А. И. Крышев // Радиация и риск. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 48–59.
5. Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation // Official J. of the European Communities. — 1996. — L 159. — P. 0001–0114.
6. PC-CREAM 08: radiological consequences of routine releases / UK Health Protection Agency; J. Smith, J. R. Simmonds, eds. — Didcot: HPA, 2009. — 89 p.
7. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60 / International Commission on Radiological Protection. — Oxford; New York: Pergamon Press, 1991. — 201 p.
8. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Publication No 103, Ann. ICRP 37 (2–4) / The International Commission on Radiological Protection. — Oxford; New York: Pergamon Press, 2007. — 332 p.
9. Карпенко, Е. И. Долгосрочный прогноз дозовых нагрузок на население при штатных атмосферных выбросах Ленинградской АЭС-2 с помощью программного средства CROM / Е. И. Карпенко, С. И. Спиридонов, В. Э. Куртмулаева // Радиация и риск. — 2018. — Т. 27, № 2. — С. 20–26.
10. Оценка и прогнозирование дозы облучения населения в районе размещения АЭС с ВВЭР-1200 / Р. А. Микаилова [и др.] // Атомная энергия. — 2019. — Т. 127, № 1. — С. 47–50.
11. Радиационно-гигиеническое обоснование размера санитарно-защитной зоны вокруг Белорусской АЭС / В. В. Кляус, Е. В. Николаенко // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. — 2016. — № 1(15). — С. 124–130.
12. Radioactive effluents released from Korean nuclear power plants and the resulting radiation doses to members of the public / Tae Young Kong [et al.] // Nuclear Engineering and Technology. — 2017. — Vol. 49, iss. 8. — P. 1772–1777.

Nikalayenka A. U., Rozdylouskaya L. F., Huseinava D. I., Kliaus V. V.

TO THE QUESTION ON ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL IMPACT OF AIRBORN DISCHARGES OF BELNPP ON THE POPULATION DURING OPERATION OF NPP IN NORMAL MODE

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The article presents the results of assessment of the population exposure doses from the expected actual discharges of the Belarusian NPP (hereinafter – BelNPP) in normal operation mode, based on calculations using the characteristics of the actual discharges of the power unit with the VVER-1200 reactor of the Leningrad NPP-2 (hereinafter – LenNPP-2) as initial parameters, data on the meteorological conditions of the BelNPP site and the parameters of a representative person from the population living in the observation zone (hereinafter – OZ) of the BelNPP. The population exposure doses from the estimated actual airborne discharges of BelNPP were evaluated for all exposure routes and the contribution of the main dose – forming radionuclides to the total exposure dose was determined. The immersion into the radioactive cloud and internal exposure from intake of food products were established to be the main radiation exposure pathways. The population exposure doses from the assumed actual BelNPP discharges were compared with the corresponding standard of the dose constraint, exposure doses from the design discharges of the BelNPP analogue stations and actual annual effective doses of the population living in the OZ of South Korean NPPs with the PWR reactor type (foreign analogue of the VVER reactor). It is noted that modern NPPs with a VVER-1200 reactor provide a higher level of protection of the population against airborne discharges than their foreign analogues – water-cooled reactors PWR.

Keywords: nuclear power plant, BelNPP analogue station, airborne discharges, population exposure dose, dose constraint.

References

1. Hygienic Requirements for the Design and Operation of Nuclear Power Plants: Sanitary norms and regulations: approved by the Resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of March 31, 2010 No 39. Available at: https://radbez.bsmu.by/library/san_pin_NP.pdf. (accessed 21 October 2021). (in Russian)

2. Sharpan L. A., Karpenko E. I., Spiridonov C. I. Estimation of irradiation doses to the population from the atmospheric releases of the Rostov NPP. *Atomic Energy*. 2013; 115(3): 163–5. (in Russian)

3. Gaziev I. Y., Kryshev A. I. Computations of environmental radioactive contamination and estimates of population exposure dose for the Balakovo NPP observation zone. *Radiation and risk*. 2011; 20(2): 47–57. (in Russian)

4. Gaziev I. Y., Kryshev A. I. Radioactive contamination of air, underlying surface, agriculture products and population exposure doses near the Novovoronezh NPP site: model computations. *Radiation and risk*. 2010; 19(1): 48–59. (in Russian)

5. Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. *Official J. of the European Communities*. 1996; L 159: 0001–114.

6. Smith J., Simmonds J. R., eds. PC-CREAM 08: radiological consequences of routine releases. Didcot: UK Health Protection Agency; 2009.

7. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Publication No 60. Oxford; New York: Pergamon Press; 1991.

8. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Publication No 103, Ann. ICRP 37 (2–4). Oxford; New York: Pergamon Press; 2007.

9. Karpenko E. I., Spiridonov S. I., Kurtmulaeva V. E. Estimated radiation doses to the population from exposure to routine atmospheric releases during long — term operation of the Leningrad NPP-2. *Radiation and risk*. 2018; 27(2): 20–2. (in Russian)

10. Mikailova R. A., Nushtaeva V. E., Spiridonov S. I. et al. Estimation and prediction of the population irradiation dose in the vicinity of NPP with VVER-1200. *Atomic Energy*. 2019; 127(1): 56–9. (in Russian)

11. Kliaus V. V., Nikalayenka A. U. Radiation-hygienic basement of the size of sanitary protection zone around Belarusian NPP. *Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2016; 1(15): 124–30. (in Russian)

12. Kong Tae Young, Kim Siyoung, Lee Youngju et al. Radioactive effluents released from Korean nuclear power plants and the resulting radiation doses to members of the public. *Nuclear Engineering and Technology*. 2017; 49(8): 1772–7.

e-mail для переписки: nikolaenko67@gmail.com, lrozdyalouskaya@gmail.com, dianahuseinava@gmail.com, vkliaus@gmail.com

Поступила 23.11.2021

УДК 614.876:546.296 (476.1)

Сасноўскі А. В., Авецісаў А. Р., Жук І. У.¹, Абдухалімавіч Х. Д.¹, Кучко П. У.², Ігнатовіч С. А.²

РАДОН У ПАВЕТРЫ ЖЫЛЫХ ПАМЯШКАННЯЎ: ДОЗЫ АПРАМЕНЬВАННЯ НАСЕЛЬНІЦТВА ГОРАДА СЛУЦКА І АГРАГАРАДКА ЛУЧНІКІ

Установа адукацыі «Беларускі дзяржаўны медыцынскі ўніверсітэт»,
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь,

¹Дзяржаўная навуковая ўстанова «Аб'яднаны інстытут энергетычных і ядзерных
даследаванняў — Сосны», г. Мінск, Рэспубліка Беларусь,

²Установа аховы здароўя «Слуцкі занальны цэнтр гігіены і эпідэміялогіі»,
г. Слуцк, Рэспубліка Беларусь

Анотацыя. У дадзеным артыкуле прадставілі інфармацыю аб узроўнях радону ў паветры жылых памяшканняў. Для даследавання абралі 126 розных пунктаў у горадзе Слуцку, яго ваколіцах і аграгарадкі Лучнікі. Даследаванне праводзілі ў зімовы перыяд у 2020 і 2021 гг. Разлічылі дозы, якія фарміруюцца за кошт радону і прадуктаў яго распаду ў паветры жылых памяшканняў, для насельніцтва горада Слуцка і аграгарадкі Лучнікі. гэтыя дозы ўключыліся ў дыяпазон ад 0,9 да 5,9 мЗв/год. Сярэдняе значэнне — 2,1 мЗв/год, медыяна — 1,7 мЗв/год. На падставе атрыманых доз былі разлічаны анкалагічныя рызыкі для насельніцтва. Анкалагічныя рызыкі ад уплыву радону складалі ад 0,00018 да 0,0026. На нашу думку, на дозу ўплывае больш за ўсё тып жыллага будынка: у прыватных дамах з драўлянай падлогай і мясцовым ацяпленнем доза была самай вялікай. Мы не знайшлі істотнай розніцы паміж дозамі на тэрыторыях, дзе праходзіць геалагічны разлом, і там, дзе яго няма. Вынікі даследавання былі нанесены на карты.

Ключавыя словы: радон, доза апраменьвання, анкалагічная рызыка.

Уводзіны. Паводле асноўных палажэнняў праекта праграмы сацыяльна-эканамічнага развіцця Рэспублікі Беларусь на 2021–2025 гг. у сістэме аховы здароўя намаганні будуць сканцэнтраваныя на ахове здароўя насельніцтва, павышэнні даступнасці і якасці медыцынскай дапамогі шляхам узмацнення эпідэміялагічнай бяспекі і зніжэння ўзроўню захворвальнасці насельніцтва. Паводле праекта гэтая мэта дасягаецца ўзмацненнем прафілактыкі неінфекцыйных захворванняў [1]. Найбольш распаўсюджаным відам раку з’яўляецца рак лёгкіх. Найбольшая колькасць смерцяў ад раку наступае менавіта ад раку лёгкіх. У цяперашні час можна прадухіліць да паловы выпадкаў узнікнення ракавых захворванняў праз ажыццяўленне мер, накіраваных на зніжэнне кантакту з фактарамі рызыкі, і праз прытрымліванне адпаведных стратэгіі прафілактыкі [2]. Шматгадовыя даследаванні ўсіх развітых краін дэманструюць сувязь паміж радоном у паветры жылых памяшканняў і ракам лёгкіх: да 12 % усіх выпадкаў гэтага захворвання асацыявана з радоном і прадуктамі яго распаду [3].

Мэта працы — вывучэнне доз, якія фарміруе радон і прадукты яго распаду ў паветры жылых памяшканняў, для насельніцтва горада Слуцка і аграгарадка Лучнікі і разлік анкалагічных рызыкаў.

Матэрыялы і метады. Вымярэнне ўзроўняў радону ў паветры жылых памяшканняў вялі трэкавым метадам. Даследаванні праводзілі ў зімнюю пару года ў 2020 і 2021 гг. у жылых памяшканнях горада Слуцка і аграгарадка Лучнікі. Вымярэнне ўзроўняў радону праводзілі менавіта ў зімовыя месяцы, таму што ў халодны перыяд зніжаецца якасць і змяншаецца частата праветрывання памяшканняў, павялічваецца працягласць знаходжання чалавека ў жылым памяшканні з-за нізкай тэмпературы паветра. Такім чынам, мадэлюецца найгоршы сцэнар уздзеяння радону ў паветры жылых памяшканняў і прадуктаў яго распаду на здароўе чалавека. Вымярэнне інтэгральнага сярэднеўзважанага значэння аб’ёмнай актыўнасці радону ў паветры жылых памяшканняў выконвалі трэкавым метадам з выкарыстаннем інтэгральных трэкавых радыёметраў радону (далей — раданометр). У аснове метаду вымярэнняў ляжыць рэгістрацыя і падлік трэкаў альфа-часціц радону і яго даччыных прадуктаў распаду на цвёрдацельны трэкавы накапляльнік. Паветра натуральным шляхам праходзіць у камеру раданометра праз дыфузійны фільтр, які прадухіляе пападанне вільгаці і аэразоляў. Сярэдні час дыфузіі складае каля дзвюх гадзін, што нашмат больш за перыяд паўраспаду тарону ($T_{1/2} = 55,6$ с) і практычна выключае яго ўплыў на вынік вымярэння. Альфа-часціцы, што выпускаюцца пры распадзе радону, утвараюць трэкі пашкоджанняў у дэтэктары радыёметра радону. Пасля двухмесячнага экспанавання дэтэктар дастаюць з раданометра і хімічна апрацоўваюць для падліку колькасці трэкаў. Колькасць трэкаў прапарцыянальная сярэдняй аб’ёмнай актыўнасці радону ў навакольным паветры. Эфектыўнасць рэгістрацыі вызначаюць шляхам экспанавання партыі раданометраў у атмасферы з пэўнай актыўнасцю радону. Фізічная велічыня, якая вызначаецца з дапамогай раданометра, з’яўляецца сярэднеўзважаным значэннем аб’ёмнай актыўнасці радону ў паветры ($\text{Бк} \times \text{м}^{-3}$) за час экспазіцыі.

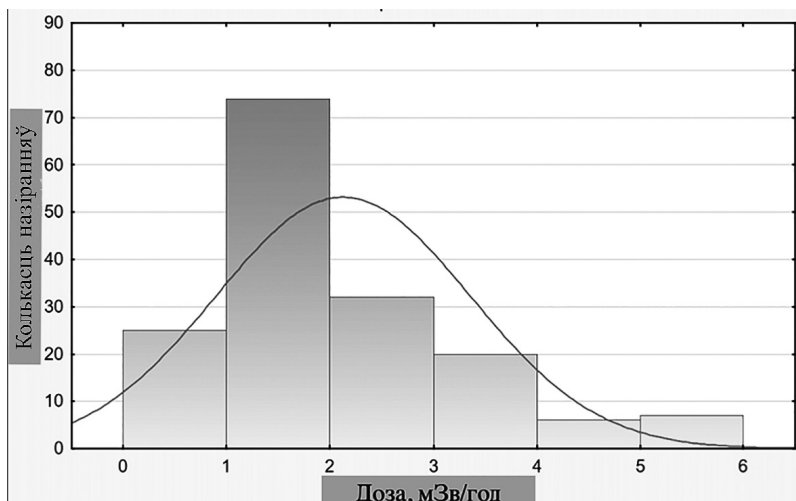
Пры выкананні вымярэнняў выкарыстоўваюць наступныя сродкі, рэактывы і матэрыялы: раданометр з трэкавым дэтэктарам на аснове плёнкі Kodak LR-115, Type 2; прылада для траўлення трэкавых дэтэктараў — тэрмостат ТРАЛ-1; прыбор для аўтаматычнага электраісक्रавага падліку трэкаў АИСТ-2В; стужка лаўсанавая алюмінізаваная тыпу ПЭТФ 0А12; едкі натр NaOH (гідраксід натрыю), ДАСТ 4328, ч.д.а., 6н раствор; вада дыстыляваная, ДАСТ 6709.

Падрыхтоўка, вымярэнні, апрацоўка і разлік вынікаў, кантроль хібнасці былі выкананы адпаведна з дзеючай нарматыўнай дакументацыяй [4] у акрэдытаванай лабараторыі эксперыментальных ядзерна-фізічных даследаванняў і экспертных аналізаў радыеактыўных матэрыялаў № 13 на базе Дзяржаўнай навуковай установы «Аб’яднаны інстытут энергетычных і ядзерных даследаванняў — Сосны».

Для даследавання было абрана 126 розных пунктаў у горадзе Слуцку, яго ваколіцах і аграгарадку Лучнікі. У кожным пункце, які ўяўляе сабой памяшканне на першым паверсе ў жылым шматкватэрным будынку ці прыватны аднапавярховы жылы дом, былі ўсталяваны два раданометры. Работу па фарміраванні выбаркі жылых памяшканняў з улікам іх архітэктурных і геалагічных асаблівасцяў праводзілі супольна з супрацоўнікамі ДУ «Слуцкі занальны ЦГіЭ». Экспанаванне датчыкаў праводзілі на працягу двух месяцаў адпаведна з дзеючымі нарматыўна-прававымі актамі [5, 6].

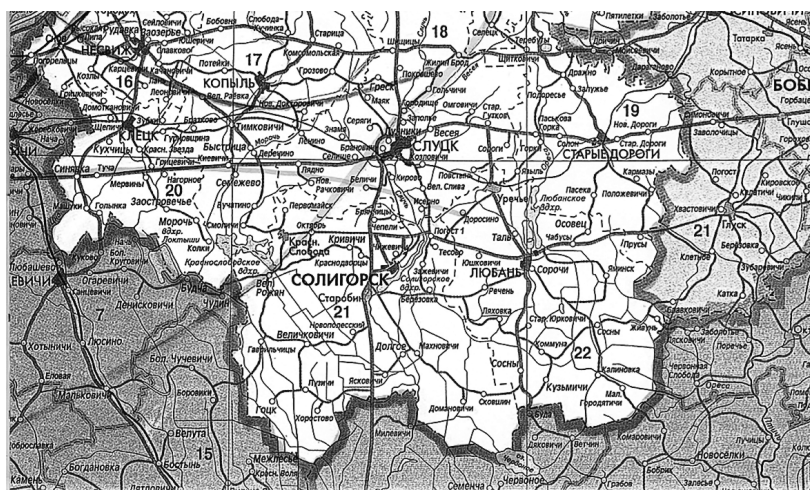
Вынікі і іх абмеркаванне. Адпаведна Інструкцыі [6] і міжнародным парадам [7] былі разлічаны дозы апраменьвання насельніцтва за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў. Доза разлічваецца як агульны здабытак дозавага каэфіцыенту ($9,0 \times 10^{-6}$ мЗв/гадзіна \times Бк/м³), сярэдняга часу знаходжання чалавека ў жылых памяшканнях на працягу года (7 000 гадзін) і сярэднегадавой эквівалент-

най раўнаважнай аб'ёмнай актыўнасці радону ў паветры жылых памяшканняў (Бк/м³). Пасля выключэння выкідаў значэнні дозы апраменьвання склалі дыяпазон ад 0,9 да 5,9 мЗв/год з непараметрычным размеркаваннем (малюнак 1).



Малюнак 1.— Размеркаванне доз (мЗв/год)

Сярэдняе значэнне — 2,1 мЗв/год, медыяна — 1,7 мЗв/год. Падчас вымярэння ўзроўня радону намі былі зафіксаваны асноўныя параметры і асаблівасці жылых памяшканняў, якія маглі паўплываць на вынік эксперыменту. Таксама мы ўлічвалі геалагічныя асаблівасці мясцовасці. Па тэрыторыі аграгарадка Лучнікі праходзіць тэктанічны разлом [8, 9]. Гэта таксама можна заўважыць і на карце (малюнак 2).



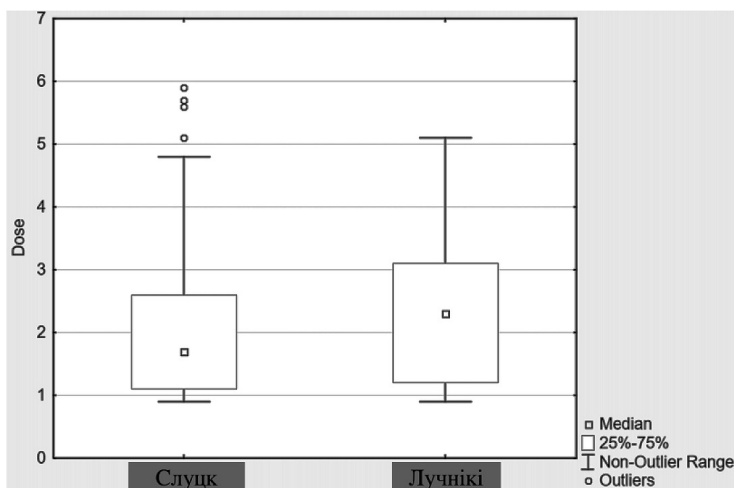
Малюнак 2.— Карта тэктанічных разломаў Мінскай вобласці

Сярэдняе значэнне доз для насельніцтва г. Слуцка склала 2,3 мЗв/год, а/г Лучнікі — 2,7 мЗв/год. Медыяннае значэнне доз па Слуцку — 1,7 мЗв/год, а/г Лучнікі — 2,4 мЗв/год. Можна адзначыць некаторую перавагу ў бок Лучнікаў (асабліва медыяннае значэнне), аднак тры тэсты (Kolmogorov—Smirnov, Mann—Whitney, Wald—Wolfowitz) з дакладнасцю беспамылковага прагнозу 95 % паказалі адсутнасць статыстычна дакладнай розніцы паміж гэтымі значэннямі (малюнак 3).

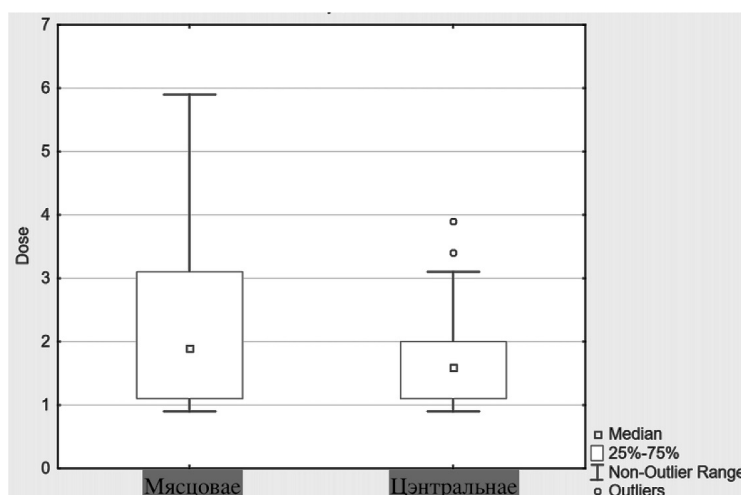
Верагодна, усё ж ёсць уплыў наяўнасці разлому на ўзровень радону, але колькасць вымярэнняў не дазволіла пацвердзіць гэта статыстычна.

Намі была знойдзена статыстычна дакладная розніца ў дозах, якія фарміруюцца за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў ($p < 0,05$) будынкаў з цэнтральным (сярэдняе значэнне $1,66 \pm 0,74$ мЗв/год) і мясцовым ($2,30 \pm 1,33$ мЗв/год) ацяпленнем (малюнак 4). Большую дозу можна абгрунтаваць двума фактарамі: тым, што мясцовае ацяпленне больш характэрнае для прыватнай

забудовы, і тым, што большасць гаспадароў дамоў з мясцовым ацяпленнем карыстаюцца газавымі катламі, якія могуць паўплываць на колькасць радону ў паветры жылых памяшканняў.



Малюнак 3.— Медыячныя значэнні Слуцку і Лучнікаў



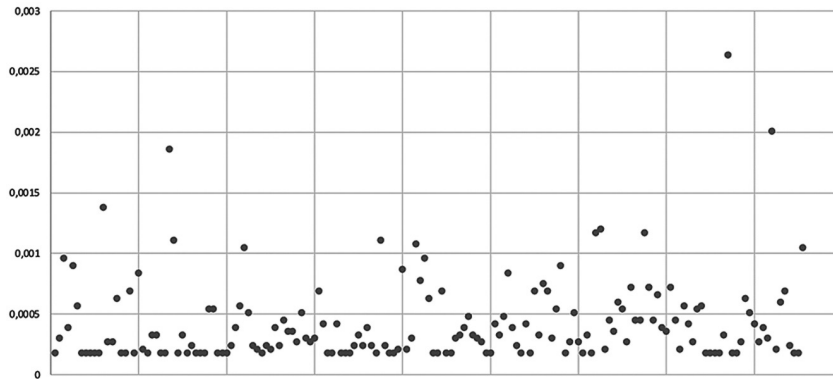
Малюнак 4.— Медыячныя значэнні доз за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў

Не было знойдзена карэляцыі паміж колькасцю радону ў паветры жылых памяшканняў і тыпам водазабеспячэння, наяўнасцю вентыляцыйных адтулін, матэрыялам сцен. Аднак былі знойдзены статыстычна дакладныя адрозненні паміж дозамі за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў з драўлянай (сярэдняе значэнне $2,99 \pm 1,35$ мЗв/год) і бетоннай падлогай ($1,83 \pm 0,92$ мЗв/год). Гэта можна абгрунтаваць тым, што драўляная падлога танчэйшая за бетонную і змяшчае больш адтулін, таму і лягчэй прапускае радон з падмурку. Акрамя таго, як ужо было сказана вышэй, драўляная падлога больш характэрная для прыватнай забудовы, дзе доза радону вышэйшая.

З-за таго, што большая колькасць адрозненняў у дозах была заўважана па параметрах, звязаных з тыпам будынка, мы зрабілі параўнанне доз за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў у прыватных і шматкватэрных дамах. У паветры прыватных жылых памяшканняў сярэдняе значэнне дозы статыстычна дакладна ($p < 0,05$) вышэйшае ($2,32 \pm 1,36$ мЗв/год) за дозу ў пакоях шматкватэрнай забудовы ($1,70 \pm 0,74$). На падставе гэтай інфармацыі мы лічым, што тып жылога памяшкання адгрывае вырашальную ролю ў фарміраванні дозы ад радону ў паветры жылых памяшканняў.

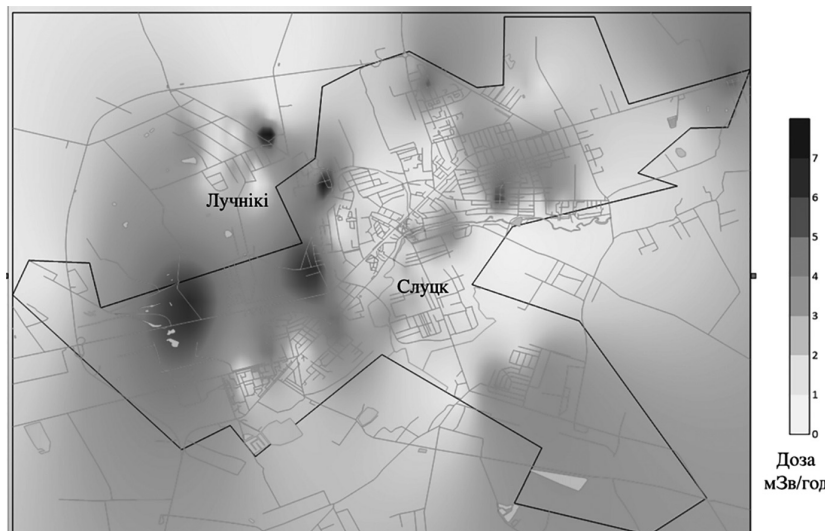
Рызыкі ад радону ў паветры жылых памяшканняў разлічылі згодна з рэкамендацыямі Сусветнай арганізацыі аховы здароўя [10]. Паводле іх публікацыі, рызыкі для асоб, якія ніколі не курылі, звязаныя з радонам у паветры жылых памяшканняў, складаюць $0,6 \times 10^{-5}$ на кожны Бк/м³. Анкалагічныя рызыкі склалі ад 0,00018 да 0,0026 (малюнак 5).

РЫЗЫКІ



Малюнак 5.— Рызыкі анкалагічных захворванняў за кошт радону

Апошнім этапам нашай працы стала пабудова карты доз, якія фарміруюцца за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў на тэрыторыі горада Слуцка і аграгарадка Лучнікі. На ёй таксама можна заўважыць некаторую перавагу з боку Лучнікаў (малюнак 6).



Малюнак 6.— Карта доз за кошт радону Слуцка і Лучнікаў

Заклучэнне. Дозы апраменьвання за кошт радону ў паветры жылых памяшканняў на тэрыторыі Слуцка і аграгарадка Лучнікі складаюць ад 0,9 да 5,9 мЗв/год. На нашу думку, на дозу ўплывае больш за ўсё тып жылога будынка: для прыватных дамоў з драўлянай падлогай і мясцовым ацяпленнем характэрная найвышэйшая прысутнасць радону. Мы не знайшлі істотнай розніцы паміж дозамі на тэрыторыях, дзе праходзіць геалагічны разлом, і там, дзе яго няма. Анкалагічныя рызыкі ад уплыву радону склалі ад 0,00018 да 0,0026.

Літаратура

1. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы [Электронны рэсурс]: утв. Указом Президента Республики Беларусь 29.07.2021 № 292. — Рэжым доступу: <https://pravo.by/document/?guid=3871&pO=P32100292>. — Дата доступу: 15.10.2021.
2. Рак [Электронны рэсурс]: Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения. — Рэжым доступу: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cancer>. — Дата доступу: 17.05.2021.
3. Lung cancer risk and do-it-yourself activities. A neglected risk factor for lung cancer / Lorenzo-González M. [et al.] // Environ. Res. — 2019. — Vol. 179, Pt. B. — Art. 108812.

4. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. Мн. 1808–2002. — Минск, 2002. — 18 с.

5. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий: метод. указания МУК РБ 11–8–6–2002: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 05.08.02. — Минск, 2002. — 22 с.

6. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: инструкция 2.6.1.10–12–22–2006: утв. постановлением Гл. гос. санитар. врача Респ. Беларусь 17 окт. 2006 г. № 123 // Радиационная гигиена: сб. норм. док. — Вып. 1. — Минск, 2008. — С. 68–81.

7. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes [Electronic resource]. — Vol. 2: Scientific annexes C, D, E. — Mode of access: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_2.html. — Date of access: 17.05.2021.

8. *Матвеев, А. В.* Радон в геологических комплексах Беларуси / А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М. И. Автушко. — Минск, 2017. — 136 с.

9. *Матвеев, А. В.* Районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов / А. В. Матвеев // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. — 2016. — Т. 60, № 5. — С. 108–112.

10. Руководство ВОЗ по качеству воздуха в помещениях: избранные загрязняющие вещества [Электронный ресурс]. — Рэжим доступу: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/132957/e94535_exsumR.pdf. — Дата доступу: 17.05.2021.

Sosnovskiy A. V., Avetisov A. R., Zhuk I. V.¹, Abduhalimovich H. D.¹, Kuchko P. V.², Ignatovich S. A.²

RADON IN THE AIR OF RESIDENTIAL PREMISES: RADIATION DOSES TO THE POPULATION OF SLUTSK AND LUCHNIKI

Education institution «Belarusian State Medical University» Minsk, Belarus,

*¹State Scientific Institution «Joint Institute for Energy and Nuclear Research — Sosny»,
Minsk, Belarus,*

²Health care institution «Slutsk Zonal Center of Hygiene and Epidemiology», Slutsk, Belarus

This article provides information on radon levels in residential air. 126 different points in the city of Slutsk, its environs and the agro-town of Luchniki were selected for the study. The study was conducted in the winter period in 2020 and 2021. The doses formed at the expense of radon in air of premises and products of its disintegration on the population of the city of Slutsk and an agro-town of Luchniki were calculated. These doses ranged from 0.9 to 5.9 mSv/year. The average value is 2.1 mSv/year, the median is 1.7 mSv/year. On the basis of the received doses oncological risks for the population were calculated. Cancer risks from radon exposure ranged from 0.00018 to 0.0026. In our opinion, the dose will be most affected by the type of residential building: in private homes with wooden floors and local heating, the dose was the largest. We did not find a significant difference between doses in areas where there is a geological fault and where there is none. The results of the study were plotted on maps.

Keywords: radon, radiation dose, cancer risk.

References

1. Belarus Today: Main provisions of the draft program of socio-economic development of the Republic of Belarus for 2021–2025. Available at: <https://www.sb.by/articles/osnovnye-polozheniya-proekta-programmy-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-respubliki-belarus-na-202.html> (accessed 17 May 2021).

2. World Health Organization: Cancer. Newsletters; 2021. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cancer> (accessed 17 May 2021).

3. *Lorenzo-Gonzalez M., Ruano-Ravina A., Torres-Duran M.* [et al.]. Lung cancer risk and do-it-yourself activities. A neglected risk factor for lung cancer. *Environ Res.*, 2019. Vol. 179.

4. Measurement procedure 1808–2002. Method for determining the volumetric activity of radon in the air of residential and industrial premises using integral radonometers based on solid-state track detectors of alpha particles. Minsk, 2002. (in Russian)
5. Guidelines 11–8–6–2002. Radiation-hygienic examination of residential and public buildings. Minsk; 2007. (in Russian)
6. Instruction 2.6.1 Instructions for assessing individual exposure doses to the population due to natural sources of ionizing radiation. Minsk; 2006. (in Russian)
7. United nations scientific committee on the effects of atomic radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes. Available at: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_2.html (accessed 17 May 2021).
8. *Matveev A.V., Karabanov A.K., Avtushko M.I.* Radon in geological complexes of Belarus. Minsk, 2017.
9. *Matveev A. V.* Zoning of the territory of Belarus according to the degree of radon hazard of soils. Report of the National Academy of Sciences of Belarus, 2016. P. 108–112.
10. World health organization: WHO Indoor Air Quality Guidelines: Selected Pollutants. Available at: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/132957/e94535_exsumR.pdf (accessed 17 May 2021).
e-mail для переписки: sosnovskiy_franc@mail.ru

Поступила 03.11.2021

Раздел III

ГИГИЕНА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

УДК 613.955+373

Карпович Н. В., Грекова Н. А., Полянская Ю. Н., Итпаева-Людчик С. Л., Пронина Т. Н.

АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ ШКОЛЬНИКОВ И РАЗМЕРЫ УЧЕНИЧЕСКОЙ МЕБЕЛИ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В статье представлены результаты анализа антропометрических показателей учащихся младших классов и параметров организации ученических рабочих мест в школе. В исследовании приняли участие 1 125 учащихся I ступени обучения учреждений общего среднего образования Республики Беларусь (573 мальчика и 552 девочки). Программа исследования включала измерение 7 показателей: длина тела, высота подколенной ямки, высота локтя над сиденьем, высота нижнего угла лопатки над сиденьем, толщина бедра в положении сидя, ширина бедер в положении сидя, ягодично-подколенное расстояние. В значительной доле случаев выявлено несоответствие функциональных размеров мебели антропометрическим показателям современных школьников.

Ключевые слова: дети младшего школьного возраста, антропометрические показатели, размеры ученической мебели.

Введение. Получение образования является важной неотъемлемой частью жизни детей и подростков, при этом условия организации образовательного процесса оказывают существенное влияние на состояние здоровья учащихся. Процесс школьного обучения традиционно связан с практически ежедневным длительным нахождением в позе сидя в учреждении образования и дома при выполнении домашних учебных заданий. Вопрос рациональной организации рабочего места школьника является традиционным для гигиены детей и подростков и сохраняет актуальность в связи с регулярным и длительным воздействием факторов, связанных с параметрами организации ученических рабочих мест. Особого внимания заслуживает организация рабочих мест в начальных классах, так как младший школьный возраст является периодом формирования стереотипа рабочей позы сидя, а также в связи с имеющимися анатомо-функциональными предпосылками возникновения нарушений осанки и зрения у детей данного возраста [1].

Рациональная организация рабочего места ученика предполагает создание условий для поддержания оптимальной рабочей позы. Оптимальной позой сидя считается такое положение тела, когда корпус расположен вертикально, поясничный изгиб опирается на спинку сиденья, ноги согнуты в коленном и тазобедренном суставах под прямыми углами, ступни опираются на пол, предплечья и кисти рук свободно располагаются на поверхности стола. Только мебель, соответствующая размерам тела ребенка, обеспечивает условия для длительного поддержания такой позы.

В настоящее время ученическая мебель в учреждениях образования подбирается в зависимости от роста учащегося, в соответствии с ростовой шкалой, включающей семь ростовых групп с шагом 15 сантиметров. Функциональные размеры школьной мебели различных ростовых групп регламентируются межгосударственными стандартами (ГОСТ 11015–93 (ИСО 5970–79) «Столы ученические. Типы и функциональные размеры»; ГОСТ 11016–93 (ИСО 5970–79) «Стулья ученические. Типы и функциональные размеры»; ГОСТ 5994–93 (ИСО 5970–79) «Парты. Типы и функциональные размеры»).

Обращает на себя внимание, что использование мебели, подобранной в соответствии с ростовой шкалой, во многих случаях не обеспечивает сохранение правильной рабочей позы школьниками. По результатам анкетирования выявлена достаточно высокая распространенность среди

учащихся 3–4 классов жалоб на неудобство рабочего места, а также на утомляемость, боли в области спины и шеи [2].

Вероятно, одной из причин являются изменения в физическом развитии детей и подростков (увеличение роста, изменение пропорций), произошедшие за 50 лет с момента разработки ростовой шкалы. Высокая чувствительность детского организма к влиянию социально-экономических, экологических и других факторов диктует необходимость пересмотра региональных стандартов физического развития и требований к функциональным размерам ученической мебели не реже одного раза в 10–15 лет [3, 4]. По зарубежным данным, имеет место увеличение роста детей в течение последних 100–150 лет. В среднем длина тела 5–7-летних детей увеличивалась примерно на 1–2 см за десятилетие, 10–14-летних — на 2–3 см. Направленность изменений в большинстве стран совпадает, однако величина и темпы различны [5, 6].

Отечественные исследователи отмечают изменения антропометрических показателей детей и подростков Беларуси и их секулярную динамику. Выявлено увеличение длины и массы тела, окружности грудной клетки у детей и подростков XXI в. в сравнении с их сверстниками, обследованными во второй половине XX в. Сравнительный анализ данных, полученных в результате обследования городских школьников Беларуси в период с 1925 по 2012 г., выявил более высокие значения показателей длины и массы тела, окружности грудной клетки у школьников, обследованных в 2010–2012 гг., что свидетельствует о наличии процесса акселерации у городских школьников Беларуси в начале XXI в. Средний показатель длины тела одиннадцатилетних мальчиков был на 14,6 см больше в сравнении с аналогичным показателем 1925 г. и на 5,28 см — в сравнении с показателем 1989–1997 гг. [7].

Поскольку изменения антропометрических параметров закономерно сопровождаются изменениями пропорций, значимых для определения функциональных размеров мебели, анализ современных данных подробной антропометрии белорусских школьников является актуальной задачей.

Цель работы — оценить соответствие антропометрических показателей современных учащихся младших классов и нормируемых функциональных размеров ученической мебели.

Материалы и методы. Исследования выполнены в рамках научно-исследовательской работы «Научно обосновать и разработать метод гигиенической оценки соответствия ученической мебели физическому развитию младших школьников в современных условиях» (задание 01.09. подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг»). В исследовании приняли участие 1 125 учащихся I ступени обучения учреждений общего среднего образования Республики Беларусь (573 мальчика и 552 девочки). Возраст на момент выполнения измерений составлял от 6 до 10 лет, средний возраст — 7,9 ($\pm 1,2$) года. От законных представителей учащихся было получено информированное согласие на участие в исследовании. Антропометрические измерения выполнены с помощью лазерного антропометра «КАФА-лазер». Программа исследования включала измерение следующих показателей: длина тела, высота подколенной ямки, высота локтя над сиденьем, высота нижнего угла лопатки над сиденьем, толщина бедра в положении сидя, ширина бедер в положении сидя, ягодично-подколенное расстояние.

Показатель длины тела в настоящее время является определяющим при подборе ученической мебели в соответствии со Специфическими санитарно-эпидемиологическими требованиями к содержанию и эксплуатации учреждений образования, утвержденными постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 07.08.2019 № 525. Значение показателя «высота подколенной ямки» определяет необходимую высоту сиденья, «ягодично-подколенное расстояние» — глубину сиденья, «высота нижнего угла лопатки» — высоту верхнего края спинки, «ширина бедер в положении сидя» — ширину сиденья, «высота локтя над сиденьем» и «толщина бедра в положении сидя» — дифференцию мебели.

Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием «STATISTICA» (StatSoft Inc., США).

Результаты и их обсуждение. В результате выполненных измерений установлено распределение обследованных младших школьников по ростовым группам (таблица 1). Рост обследованных учащихся находился в диапазоне от 110,0 см до 173,5 см. Большинство учащихся (89,8 %) относились к ростовым группам № 2 и № 3. В связи с недостаточным объемом выборки для ростовых групп № 1, № 4 и № 5 дальнейший анализ результатов измерений данных групп не проводился.

Таблица 1.— Распределение учащихся по ростовым группам в соответствии с ростовой шкалой

Ростовые группы (длина тела, см)									
№ 1 (от 100 до 115)		№ 2 (от 115 до 130)		№ 3 (от 130 до 145)		№ 4 (от 145 до 160)		№ 5 (от 160 до 175)	
Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
14	1,2	405	36,0	605	53,8	98	8,7	3	0,3

Результаты антропометрических измерений учащихся ростовой группы № 2 представлены в таблице 2. При анализе коэффициентов корреляции Пирсона между ростом и другими антропометрическими показателями учащихся данной ростовой группы установлены положительные связи различной силы: средняя — с показателями «высота подколенной ямки» ($r = 0,69$), «ягодично-подколенное расстояние» ($r = 0,59$); умеренная — с показателями «высота нижнего угла лопатки над сиденьем» ($r = 0,47$), «толщина бедра в положении сидя» ($r = 0,32$); слабая — с показателями «ширина бедер в положении сидя» ($r = 0,25$) и «высота локтя над сиденьем» ($r = 0,24$).

Таблица 2.— Антропометрические показатели ростовой группы № 2, см

Показатель	Среднее значение	Стандартное отклонение	Центили		
			5	50	95
Длина тела	124,4	4,0	116,9	125,2	129,6
Высота подколенной ямки	32,2	1,4	29,9	32,2	34,4
Ягодично-подколенное расстояние	34,5	2,1	31,3	34,3	38,1
Высота нижнего угла лопатки над сиденьем	31,5	2,0	28,3	31,5	34,2
Высота локтя над сиденьем	16,1	2,0	12,7	16,1	19,5
Толщина бедра в положении сидя	8,9	1,2	7,1	8,8	11,0
Ширина бедер в положении сидя	26,3	2,0	23,4	26,0	30,2

Результаты антропометрических измерений учащихся ростовой группы № 3 представлены в таблице 3. При анализе коэффициентов корреляции Пирсона между ростом и другими антропометрическими показателями учащихся данной ростовой группы установлены положительные связи различной силы: средняя — с показателями «высота подколенной ямки» ($r = 0,69$), «ягодично-подколенное расстояние» ($r = 0,65$); умеренная — с показателями «толщина бедра в положении сидя» ($r = 0,43$), «высота нижнего угла лопатки над сиденьем» ($r = 0,40$); слабая — с показателем «ширина бедер в положении сидя» ($r = 0,29$); очень слабая — с показателем «высота локтя над сиденьем» ($r = 0,17$).

Таблица 3.— Антропометрические показатели школьников ростовой группы № 3, см

Показатель	Среднее значение	Стандартное отклонение	Центили		
			5	50	95
Длина тела	136,7	4,0	130,5	136,6	143,4
Высота подколенной ямки	35,2	1,4	33,0	35,3	37,4
Ягодично-подколенное расстояние	38,7	2,5	34,4	38,7	42,8
Высота локтя над сиденьем	17,3	2,0	14,2	17,3	20,6
Высота нижнего угла лопатки над сиденьем	34,3	2,1	31,4	34,3	37,5
Толщина бедра в положении сидя	10,8	1,5	8,3	10,7	13,2
Ширина бедер в положении сидя	28,5	2,5	25,1	28,3	32,8

В обеих ростовых группах наблюдался существенный разброс показателей, определяющих функциональные размеры мебели. Не выявлено сильных линейных связей между длиной тела и другими антропометрическими показателями, что говорит о различиях в пропорциях между детьми одной ростовой группы. Необходимо отметить, что значения показателя «высота подколенной ямки» среди учащихся ростовой группы № 2 колебались от 28,2 см до 36,0 см, следовательно, для рацио-

нальной организации рабочих мест детей, относящихся к одной ростовой группе согласно принятой шкале, были необходимы сиденья трех различных размеров. Аналогичная картина наблюдалась среди учащихся ростовой группы № 3: значения показателя «высота подколенной ямки» составляли от 30,4 см до 40,5 см.

Соответствие высоты сиденья высоте подколенной ямки является одним из наиболее важных критериев, который позволяет учащимся длительно поддерживать оптимальную позу во время выполнения учебных заданий. Дополнительная опора на расположенные на полу стопы обеспечивает стабильность позы и осанки, снижает нагрузку на ягодичную область и заднюю поверхность бедер. Должная высота сиденья в сантиметрах определялась в соответствии с формулой (1), включающей коэффициент 2,5 см для учета обуви (Gouvali and Boudolos, 2006):

$$(ВП + 2,5) \times \cos 30 \leq ВС \leq (ВП + 2,5) \times \cos 5, \quad (1)$$

где ВП — высота подколенной ямки;
 ВС — высота сиденья.

Необходимая ширина сиденья, позволяющая избежать ограничения подвижности и дискомфорта, определяется в соответствии со значением показателя «ширина бедер в положении сидя».

Дифференция мебели (расстояние по вертикали между высотой стола и сиденья) для комфорта рабочей позы должна быть не менее значения показателя «высота локтя над сиденьем» и не превышать его более чем на 6 см. Ограничением минимального значения дифференции также является наличие достаточного пространства для бедер учащегося (показатель «толщина бедра над сиденьем» с добавлением 2–3 см).

Высота верхнего края спинки не должна превышать значение показателя «высота нижнего угла лопатки».

Значение показателя «ягодично-подколенное расстояние» определяет необходимую глубину сиденья. При недостаточной глубине сиденья (менее $\frac{2}{3}$ «ягодично-подколенного расстояния») бедра не получают достаточной площади опоры, при избыточной глубине сиденья наблюдается компрессия в области подколенной ямки либо отсутствует возможность использовать спинку сиденья для поддержки в области поясницы.

Результаты оценки соответствия функциональных размеров мебели антропометрическим показателям современных школьников представлены в таблице 4. Обращает на себя внимание низкий уровень соответствия высоты сиденья показателю «высота подколенной ямки» в ростовой группе № 2 (45,7 %), дифференции мебели показателю «высота локтя над сиденьем» в ростовых группах № 3 (37,0 %) и № 2 (54,8 %). Ширина сиденья находилась в соответствии с показателем «ширина бедер в положении сидя» в двух третях случаев в обеих ростовых группах. Глубина сиденья и высота верхнего края спинки в большинстве случаев (96,5–100,0 %) соответствовали антропометрическим показателям учащихся ростовых групп № 2 и № 3.

Таблица 4.— Соответствие функциональных размеров мебели антропометрическим параметрам младших школьников, %

Ростовая группа	Высота сиденья / высота подколенной ямки	Ширина сиденья / ширина бедер в положении сидя	Дифференция мебели / высота локтя над сиденьем	Высота верхнего края спинки / высота нижнего угла лопатки	Глубина сиденья / ягодично-подколенное расстояние
№ 2	45,7	67,6	54,8	96,5	100
№ 3	73,5	63,8	37,0	97,5	98,8

Заключение. Таким образом, по результатам анализа подробных антропометрических измерений установлено, что рост не является универсальным критерием для определения размеров ученической мебели в связи с существенными различиями в пропорциях учащихся одной ростовой группы. В значительной доле случаев наблюдается несоответствие функциональных размеров мебели действующей ростовой шкалы антропометрическим показателям современных школьников, что затрудняет поддержание оптимальной позы, является фактором риска развития нарушений осанки и зрения и позволяет сделать вывод о том, что подходы к организации рабочих мест учащихся в учреждениях образования требуют актуализации.

Литература

1. Мирская, Н. Б. Факторы риска, негативно влияющие на формирование костно-мышечной системы детей и подростков в современных условиях / Н. Б. Мирская // Гигиена и санитария. — 2013. — Т. 92, № 1. — С. 65–71.
2. Организация рабочих мест учащихся как гигиенический фактор внутришкольной среды / Н. В. Карпович [и др.] // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.), Г. Е. Косяченко (зам. гл. ред.) [и др.]. — Минск: Изд. центр БГУ, 2020. — Вып. 30. — С. 86–91.
3. Мельник, В. А. Изменения морфологических показателей физического развития городских школьников / В. А. Мельник, Н. В. Козакевич // Гигиена и санитария. — 2016. — Т. 95, № 5. — С. 460–465.
4. Ученическая мебель: современный взгляд на функциональные размеры / П. И. Храмов [и др.] // Вопр. соврем. педиатрии. — 2009. — Т. 8, № 6. — С. 26–30.
5. Malina, R. M. Secular trends in growth, maturation and physical performance: A review / R. M. Malina // *Anthropological Review*. — 2004. — Vol. 67. — P. 3–31.
6. Година, Е. З. Секулярный тренд: история и перспективы / Е. З. Година // Физиология человека. — 2009. — Т. 35, № 6. — С. 128–135.
7. Козакевич, Н. В. Сравнительная характеристика соматометрических показателей городских школьников Беларуси 8–16 лет, обследованных в период с 1925 по 2010–2012 гг. / Н. В. Козакевич, В. А. Мельник // Проблемы здоровья и экологии. — 2020. — № 1 (63). — С. 81–87.

Karpovich N. V., Grekova N. A., Polyanskaya Y. N., Itpayeva-Liudchyk S. L., Pronina T. N.

ANTHROPOMETRIC DATA OF MODERN STUDENTS AND DIMENSIONS OF SCHOOL FURNITURE

Republican unitary enterprise «Scientific and practical center for hygiene», Minsk, Belarus

The article presents the results of the analysis of the anthropometric data of primary school children and the parameters of the organization of student places in the school. The study has involved 1 125 students of the primary school children of secondary education of the Republic of Belarus (573 boys and 552 girls). The research program included measuring of 7 parameters: body length, popliteal height, elbow height above the seat, subscapular height, thigh thickness, hip width, buttock-popliteal length. In a significant proportion of cases, a discrepancy between the functional dimensions of furniture and the anthropometric indicators of schoolchildren was revealed.

Keywords: primary school children, anthropometric data, dimensions of school furniture.

References

1. Mirskaya N. B. Risk factors negatively affecting on the formation of musculoskeletal system in children and adolescents in the present conditions. *Gigiena i Sanitariya [Hygiene and Sanitation]*. 2013; 92(1): 65–71. (in Russian)
2. Karpovich N. V., Grekova N. A., Polyanskaya Y. N., Itpayeva-Liudchyk S. L. Organization of students workplaces as a hygienic factor of the in-school environment. In: *Sychik S. I.*, chief ed. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Health and environment]*: Collection of scientific papers of the Scientific Practical Centre of Hygiene. Iss. 30. Minsk; 2020: 86–91. (in Russian)
3. Melnik V. A., Kozakevich N. V. Changes in morphologic indices of physical development of urban schoolchildren. *Gigiena i Sanitariya [Hygiene and Sanitation]*. 2016; 95(5): 460–5. (in Russian)
4. Khramtsov P. I., Strokina A. N., Moldovanov V. V., Sotnikova Ye. N. School furniture: modern approach to the functional sizes. *Voprosy Sovremennoi Pediatrii [Current Pediatrics]*. 2009; 8(6): 26–30. (in Russian)
5. Malina R. M. Secular trends in growth, maturation and physical performance: A review. *Anthropological Review*. 2004; 67: 3–31.
6. Godina E. Z. The secular trend: history and prospects. *Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]*. 2009; 35(6): 770–6. (in Russian)
7. Kozakevich N. V., Melnik V. A. Comparative characteristics of the somatometric parameters of city school children of Belarus aged 8–16 examined in the period from 1925 to 2010–2012. *Problemy zdorov'ya i ekologii [Health and Ecology Issues]*. 2020; 1(63): 81–7. (in Russian)

Поступила 11.11.2021

Раздел IV

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

УДК 547.458.5+637.144.5+613.2

*Головач Т. Н., Курченко В. П., Романович Р. В., Бондаренко М. П.,
Цыганков В. Г.¹, Бондарук А. М.¹*

КОМПЛЕКСЫ ОЛИГОХИТОЗАНА И СУКЦИНИЛИРОВАННОГО ХИТОЗАНА С ТРИПТОФАНОМ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
¹Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Биокомпозиты хитозана и его производных с протеиногенными аминокислотами представляют собой перспективный функциональный компонент для специализированных пищевых продуктов.

Получены комплексы олигохитозана (далее — ОХТ) и сукцинилированного хитозана (далее — СХТ) с триптофаном (далее — Трп). Для удаления свободной аминокислоты из растворов биокомпозитов использовали диализ. По данным спектрофотометрических исследований, в водном растворе, содержащем 0,1 % ОХТ / СХТ и 0,05 % триптофана, достигается связывание до 94/56 % аминокислоты. Установлено снижение горечи триптофана в результате комплексообразования с полисахаридами. В условиях эксперимента эффективное связывание триптофана с ОХТ обусловлено относительно высоким содержанием протонированных аминогрупп, наиболее активно взаимодействующих с отрицательно заряженными группами аминокислот.

Ключевые слова: олигохитозан, сукцинилированный хитозан, триптофан, биокомпозиты.

Введение. В настоящее время пищевая аллергия и непереносимость белков пищи у детей занимают значительную долю алиментарно-ассоциированных патологических состояний. Соответственно и у взрослых подобные состояния встречаются все чаще [1–3]. Разработка специализированной пищевой продукции для энтерального питания больных также приобретает все большую актуальность. В целом создание специализированных пищевых продуктов с гипоаллергенными свойствами на основе легкоусвояемого и обладающего удовлетворительными органолептическими свойствами полноценного белка является перспективным направлением пищевой промышленности [4]. Для достижения этих целей применяют ферментативные гидролизаты пищевых белков с различной степенью гидролиза, полученные с использованием широкого спектра ферментных препаратов. Чем интенсивнее ферментативный гидролиз белков молока и чем меньше по молекулярной массе фрагменты белка, тем менее выраженной становится их аллергенность. При уменьшении молекулярной массы пептидной фракции до 3 кДа и менее ее аллергенные свойства не проявляются [5]. Однако гидролизаты белков молока с глубокой степенью гидролиза, содержащие короткоцепочечные пептиды и свободные аминокислоты, отличаются выраженной горечью, что ограничивает их применение в качестве компонента гипоаллергенных пищевых продуктов [6]. Снижения горечи протеиногенных аминокислот (триптофан) и пептидов планируется достичь путем получения биокомпозитов с хитозаном (далее — ХТ) и его производными. Аминополисахарид ХТ является перспективным комплексообразователем для широкого спектра органических веществ. При значениях pH < 6,5 хитозан представляет собой катионный водорастворимый полиэлектролит, что определяется протонированием многочисленных свободных аминогрупп [7]. Химическая природа ХТ обуславливает возможность формирования ионных, водородных и гидрофобных связей. Аминополисахарид отличается высокой адсорбционной способностью и биосовместимостью, обладает низкой токсичностью [8, 9]. Основным ограничением использования ХТ в пищевой и фар-

мацевтической области является его относительно низкая растворимость при физиологических условиях среды. Моделирование физико-химических свойств ХТ достигается за счет деполимеризации (олигохитозан) и получения ряда производных. Сукцинилированная форма отличается высокой растворимостью при значениях рН < 4,5 и > 7,0 [10–12]. По данным молекулярного моделирования [13], наиболее вероятным является электростатическое взаимодействие между аминогруппой хитозана и карбоксильной группой аминокислоты (рисунок 1).

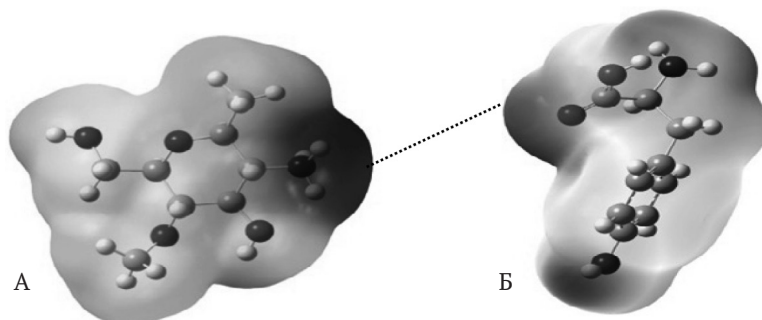


Рисунок 1.— Изо-поверхностная диаграмма мономера хитозана (А) и аминокислоты (Б, на примере тирозина) [13]. Прерывистой линией отмечена водородная связь

Актуальность настоящего исследования связана с получением биологически активных комплексов хитозана и его производных с протеиногенными аминокислотами, которые могут быть использованы в качестве функциональных компонентов для пищевых продуктов.

Цель работы: оптимизация условий комплексообразования олигохитозана и сукцинилированного хитозана с триптофаном.

Материалы и методы. В экспериментальной работе использовали олигохитозан (ОХТ, 100 кДа, степень деацетилирования — 90 %) и сукцинилированный хитозан (СХТ, 200 кДа, степень замещения — 75,1 %) производства ЗАО «Биопрогресс» (Россия), L-триптофан (204,23 Да, содержание аминокислоты ≥ 99 %) производства «Sigma-Aldrich» (США).

Готовили водные растворы 0,1 % хитозана (ОХТ / СХТ) и 0,55 % триптофана. В эксперименте раствор ОХТ / СХТ титровали раствором аминокислоты в диапазоне концентраций 0,002–0,055 %. После каждой добавленной порции аминокислоты определяли активную кислотность и оптическую плотность растворов. Измерения активной кислотности проводили на приборе HANNA HI 83141 («Hanna Instruments», Германия). Оптическую плотность (далее — ОП) образцов оценивали на спектрофотометре Metertech UV/VIS SP-8001 («Metertech», Тайвань) при длине волны 640 нм. Для получения комплексов готовили водные растворы, содержащие 0,1 % хитозана (ОХТ / СХТ) и 0,05 % триптофана. Растворы ОХТ — Трп и СХТ — Трп инкубировали в течение 60 мин при комнатной температуре и постоянном перемешивании (200 об/мин), определяли рН и оптическую плотность образцов биокомпозитов. С целью определения количества несвязанного триптофана проводили диализ растворов комплексов с применением диализной трубчатой целлюлозной мембраны (пропускающая способность 14 кДа; «Sigma-Aldrich», США) в течение 4 ч.

Содержание триптофана в диализате устанавливали с использованием спектрофотометрических подходов. Оценивали оптическую плотность растворов биокомпозитов и диализатов в УФ-области спектра при максимуме поглощения триптофана (λ_{280}). Получали уравнение зависимости $ОП_{280}$ от концентрации триптофана (0,1–1,6 мг %).

Калибровочный коэффициент определяли как соотношение концентрации тирозина (мг %) к соответствующей $ОП_{280}$. По калибровочному графику рассчитывали содержание триптофана в растворах комплексов и соответствующих диализатах. При использовании колориметрического метода определяли поглощение опытных и калибровочных образцов при λ_{620} после взаимодействия с реактивом Фолина—Чокалтеу («Sigma-Aldrich», США).

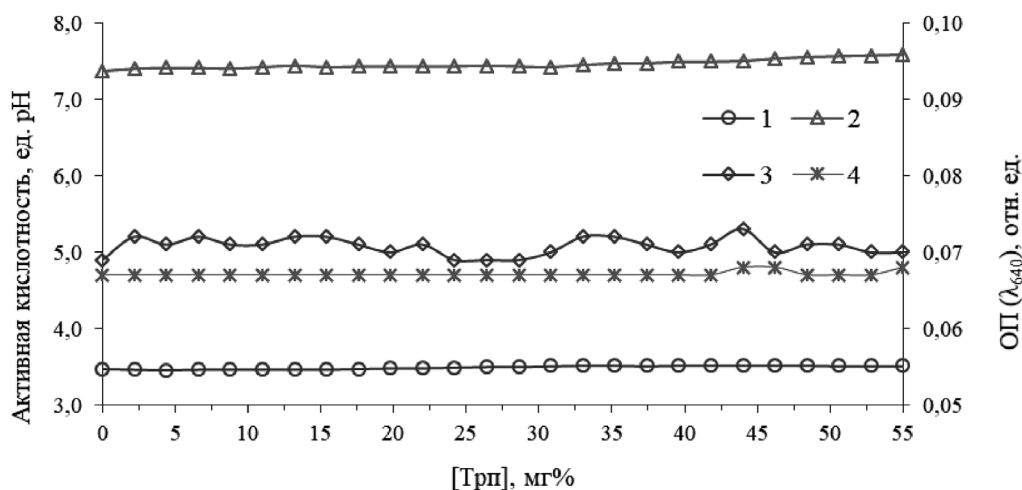
К 0,2 мл изучаемых образцов добавляли 1,0 мл 0,5 М раствора NaOH, встряхивали и вносили 0,24 мл реактива Фолина—Чокалтеу, инкубировали при комнатной температуре в отсутствие света в течение 20 мин, определяли интенсивность образовавшегося синего окрашивания. Получали уравнение зависимости $ОП_{620}$ от концентрации триптофана (0,1–10 мг %) в калибровочных растворах. Согласно полученному калибровочному графику определяли концентрацию триптофана в опытных

пробах (растворы комплексов и их диализаты). Результаты независимых экспериментов представлены как среднее арифметическое значение \pm доверительный интервал.

Оценивали органолептические свойства контрольных образцов (Трп, ОХТ и СХТ) и биокомпози- тов (ОХТ — Трп и СХТ — Трп). Уровень горечи определяли с использованием калибровочных рас- творов, содержащих 0,55, 0,05 и 0,01 % Трп. Для описания органолептических свойств применяли следующие формулировки, соответствующие возрастанию уровня горечи: отсутствие горечи, очень слабый горький вкус, слабый горький вкус и выраженный горький вкус.

Результаты и их обсуждение. Изучены основные физико-химические показатели среды при взаимодействии олигохитозана / сукцинированного хитозана (0,1 %) и триптофана (0,002–0,055 %) с применением методов рН-метрии и спектрофотометрии, что отражено на рисунке 2. Согласно экспериментальным данным не установлено изменение активной кислотности среды и оптической плотности (λ_{640}) растворов при смешивании производных хитозана (ОХТ и СХТ) с триптофаном.

Так, посредством сил электростатического взаимодействия возможно связывание триптофана с катионным полисахаридом [13, 14], вместе с тем не выявлено изменение активной кислотности и образование видимого коагулята, характерного для биокомпозитов хитозана с макромолекуляр- ными соединениями (белки молока, пептиды). Помимо этого, не удалось получить комплексы ОХТ — Трп и СХТ — Трп путем их осаждения центрифугированием, что ранее было успешно применено для отделения биокомпозитов хитозана с белками молока [15–17].



1 — рН раствора ОХТ — Трп; 2 — рН раствора СХТ — Трп;
3 — ОП раствора ОХТ — Трп; 4 — ОП раствора СХТ — Трп

Рисунок 2. — Зависимость активной кислотности и оптической плотности раствора ОХТ/СХТ (100 мг %) от концентрации триптофана (2–55 мг %)

На следующем этапе получены опытные образцы комплексов олигохитозана и сукциниро- ванного хитозана с триптофаном при массовом соотношении хитозан : аминокислота, равном 2 : 1. В расчете на содержание аминогрупп (NH_2) в структуре глюкозамина (мономер ОХТ) молярное соотношение NH_2^- : Трп составило 2 : 1. В эксперименте с сукцинированной формой хитозана мо- лярное соотношение NH_2^- : Трп составило 0,25 : 1, тогда как молярное соотношение сукцинилглюко- замин : Трп достигало 1,3 : 1.

Для удаления свободного триптофана из растворов биокомпозитов ОХТ — Трп и СХТ — Трп использовали диализ. Впоследствии оценено количество триптофана, связанного с полисахаридами (ОХТ и СХТ), с применением спектрофотометрических подходов. Построены калибровочные графики (рисунки 3 и 4) для расчета содержания ароматической аминокислоты в экспериментальных об- разцах. Калибровочные коэффициенты (k) для триптофана при длинах волн 280/620 нм составили 3,2/20, тогда как для образцов ОХТ и СХТ — 384,6/250 и 357,1/1000 соответственно, что указывает на незначительное поглощение хитозанов при заданных значениях длин волн (λ_{280} и λ_{620}).

Согласно полученным уравнениям определено количество триптофана в растворах комплексов и соответствующих диализатах, на основании чего рассчитано содержание свободной и связанной аминокислоты в составе биокомпозитов ОХТ — Трп и СХТ — Трп.

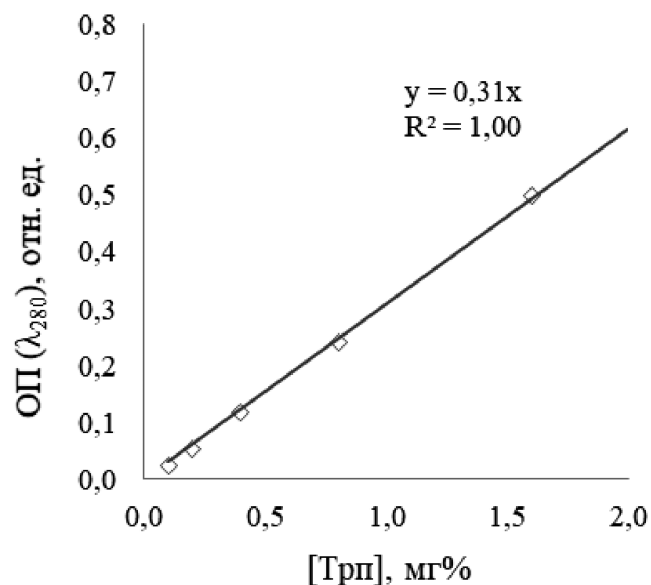


Рисунок 3.— Зависимость интенсивности поглощения образцов при 280 нм от концентрации триптофана

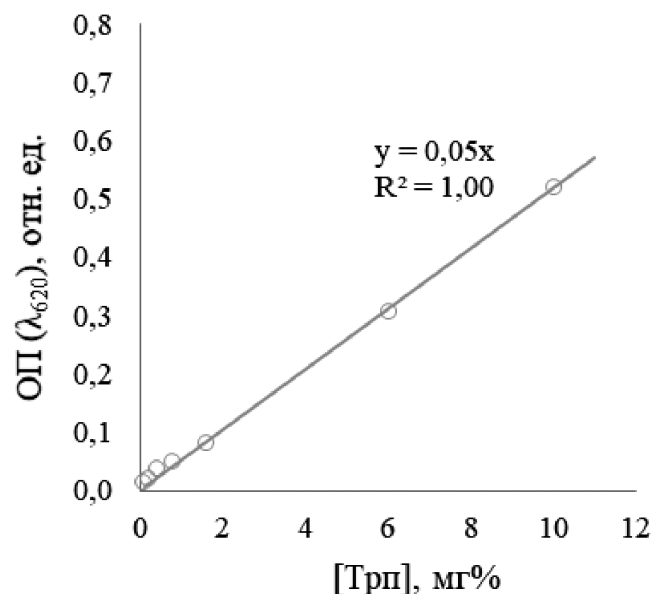


Рисунок 4.— Зависимость интенсивности окрашивания образцов при 620 нм от концентрации триптофана

В частности, количество свободного триптофана соответствовало его содержанию в диализной жидкости с учетом степени разведения в процессе диализа. Содержание связанной аминокислоты рассчитано путем вычитания расчетного количества свободного триптофана от исходного количества (50 мг %), использованного при приготовлении растворов комплексов ОХТ — Трп и СХТ — Трп, как указано в разделе «Методика». Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 1. По итогам анализа комплексов ОХТ — Трп и СХТ — Трп сопоставимые данные получены при использовании как спектрофотометрического, так и колориметрического методов (таблица 1).

Следует отметить, что количество определенного триптофана в составе комплексов ниже внешнего значения (50 мг %), что обусловлено взаимодействием аминокислоты с полисахаридами и соответственно экранированием аминокислотного радикала. Это приводит к снижению поглоще-

ния в УФ-области спектра и уменьшению интенсивности окрашивания в реакции Фолина — Чокалтеу.

В растворе ОХТ — Трп полисахарид в количестве 100 мг % связывает (46,0 ± 0,1) / (47,0 ± 0,3) мг % триптофана (измерения при $\lambda_{280}/\lambda_{620}$).

Таблица 1. — Содержание триптофана в экспериментальных образцах

Наименование образца	Содержание триптофана, мг %	
	по данным спектрофотометрического метода (λ_{280})	по данным колориметрического метода (λ_{620})
Контрольный образец Трп	50,0	50,0
Комплекс ОХТ — Трп	37,1 ± 3,4	40,0 ± 3,7
ОХТ — Трп свободный	4,0 ± 0,1	3,0 ± 0,3
ОХТ — Трп связанный	46,0 ± 0,1	47,0 ± 0,3
Комплекс СХТ — Трп	44,1 ± 5,4	45,2 ± 3,6
СХТ — Трп свободный	22,2 ± 0,3	27,2 ± 2,6
СХТ — Трп связанный	27,8 ± 0,3	22,8 ± 2,6

Так, наблюдается практически полное взаимодействие внесенной аминокислоты (до 94 %) с олигохитозаном. Напротив, в эксперименте с сукцинированным производным лишь (27,8 ± 0,3) / (22,8 ± 2,6) мг % триптофана не удаляются в результате диализа (измерения при $\lambda_{280}/\lambda_{620}$). Полученные данные указывают на связывание до 56 % аминокислоты. В условиях проведенного эксперимента эффективность комплексообразования триптофана с ОХТ в 1,7 раза выше, чем СХТ.

В соответствии с расчетным молярным соотношением NH_2 : Трп (0,25 : 1) в смеси для получения биокомпозита СХТ — Трп, связывание 0,05 % Трп ожидается при четырехкратном превышении количества вносимого полисахарида (0,2 %). Согласно экспериментальным данным оптимальное массовое соотношение СХТ : Трп для получения комплексов составляет 4 : 1, что соответствует расчетному содержанию NH_2 групп в сукцинированной форме. Наряду с этим расчетное молярное соотношение NH_2 : Трп в опытной смеси для получения комплекса ОХТ — Трп достигает 2 : 1. В эксперименте при массовом соотношении ОХТ : Трп, равном 2 : 1 (или 0,1 % : 0,05 %), наблюдается практически полное связывание аминокислоты, обусловленное двукратным превышением потенциальных сайтов взаимодействия ОХТ с Трп. В целом оптимальное массовое соотношение ОХТ : Трп для получения комплексов составляет 1 : 1, что согласно расчетному содержанию NH_2 групп обеспечит взаимодействие с эквимольным количеством аминокислоты.

Так как перспективным направлением является снижение специфического горького вкуса аминокислот в составе комплексов, оценивали органолептические свойства полученных биокомпозитов. Уровень горечи комплексов определяли относительно калибровочных растворов триптофана (0,01–0,55 %), что отражено в таблице 2.

Олигохитозан обладал слабо выраженной горечью, а также специфическим терпким вкусом, характерным и для сукцинированной формы. После взаимодействия Трп (0,05 %; слабый горький вкус) с ОХТ установлено улучшение органолептических свойств (очень слабый горький вкус). Однако горечь не выявлена при оценке биокомпозитов СХТ — Трп. В целом отмечено улучшение органолептических показателей триптофана в результате комплексообразования с олигохитозаном и сукцинированным хитозаном.

Таблица 2. — Органолептический анализ опытных образцов биокомпозитов

Наименование образца	Уровень горечи
Трп (0,55 %)	Умеренный горький вкус
Трп (0,05 %)	Слабый горький вкус
Трп (0,01 %)	Слабый горький вкус
ОХТ (0,1 %)	Слабый горький вкус
ОХТ (0,1 %) + Трп (0,05 %)	Очень слабый горький вкус
ОХТ (0,1 %) + Трп (0,01 %)	Слабый горький вкус

Наименование образца	Уровень горечи
СХТ (0,1 %)	Отсутствие горечи
СХТ (0,1 %) + Трп (0,05 %)	Отсутствие горечи
СХТ (0,1 %) + Трп (0,01 %)	Отсутствие горечи

Выводы. С применением предложенных методических подходов подтверждено образование биокомпозитов олигохитозана и сукцинированного хитозана с триптофаном. Согласно расчетным и экспериментальным данным, оптимальное массовое соотношение хитозан: аминокислота для получения комплексов ОХТ — Трп и СХТ — Трп составляет 1 : 1 и 4 : 1 соответственно.

Сукцинированный хитозан менее эффективно взаимодействует с триптофаном, так как у представленного производного функциональные NH_2 группы в составных звеньях находятся в связанном состоянии. По данным молекулярного моделирования [13] и итогам экспериментальной работы NH_2 группы аминополисахарида предпочтительно взаимодействуют с аминокислотами.

Проведенное органолептическое исследование выявило снижение специфического горького вкуса триптофана вплоть до его исчезновения в составе биокомпозитов с СХТ и ОХТ.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения биокомпозитов аминокислот с производными хитозана для создания новых специализированных пищевых продуктов.

В дальнейшем планируется экспериментальная работа по определению биологических активностей (антиоксидантного действия) комплексов хитозана и его производных с протеиногенными аминокислотами.

Литература

1. Пищевая аллергия и непереносимость пищевых продуктов / А. М. Ногаллер [и др.]. — М.: Медицина, 2008. — 336 с.
2. Prevalence and health outcomes of functional gastrointestinal symptoms in infants from birth to 12 months of age / Y. Vandenplas [et al.] // *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* — 2015. — Vol. 61, № 5. — P. 531–537.
3. Prevalence of functional gastrointestinal disorders in infants and toddlers / M. A. L. van Tilburg [et al.] // *J. Pediatr.* — 2015. — Vol. 166, № 3. — P. 684–689.
4. Балаболкин, И. И. Современная концепция патогенеза и принципы терапии аллергических заболеваний у детей / И. И. Балаболкин // *Педиатрия. Журн. им. Г. Н. Сперанского.* — 2003. — Т. 82, № 4. — С. 52–57.
5. Wahn, U. Environmental factors facilitating allergic sensitization and atopic manifestation in early childhood / U. Wahn // *Nutr. Res.* — 1998. — Vol. 18, № 8. — P. 1363–1371.
6. Sensory directed flavour analysis of off-flavour compounds in infant formula with deeply hydrolyzed milk protein and their possible sources / P. Yang [et al.] // *LWT — Food Sci. Technol.* — 2020. — Vol. 119. — Art. 108861.
7. Biological activities of chitosan and chitooligosaccharides / W. Xia [et al.] // *Food Hydrocoll.* — 2011. — Vol. 25, № 2. — P. 170–179.
8. A review on chitosan and chitosan-based bionanocomposites: Promising material for combatting global issues and its applications / M. Azmana [et al.] // *Int. J. Biol. Macromol.* — 2021. — Vol. 85. — P. 832–848.
9. Functional characterization of chitin and chitosan / I. Aranaz [et al.] // *Curr. Chem. Biol.* — 2009. — Vol. 3. — P. 203–230.
10. Rocha, M. A. M. Applications of chitosan and their derivatives in beverages: a critical review / M. A. M. Rocha, M. A. Coimbra, C. Nunes // *Curr. Opin. Food Sci.* — 2017. — Vol. 15. — P. 61–69.
11. Liang, S. A Review of the preparation, analysis and biological functions of chitooligosaccharide / S. Liang, Y. Sun, X. Dai // *Int. J. Mol. Sci.* — 2018. — Vol. 19, № 8. — Art. 2197.
12. Preparation of N-succinyl-chitosan and its physical-chemical properties as a novel excipient / C. Yan [et al.] // *Yakugaku Zasshi.* — 2006. — Vol. 126, № 9. — P. 789–793.
13. Deka, B. C. DFT study on host-guest interaction in chitosan — amino acid complexes / B. C. Deka, P. Kr. Bhattacharyya // *Comput. Theor. Chem.* — 2017. — Vol. 1110. — P. 40–49.
14. Preparation and characterization of chitosan amino acid salts / Z. Hu [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* — 2019. — Vol. 504. — Art. 12023.

15. Characterization of casein micelle precipitation by chitosans / S.F. Ausar [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2001. — Vol. 84, iss. 2. — P. 361–369.
16. Use of chitosan for selective removal of β lactoglobulin from whey / E. Casal [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2006. — Vol. 89, iss. 5. — P. 1384–1389.
17. Influence of molecular weight of chitosan on interaction with casein / V.P. Kurchenko [et al.] // *Appl. Biochem. Microbiol.* — 2018. — Vol. 54, iss. 5. — P. 501–504.

*Halavach T. M., Kurchenko V. P., Romanovich R. V., Bondarenko M. P.,
Tsygankow V. G.¹, Bondaruk A. M.¹*

OLIGOCHITOSAN AND SUCCINYLATED CHITOSAN COMPLEXES WITH TRIPTOFAN AS PROSPECTIVE COMPONENTS FOR SPECIALIZED FOOD PRODUCTS

Belarusian State University, Minsk, Belarus

¹*Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus*

Biocomposites of chitosan and its derivatives with proteinogenic amino acids are a promising functional component for specialized food products. Complexes of oligochitosan (hereinafter — OCT) and succinylated chitosan (hereinafter — SCT) with tryptophan were obtained. Dialysis was used to remove free amino acid from solutions of the complexes. According to spectrophotometric studies, the binding of up to 94/56 % amino acid was achieved in an aqueous solution containing 0.1 % OCT / SCT and 0.05 % tryptophan. Decreased bitterness of tryptophan was found as a result of complexation with polysaccharides. Under experimental conditions, the effective binding of tryptophan to OCT is due to the relatively high content of protonated amino groups, that most actively interact with negatively charged amino acids groups.

Keywords: oligochitosan, succinylated chitosan, tryptophan, biocomposites.

References

1. *Nogaller A. M., Gushchin I. S., Mazo V. K., Gmoshinskiy I. V.* Food allergies and food intolerances. Moscow: Meditsina; 2008. (in Russian)
2. *Vandenplas Y., Abkari A., Bellaiche M.* et al. Prevalence and health outcomes of functional gastrointestinal symptoms in infants from birth to 12 months of age. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 2015; 61(5): 531–7.
3. *van Tilburg M. A. L., Hyman P. E., Walker L., Rouster A.* Prevalence of functional gastrointestinal disorders in infants and toddlers. *J. Pediatr.* 2015; 166(3): 684–9.
4. *Balabolkin I. I.* The modern concept of pathogenesis and principles of allergic diseases treatment in children. *Pediatrics. Zhurnal im. G. N. Speranskogo [Pediatrics. Journal named after G. N. Speransky]*. 2003; 82(4): 52–7. (in Russian)
5. *Wahn U.* Environmental factors facilitating allergic sensitization and atopic manifestation in early childhood. *Nutr. Res.* 1998; 18(8): 1363–71.
6. *Yang P., Liu C., Song H.* et al. Sensory directed flavour analysis of off-flavour compounds in infant formula with deeply hydrolyzed milk protein and their possible sources. *LWT — Food Sci. Technol.* 2020; 119: 108861.
7. *Xia W., Liu P., Zhang J., Chen J.* Biological activities of chitosan and chitooligosaccharides. *Food Hydrocoll.* 2011; 25(2): 170–9.
8. *Azmana M., Mahmood S., Hilles A. R.* et al. A review on chitosan and chitosan-based bionanocomposites: Promising material for combatting global issues and its applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021; 85: 832–48.
9. *Aranaz I., Mengibar M., Harris R.* et al. Functional characterization of chitin and chitosan. *Curr. Chem. Biol.* 2009; 3: 203–30.
10. *Rocha M. A. M., Coimbra M. A., Nunes C.* Applications of chitosan and their derivatives in beverages: a critical review. *Curr. Opin. Food Sci.* 2017; 15: 61–9.
11. *Liang S., Sun Y., Dai X.* A review of the preparation, analysis and biological functions of chitooligosaccharide. *Int. J. Mol. Sci.* 2018; 19(8): 2197.
12. *Yan C., Chen D., Gu J.* et al. Preparation of N-succinyl-chitosan and its physical-chemical properties as a novel excipient. *Yakugaku Zasshi.* 2006; 126(9): 789–93.

13. Deka B. C., Bhattacharyya P. Kr. DFT study on host-guest interaction in chitosan – amino acid complexes. *Comput. Theor. Chem.* 2017; 1110: 40–9.
14. Hu Z., Qin Y. Q., Guang J., Cai Y. Preparation and characterization of chitosan amino acid salts. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019; 504: 12023.
15. Ausar S. F., Bianco I. D., Badini R. G. et al. Characterization of casein micelle precipitation by chitosans. *J. Dairy Sci.* 2001; 84(2): 361–9.
16. Casal E., Montilla A., Moreno F. J. et al. Use of chitosan for selective removal of β lactoglobulin from whey. *J. Dairy Sci.* 2006; 89(5): 1384–9.
17. Kurchenko V. P., Radzevich T. V., Rizevsky S. V. et al. Influence of molecular weight of chitosan on interaction with casein. *Appl. Biochem. Microbiol.* 2018; 54(5): 501–4.

Поступила 03.11.2021

УДК 613.2+[615.9:547–31/-32]

Осипова Т. С., Федоренко Е. В., Дроздова Е. В.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТЕЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С МИГРАЦИЕЙ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, КОНТАКТИРУЮЩИХ С ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИЕЙ, НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Проведена идентификация и характеристика опасностей, ассоциированных с миграцией химических веществ из материалов, контактирующих с пищевой продукцией, на основе полилактида. Оценка потенциального токсического действия химического вещества на организм осуществлялась с использованием релевантных баз данных, учитывались: молекулярная масса вещества, наличие отдаленных эффектов (канцерогенный, мутагенный, эмбриотоксичный), перечень органов-мишеней, значения максимальной недействующей суточной дозы (далее — NOAEL). По результатам проведенного анализа выделены следующие приоритетные соединения, способные оказать неблагоприятное воздействие на организм человека: ацетальдегид, формальдегид, тяжелые металлы (в частности, олово) и фенол. Указанные соединения имеют относительно небольшую молекулярную массу, отдаленные эффекты токсического действия (канцерогенный, мутагенный) и сравнительно низкие значения NOAEL.

Ключевые слова: материалы, контактирующие с пищевой продукцией, безопасность, полимерные материалы, идентификация опасности, характеристика опасности, биополимеры, полилактиды.

Введение. В настоящее время упаковочные материалы являются неотъемлемой составляющей пищевых продуктов. Практичность и доступность — определяющие условия ускоренного роста использования полимерных материалов, в том числе при изготовлении изделий, предназначенных для контакта с пищевой продукцией [1].

Гигиенические аспекты безопасности полимерных материалов, предназначенных для контакта с пищевой продукцией (далее — МКП), основаны на минимизации количеств миграции химических веществ — компонентов, входящих в состав материала, в контактирующие с ним среды (пищевую продукцию) в количествах, небезопасных для здоровья человека. По различным оценкам, около 15 000 химических веществ, обладающих потенциально опасными свойствами для здоровья, способны мигрировать из МКП в пищу [2].

На безопасность МКП влияют базовое полимерное сырье, вспомогательные вещества и технологии их производства. Современные полимерные материалы многокомпонентны и помимо основного вещества — полимера — могут содержать в своем составе различные технологические добавки: антиоксиданты, пластификаторы, красители / клеи, остатки растворителей, антистатики, антифрикционные добавки. Указанные соединения вносятся в процессе производства преднамеренно, так как они необходимы для достижения заданных свойств конечного материала (прозрачность, пластичность, гидрофобность, газонепроницаемость, прочность и другие). Однако наряду с исходными компонентами в конечном материале или изделии могут присутствовать так называ-

емые непреднамеренно добавленные вещества (Non-intentionally added substances (далее — NIAS)), представляющие собой примеси к исходному сырью, побочные продукты химических реакций и процессов распада (разложения), а также незаполимеризовавшиеся мономеры и олигомеры [2, 3]. Таким образом, спектр химических соединений, способных к миграции из МКП при их использовании, разнообразен и значителен.

В настоящее время актуальным направлением является разработка и получение новых видов полимеров, в том числе путем микробиологического синтеза, используемых для изготовления биоразлагаемых материалов. Это связано с общемировой тенденцией сохранения природных ископаемых ресурсов и снижения количества полимерных отходов, способствующих усугублению проблемы глобального изменения климата [4]. Наиболее перспективным биоразлагаемым материалом, способным заменить полиолефины, предназначенные для контакта с пищевой продукцией, является полилактид (PLA) — продукт конденсации молочной кислоты [5, 6].

Одним из инструментов обеспечения безопасности МКП является гигиеническое нормирование — установление максимально допустимых уровней миграции приоритетных химических веществ из материалов в модельные среды, имитирующие свойства пищевой продукции. Оценка безопасности МКП при их обращении во многих странах мира, в том числе и в Республике Беларусь, осуществляется путем сопоставления фактических количеств миграции определенных химических веществ, ассоциированных с применением конкретного типа материала, с допустимыми количествами их миграции (далее — ДКМ). Следует отметить, что требования безопасности полилактидных материалов действующими ТНПА не установлены. Согласно национальному законодательству, государственное санитарно-гигиеническое нормирование должно основываться на результатах оценки рисков [7, 8].

Риск — это сочетание вероятности неблагоприятного воздействия на организм человека факторов среды его обитания и последствий данного воздействия, ведущее к возникновению угрозы жизни и здоровью населения [7]. Оценка риска — это научная методология, которая позволяет устанавливать количественную характеристику воздействия на здоровье населения, связанного с присутствием потенциально опасных факторов. При оценке рисков, ассоциированных с применением МКП, в том числе изготовленных из полилактида, в силу специфики потенциальных контаминантов этапы идентификации и характеристики опасности имеют свои особенности, что обуславливает актуальность проведения таких исследований.

Цель работы: идентификация и характеристика опасности химических контаминантов, ассоциированных с применением материалов на основе полилактида, предназначенных для контакта с пищевой продукцией, с целью их дальнейшей приоритизации.

Материалы и методы. Обзорно-аналитический.

Результаты и их обсуждение. При идентификации опасности определяется перечень потенциально опасных для здоровья веществ, способных к миграции в пищевую продукцию.

В первую очередь оцениваются мономеры и другие исходные вещества, используемые в качестве добавок или вспомогательных средств при производстве полимерного материала. Считается, что сам полимер представляет собой инертную высокомолекулярную структуру, а поскольку вещества с молекулярной массой выше 1000 Да не могут абсорбироваться организмом, потенциальный риск для здоровья от самого полимера минимален; следовательно, он может быть исключен из расчетов миграции [9, 10]. Особую опасность представляют низкомолекулярные соединения (непрореагировавшие или не полностью прореагировавшие мономеры, добавки и вспомогательные вещества, а также NIAS), так как они легко переходят в пищевую продукцию в результате процессов миграции и при поступлении с рационом могут оказывать негативное влияние на организм человека [9].

Далее требуется проведение оценки потенциального токсического действия химического вещества, однако для этого необходима информация о его структуре (химическая идентичность). Образование NIAS в процессе производства материала непредсказуемо и неконтролируемо (даже исходя из известного состава исходных компонентов), и они, как правило, представляют собой неохарактеризованные примеси и неустановленные побочные продукты химических реакций, в связи с чем их идентификация не всегда представляется возможной. В связи с этим наличие таких веществ часто производителю не известно [3]. Поэтому прогнозирование образования и присутствия в конечном материале NIAS является важной задачей с целью их дальнейшей идентификации.

Характеристика опасности необходима для проведения приоритизации химических веществ, исходя из их токсических свойств. Для реализации этой цели проводится токсикологическая оценка потенциальных веществ-мигрантов с учетом:

— наличия у оцениваемого вещества отдаленных эффектов (канцерогенный, мутагенный, эмбриотоксичный и другие);

- перечня органов-мишеней;
- значения максимальной недеиствующей суточной дозы — NOAEL (no-observed-adverse-effect level).

Одновременно учитываются обоснованные физико-химические факторы, ограничивающие миграцию (летучесть, растворимость, агрегатное состояние и др.). В качестве источников токсикологической информации о веществе используются релевантные базы данных — например, OpenFoodTox EFSA, ECHA и IARC. При отсутствии токсикологических сведений о веществе применяется моделирование количественных соотношений структура — свойство (Quantitative Structure-Activity Relationship — QSAR). Эти компьютерные модели помогают прогнозировать наличие токсических свойств малоизученных соединений, в том числе планируемых для использования при производстве МКП.

Также с целью прогнозирования токсичности веществ с ограниченными токсикологическими данными применяется концепция порога токсикологической опасности (Threshold of Toxicological Concern (далее — TTC)). С ее помощью определяют пороговое значение воздействия на человека химических веществ с неизвестной токсичностью, но известной структурой [3]. В основе подхода TTC заложено предположение, что структурно схожие химические вещества будут иметь схожие токсичные свойства. Установлены три значения TTC, сгруппированные по структурно связанным химическим веществам в классы Крамера (Cramer Class) по токсичности: низкая (класс Крамера I) — 30 мкг/кг массы/день; средняя (класс Крамера II) — 9,0 мкг/кг массы/день; высокая (класс Крамера III) — 1,5 мкг/кг массы/день. Эти значения рассчитаны исходя из распределения 2941 NOAEL 613 химических веществ для каждого из трех структурных классов Крамера. Потенциально генотоксичные соединения, а также ортофосфаты и карбаматы не классифицируются с использованием указанного подхода [11].

С целью идентификации опасностей, ассоциированных с применением полилактидных материалов в качестве МКП, проведено изучение технологии их изготовления. Можно условно выделить основные этапы получения самого полилактида и изделий из него [1, 12].

1. Синтез молочной кислоты — осуществляется путем молочнокислого брожения глюкозы, полученной из различных растительных источников (в качестве субстрата используют крахмалы: кукурузный, картофельный, злаковый и другие).

2. Синтез полилактида — получение высокомолекулярного полилактида осуществляется путем реализации следующих стадий [13]:

- олигомеризация молочной кислоты;
- деполимеризация олигомеров с получением лактида;
- очистка лактида от примесей (перекристаллизация);
- полимеризация лактида путем раскрытия цикла.

3. Придание конечному материалу на основе полилактида заданных потребительских свойств путем внесения химических добавок: пластификаторов (фталатов, смол на основе формальдегида и др.), антиоксидантов (фенолов, фосфитов, бензофуранов и др.), стабилизаторов (фенолов, соединений серы и фосфора и др.) и других соединений [5].

4. Модификация полилактида путем добавления наполнителей (лигнин, углеволокно и другие) — может применяться с целью удешевления конечного изделия и придания ему износостойкости [14].

Согласно приведенному способу изготовления полилактидных (в том числе модифицированных) материалов, в конечном изделии могут присутствовать следующие химические вещества (с учетом технологических этапов) [3, 5, 12, 13, 15]:

- на этапе экстракции кислот-примесей молочной кислоты: этиловый эфир уксусной кислоты, бутилацетат, толуол;
- на этапе деполимеризации олигомеров молочной кислоты: соединения цинка, свинца, алюминия и олова;
- на этапе перекристаллизации лактида: спирты (этиловый, метиловый, бутиловый), этилацетат, бутилацетат, пропанол, толуол, соединения титана, циркония, цинка;
- на этапе придания конечному изделию заданных свойств (гибкость, ударопрочность и др.) за счет внесения добавок: формальдегид, полиэтиленгликоль, фталаты, акрилаты;
- NIAS, образующиеся в том числе в результате химических превращений молочной кислоты: олигомеры молочной кислоты, пропановая кислота, ацетальдегид, акриловая кислота, ацетилацетон, пропионовая кислота, этанол.

Оценка токсических свойств химических веществ — потенциальных мигрантов из полилактидных МКП осуществлялась с применением следующих баз данных: ECHA, PubChem, OpenFoodTox (EFSA). Данные о токсичности некоторых веществ приведены в таблице 1.

Таблица 1. — Токсикологическая оценка отдельных веществ — потенциальных мигрантов из материалов, контактирующих с пищевой продукцией, на основе полилактида (при поступлении *per os*)

Наименование вещества	Молекулярная масса, Да	Наличие отдаленных эффектов	Органы-мишени	NOAEL, мг/кг мг/день	Класс Крамера
Ацетальдегид	44,05	Канцерогенный (2в) ¹⁾	Желудочно-кишечный тракт, печень	120	Не применим
Молочная кислота	90,08	Не установлено	Не установлено	Не установлено	I
Этилацетат	88,11	Не установлено	Дыхательная система	900	Не классифицирован
Формальдегид	30,026	Канцерогенный (1) ¹⁾ , предположительно мутагенный	Желудочно-кишечный тракт, иммунная система	15	Не применим
Оксид олова	134,71	Не установлено	Дыхательная система	1000	Не классифицирован
Фенол	94,11	По канцерогенности не классифицируется (3) ¹⁾ , предположительно мутагенный	Дыхательная система, печень, почки	67	Не применим

¹⁾ категория в соответствии с классификацией Международного агентства по изучению рака.

В результате проведенного анализа установлено, что исследуемые вещества имеют относительно небольшую молекулярную массу (менее 135 Да), при этом ацетальдегид и формальдегид обладают канцерогенным, а фенол и формальдегид — предположительно мутагенным отдаленными эффектами. Для всех характерно воздействие на жизненно важные органы-мишени, за исключением молочной кислоты, которая по ТТС классифицирована как соединение с низкой токсичностью (I класс Крамера). Вследствие наличия канцерогенных и мутагенных эффектов отнесение формальдегида, ацетальдегида и фенола к классам Крамера не применимо, а оксид олова и этилацетат не классифицированы, так как являются токсикологически охарактеризованными веществами с установленными NOAEL.

Заключение. Таким образом, по результатам проведенных идентификации и характеристики опасностей, ассоциированных с миграцией химических веществ из материалов, контактирующих с пищевой продукцией, на основе полилактида можно выделить следующие приоритетные соединения, способные оказать неблагоприятное воздействие на организм человека, которые необходимо включать в оценку риска: ацетальдегид, формальдегид, тяжелые металлы (в частности, олово) и фенол. Указанные соединения имеют относительно небольшую молекулярную массу, специфические отдаленные эффекты токсического действия (канцерогенный, мутагенный) и сравнительно низкие значения NOAEL.

Литература

1. Бубен, Е. О. Катализаторы в процессах получения биоразлагаемых полимеров / Е. О. Бубен // Лучшая научная статья 2018: сб. ст. XXII Междунар. науч.-исслед. конкурса / отв. ред. Г. Ю. Гуляев. — Пенза: Наука и Просвещение. — 2018. — С. 13–16.
2. Food Contact Materials — How to Ensure Food Safety and Technological Innovation in the Future? [Electronic resource] / F. Alleweldt [et al.]. — 2016. — Mode of access: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/578967/IPOI_STU\(2016\)578967_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/578967/IPOI_STU(2016)578967_EN.pdf). — Date of access: 20.10.2021.
3. Kato, L. S. Safety of plastic food packaging: the challenges about non-intentionally added substances (NIAS) discovery, identification and risk assessment / L. S. Kato, C. A. Conte-Junior // *Polymers*. — 2021. — Vol. 13, № 13. — Art. 2077.
4. Geueke, B. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials / B. Geueke, K. Groh, J. Muncke // *Journal of Cleaner Production*. — 2018. — Vol. 193. — P. 491–505.
5. Determination of non-volatile components of a biodegradable food packaging material based on polyester and polylactic acid (PLA) and its migration to food simulants / M. Aznar [et al.] // *Journal of Chromatography A*. — 2019. — Vol. 1583. — P. 1–8.

6. Волкова, Г. С. Перспектива создания производства биоразлагаемых полимеров на основе молочной кислоты для упаковки пищевых продуктов / Г. С. Волкова // Биотехнология в интересах экономики и экологии Сибири и Дальнего Востока: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф., Улан-Удэ, 30 июня—03 июля 2016 г. / отв. ред. А. Т. Бубеев. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2016. — С. 16–18.

7. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 7 января 2012 г. № 340-З. — Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11200340>. — Дата доступа: 18.11.2021.

8. Федоренко, Е. В. Правовые основы применения методологии анализа риска при обеспечении безопасности пищевой продукции в Евразийском экономическом союзе и Республике Беларусь / Е. В. Федоренко // Анализ риска здоровью. — 2015. — № 3 (11). — С. 13–18.

9. Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food [Electronic resource]. — Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02011R0010-20200923&qid=1607416192315>. — Date of access: 15.10.2021.

10. Review and priority setting for substances that are listed without a specific migration limit in Table 1 of Annex 1 of Regulation 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food / EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP) [et al.] // EFSA Journal. — 2020. — Vol. 18, № 6. — Art. e06124.

11. Guidance on the use of the Threshold of Toxicological Concern approach in food safety assessment / EFSA Scientific Committee [et al.] // EFSA Journal. — 2019. — Vol. 17, № 6. — Art. e05708.

12. Полимерные биокомпозиты на основе биоразлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами (обзор) / Д. В. Севастьянов [и др.] // Авиационные материалы и технологии. — 2017. — № 4 (49). — С. 42–50.

13. Левченко, Е. В. Производство биоразлагаемого полимера полилактида / Е. В. Левченко, Н. Л. Чернышева // Вестн. молодеж. науки. — 2016. — № 4 (6). — С. 4.

14. Ветошина, К. А. Нанокompозиты на основе полилактида / К. А. Ветошина // Молодежь в науке: Новые аргументы: VI Междунар. молодеж. сб. науч. ст., Липецк (Россия), 28 апреля 2020 г. / отв. ред. А. В. Горбенко. — Липецк, 2020. — С. 72–74.

15. Тенденции развития производства молочной кислоты / А. Я. Самуйленко [и др.] // Вестн. Казан. технолог. ун-та. — 2017. — Т. 20, № 1. — С. 162–166.

Osipava T. S., Fedorenko E. V., Drazdova E. V.

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF HAZARDS ASSOCIATED WITH THE MIGRATION OF CHEMICALS FROM POLYLACTIDE-BASED FOOD CONTACT MATERIALS

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The identification and characterization of hazards associated with the migration of chemical substances from materials in contact with polylactide-based food products was performed. Potential toxic effects of a chemical substance on the body were assessed using relevant databases, the following were taken into account: molecular weight of the substance, presence of remote effects (carcinogenic, mutagenic, embryotoxic), list of target organs, values of maximum non-acting daily dose (hereinafter — NOAEL). According to the results of the analysis, the following priority compounds that can have an adverse effect on the human body were identified: acetaldehyde, formaldehyde, heavy metals (in particular tin) and phenol. These compounds have a relatively small molecular weight, remote effects of toxic effects (carcinogenic, mutagenic) and relatively low NOAEL values.

Keywords: food contact materials, safety, polymeric materials, hazard identification, hazard characteristics, biopolymers, polylactides.

References

1. Buben E. O. Catalysts in processes for the biodegradable polymers. In: *Gulyaev G. Yu.*, execut. ed. *Best scientific article 2018: collection of articles of the XXII International Research Competition*. Penza: Science and Enlightenment; 2018: 13–6. (in Russian)

2. Alleweldt F., Osinski A., Trier X., Alsing-Pedersen G. Food Contact Materials — How to Ensure Food Safety and Technological Innovation in the Future? Available at: <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses> (accessed 20 October 2021).

3. Kato L. S., Conte-Junior C. A. Safety of plastic food packaging: the challenges about non-intentionally added substances (NIAS) discovery, identification and risk assessment. *Polymers*. 2021; 13(13): 2077.

4. Geueke B., Groh K., Muncke J. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 193: 491–505.

5. Aznar M., Ubeda S., Dreolin N., Nerín C. Determination of non-volatile components of a biodegradable food packaging material based on polyester and polylactic acid (PLA) and its migration to food simulants. *Journal of Chromatography A*. 2019; 1583: 1–8.

6. Volkova G. S. Prospect of production of biodegradable polymers based on lactic acid for food packaging. In: Bubeev A. T., execut. ed. *Biotechnology in the interests of economy and ecology of Siberia and the Far East: Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference*. 2016, June 30–July 03; Ulan-Ude (RF). Ulan-Ude; 2016: 16–8. (in Russian)

7. On the sanitary and epidemiological well-being of the population: the Law of the Republic of Belarus. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11200340>. (accessed 18 November 2021). (in Russian)

8. Fedorenko E. V. Legal framework for the risk analysis methodology when ensuring food safety in the Eurasian Economic Union and the Republic of Belarus. *Health Risk Analysis*. 2015; 3(11): 13–8. (in Russian)

9. Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02011R0010-20200923&qid=1607416192315> (accessed 15 October 2021).

10. EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP), Silano V., Baviera J. M. B. et al. Review and priority setting for substances that are listed without a specific migration limit in Table 1 of Annex 1 of Regulation 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. *EFSA Journal*. 2020; 18(6): e06124.

11. EFSA Scientific Committee, More S. J., Bampidis V. et al. Guidance on the use of the Threshold of Toxicological Concern approach in food safety assessment. *EFSA Journal*. 2019; 17(6): e05708.

12. Sevastyanov D. V., Sutubalov I. V., Daskovsky M. I., Shein E. A. Polymer biocomposites based on biodegradable binders reinforced by natural fibers (review). *Aviation Materials and Technologies*. 2017; 4(49): 42–50. (in Russian)

13. Levchenko E. V., Chernysheva N. L. Production of biodegradable polymer polylactide. *Vestnik molodezhnoy nauki*. 2016; 4(6): 4. (in Russian)

14. Vetoshina K. A. Nanocomposites based on polylactide. In: Gorbenko A. V., execut. ed. *Youth in Science: New Arguments: VI International Youth Collection of Scientific Articles*. 2020, April 28; Lipetsk; Russia. Lipetsk; 2020: 72–4. (in Russian)

15. Samuilenko A. Ya., Grin' S. A., Eremets V. I. et al. Trends of lactic acid production. *Vestnik of Kazan Technological University*. 2017; 20(10): 162–6. (in Russian)

Поступила 30.11.2021

УДК 613.281:613.294

Федоренко Е. В., Коломиец Н. Д.¹, Турко М. С., Крымская Т. П., Дудчик Н. В.,
Марченко Н. М., Науменко С. А., Бельшева Л. Л., Бордак Л. В., Тарасевич О. В.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОТЫ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь,

¹Государственное учреждение образования «Белорусская медицинская академия
последипломного образования», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В экспериментальных условиях изучена динамика изменений микробиоты и уровня нитратов, нитритов и нитрозаминов при хранении мясной продукции. Показан законо-

мерный рост количества микроорганизмов при аггравированных условиях, при этом среди изолятов выявлены штаммы с нитратредуцирующей активностью. Уровень нитратов в исследованных образцах изменялся разнонаправлено — отмечено как снижение, так и увеличение его уровня. Количество нитритов к концу срока годности снизилось во всех пробах продукции, при этом отмечалось повышение суммы нитрозаминов в 1,3–2,2 раза. N-нитрозодиметиламин является преобладающим соединением в указанной смеси. Полученные данные подтверждают целесообразность использования динамического подхода как в отношении биологических, так и отдельных химических опасностей, ассоциированных с пищевой продукцией.

Ключевые слова: микробиота, мясная продукция, нитраты, нитриты, нитроамины, динамика изменений.

Введение. Безопасность пищевой продукции является важным аспектом общественного здоровья. Последние годы значительное внимание уделяется так называемым «промышленным» контаминантам — потенциально опасным веществам, способным образовываться в процессе производства или хранения пищевых продуктов. К указанной группе могут быть отнесены нитроамины (далее — НА), присутствующие в продукции в виде смеси. Приоритетными среди них вследствие наибольшей опасности для здоровья и частоты обнаружения являются N-нитрозодиметиламин (далее — НДМА), диметилнитрозамин (далее — ДМНА) и N-нитрозодиэтиламин (далее — НДЭА), диэтилнитрозамин (далее — ДЭНА), отнесенные Международным агентством по изучению рака к группе 2А вероятно канцерогенных для человека веществ [1]. При этом особого внимания обсуждаемые соединения заслуживают в связи с возможностью эндогенного синтеза из предшественников, а также образования в отдельных пищевых продуктах в процессе хранения, что обуславливает необходимость применения динамического подхода при оценке их безопасности [2, 3]. Прекурсорами НА являются нитриты, амины, причем синтез обсуждаемых веществ происходит на основании различных механизмов. Нитраты и нитриты, присутствуя в пищевых системах, подвергаются воздействию бактериальных ферментов, сложным химическим превращениям и метаболизму, при этом значительная часть азотсодержащих соединений остается неидентифицированной [4–6]. Ряд соединений (например, аскорбиновая кислота и ее соли, экстракты некоторых растений) способны ингибировать.

Мясная продукция и вареные колбасы, в частности, употребляются практически всеми потребителями и являются основными источниками поступления нитритов и НА с рационом [7]. Последние годы интерес к НА снова возрастает в связи как с установленной канцерогенностью указанных соединений, так и с запросом потребителей на органические продукты, при производстве которых не используются пищевые добавки (далее — ПД). Современные технологии позволяют получать мясную продукцию (в частности, вареные колбасные изделия) с низким уровнем микробной контаминации и длительными сроками хранения. При этом сочетание химических (использование нитритов в качестве ПД, наличие нитратов и белков в исходном сырье) и биологических (присутствие микрофлоры в продукции) факторов, а также длительные сроки хранения обуславливают актуальность изучения закономерностей изменения микробиоты и трансформации отдельных азотсодержащих соединений при хранении мясной продукции.

Цель работы: оценка динамики изменений микробиоты и трансформации отдельных азотсодержащих соединений — нитратов, нитритов и нитроаминов при хранении мясной продукции в экспериментальных условиях.

Материалы и методы. Исследовались вареные колбасные изделия различных изготовителей, находящиеся в обращении на территории Республики Беларусь. Исследовано 5 проб продукции в 3 параллелях, первая проба относилась к специализированной пищевой продукции, при производстве которой не использовались ПД нитраты или нитриты. Согласно маркировке остальных образцов, в их состав входили фиксатор окраски нитрит натрия E250, а также антиокислители аскорбиновая кислота (E300) или изоаскорбат (E316), а кроме того, экстракты пряностей и специй. Срок годности продукции составлял 60 суток, образцы хранились при контролируемой температуре (4 ± 2) °С. В процессе хранения (в начале и в конце срока годности) в продукции исследовалось количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (далее — МАФАНМ) и психротрофных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (далее — ПАФАНМ) в 1 г. При отсутствии динамики микробиологических показателей в конце срока годности образцы выдерживались при аггравированной температуре (15 ± 2) °С в течение 3 суток, после чего микробиологическое исследование повторялось. Выделенные культуры после идентификации их таксономической принадлежности по комплексу тинкториально-морфологических и биохимических признаков исследовались на наличие нитратредуцирующей активности.

Количество МАФАНМ (в колониеобразующих единицах в 1,0 г, КОЕ/г) определяли по [8], производили высев разведений продукта на неселективные плотные питательные среды, инкубировали при температуре $(30 \pm 1) ^\circ\text{C}$ в течение (72 ± 3) ч в аэробных условиях и подсчитывали выросшие колонии.

Количественное определение психротрофных микроорганизмов осуществлялось согласно [9]. Принцип метода аналогичен изложенному выше, за исключением температуры и времени инкубации, которые составляли $6,5 ^\circ\text{C}$ и 10 суток соответственно.

Идентификацию изолятов проводили культуральными методами на питательных и дифференциально-диагностических средах, а также с использованием анализатора VITEK (Biomérieux) с последующей верификацией методом ПЦР real time.

Нитратредуцирующую способность выделенных микроорганизмов проводили с использованием адаптированного метода, основы которого описаны в [10]. Выделенные из пищевой продукции мезофильные и психротрофные микроорганизмы высевались в пробирки с нитратной средой и инкубировались при температуре $(30 \pm 1) ^\circ\text{C}$ в течение (24 ± 2) ч. Затем к среде добавляли $0,2\text{--}0,5 \text{ см}^3$ смеси равных объемов растворов, содержащих $0,1 \text{ г}$ 5-амино-2-нафталинсульфоновой кислоты в 100 см^3 15%-ной уксусной кислоты и $0,4 \text{ г}$ сульфаниловой кислоты в 100 см^3 15%-ной уксусной кислоты соответственно. Если в течение 15 мин покраснения среды не происходило, то в посев добавляли немного порошкообразного цинка и выдерживали еще 10 мин. Если после добавления цинка среда краснела, то тест на редукцию нитратов считали отрицательным. Отсутствие покраснения свидетельствовало о наличии у изолятов нитратредуктазы.

Отдельные азотсодержащие соединения исследовались в начале и конце срока годности, за результат принималось среднее значение 2 параллельных измерений.

Определение нитритов в колбасных изделиях проводили в соответствии с [11]. Метод основан на получении из анализируемой пробы безбелкового фильтрата, реакции нитрита с N-(1-нафтил)-этилендиамин-дигидрохлоридом и сульфаниламидом с образованием соединения красного цвета и фотометрическом измерении при длине волны 538 нм. Минимальное количество нитритов, определяемое указанным методом (предел количественного определения), составляет $2,0 \text{ мг/кг}$.

Нитраты в мясной продукции определяли по [12]. Подготовка проб к анализу аналогична вышеуказанным подходам. Сам метод основан на восстановлении нитратов до нитритов с помощью кадмиевой колонки и дальнейшем фотометрическом измерении интенсивности окраски, образующейся при взаимодействии сульфаниламида и N-(1-нафтил)-этилендиамин-дигидрохлорида с нитритом, определении количества последнего и пересчете его на нитрат за вычетом нитрита, содержащегося в фильтрате исследуемого продукта. Предел количественного определения составляет $2,0 \text{ мг/кг}$.

НА определялись с использованием [13]. Метод основан на выделении НА перегонкой с водяным паром и экстракции из водной среды органическим растворителем, денитрозировании НА бромистым водородом в уксусной кислоте до соответствующих аминов, синтезе производных полученных аминов с 5-(диметиламино)-нафталин-1-сульфохлоридом (дансилхлоридом), хроматографическом разделении и количественном определении образовавшихся производных на жидкостном хроматографе с флуориметрическим детектором. Идентификация дансилпроизводных НА производится по временам удерживания, а количественное определение содержания ДМНА и ДЭНА — методом внутреннего стандарта, в качестве которого применяется дипропилнитрозамин.

Диапазон измерений для ДМНА — $0,0005\text{--}0,001 \text{ мг/кг}$, для ДЭНА — $0,00075\text{--}0,015 \text{ мг/кг}$, при навеске анализируемой твердой и сыпучей пробы 100 г . Диапазон измерений суммы НА — $0,001\text{--}0,040 \text{ мг/кг}$. Предел повторяемости методики составляет $8,7 \%$, предел внутрилабораторной воспроизводимости — $16,8 \%$. Значение расширенной неопределенности для суммы НА составляет 36% . В случае, если уровень содержания НА был ниже предела количественного определения, результаты представлялись в виде односторонней оценки в соответствии с внутрилабораторными процедурами.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием стандартных методов по программе «Statistica-6,0». Результаты представлены в виде $M \pm m$, где M — средняя арифметическая, m — стандартная ошибка средней арифметической.

Результаты и их обсуждение. Уровни микробной контаминации в образцах колбасных изделий изучались в начале и конце срока годности. Начальное содержание как мезофильной, так и психротрофной аэробной и факультативно анаэробной микрофлоры было менее 10 КОЕ/г . Результаты исследования динамики изменений микробиоты в изучаемой продукции, а также результаты ее идентификации и определения нитратредуцирующей активности представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Динамика микробиологических показателей колбасных изделий в конце срока хранения (после аггравации) ($M \pm m$)

№ образца	МАФАНМ, Ig КОЕ/г	ПАФАНМ, Ig КОЕ/г	Видовой состав	Нитратредукция	
				индивидуальная	суммарная
1	6,65 ± 0,02	5,61 ± 0,01	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	—	—
			<i>Staphylococcus lentus</i>	+	+
2	7,31 ± 0,02	7,46 ± 0,02	<i>Acinetobacter spp.</i>	—	—
3	7,83 ± 0,01	7,90 ± 0,01	Устойчивый консорциум	—*	+
4	5,43 ± 0,03	5,40 ± 0,02	<i>Staphylococcus vitulinus</i> , плесневые грибы	—	—
5	4,60 ± 0,02	6,26 ± 0,02	Устойчивый консорциум	—*	+

* не применимо.

Выявленные микроорганизмы относятся к представителям типичной микрофлоры мясной продукции и возбудителей порчи, в том числе в виде устойчивых консорциумов [14], что соответствует аггравированным условиям проведения эксперимента.

Уровень нитратов в исследованных колбасных изделиях составлял от 1 до 20 мг/кг, что коррелирует с результатами иных исследований [15], и ассоциирован с естественным его содержанием в сырье. Наблюдавшиеся изменения его содержания имели разнонаправленные тенденции. В образцах, при изготовлении которых не использовались нитритсодержащие ПД, а также в 2 образцах традиционных колбасных изделий наблюдалось увеличение их количества на 33–36 %. В иных пробах редукция уровня обсуждаемого азотсодержащего соединения была значительной и составляла 29–90 %. Указанные изменения могут быть связаны как с составом пищевой продукции, в том числе наличием ингибиторов нитрозирования, с химическими реакциями, происходящими при ее хранении, так и биологическими процессами — ферментативной трансформацией нитратов в иные азотсодержащие соединения, в том числе с участием микрофлоры.

Начальный уровень нитритов составлял 4–18 мг/кг продукции, что не превышает установленных санитарно-эпидемиологических требований (50 мг/кг массы продукта). В образцах продукции, при производстве которой не использовались ПД Е 249 и Е 250, начальный уровень нитритов был минимальным (4 мг/кг).

Трансформация указанных азотсодержащих соединений при хранении колбасных изделий в эксперименте сопровождалась снижением уровня нитритов во всех образцах продукции. На 60-е сутки исследования в двух образцах нитриты выявлены не были, в иных пробах степень снижения достигала 2–6 раз.

Снижение уровня нитритов, разнонаправленные тенденции в динамике содержания нитратов сопровождалось увеличением количества НА во всех образцах продукции к концу срока годности в 1,3–2,2 раза (рисунок 1).

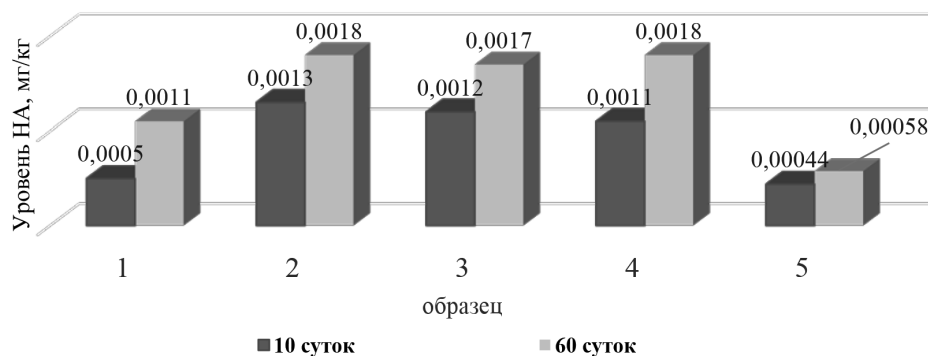


Рисунок 1. — Динамика суммы НА в процессе хранения колбасных изделий

С учетом расширенной неопределенности использованного метода (36 %) [13], имплементированного правила принятия решения (правило простой приемки) в образцах, уровень НА в которых составляет 0,0017–0,0018 мг/кг, такой показатель может рассматриваться как несоответствие уста-

новленным гигиеническим требованиям (не более 0,002 мг/кг), поскольку расчетное значение измерений будет превышать указанный норматив. Поэтому такие значения требуют пристального внимания.

При оценке вклада отдельных НА установлено, что преобладающим в смеси является НДМА, что подтверждает ранее полученные результаты [7]. Указанные соединения составляли от 82 до 99 % от общего уровня контаминации (таблица 2).

Таблица 2. — Уровень НДМА и НДЭА в образцах колбасных изделий при хранении

№ образца	Содержание (мг/кг)			
	НДМА		НДЭА	
	10 суток	60 суток	10 суток	60 суток
1	0,000475	0,001092	0,000025	0,0000121
2	0,001279	0,001689	0,0000326	0,0001276
3	0,001224	0,00161	0,0000082	0,00007887
4	0,000967	0,001751	0,0001122	0,00003452
5	0,000417	0,000477	0,0000252	0,00010288

Оценка динамики изменений отдельных НА показала, что уровень НДМА увеличился в 1,3–2,3 раза. Указанное в целом коррелирует с наличием в образцах продукции микрофлоры с нитратредуктазной активностью и снижением содержания нитритов. Содержание НДЭА в части образцов (1 и 4) незначительно снизилось, в иных пробах степень увеличения по сравнению с НДМА была более значительной.

Заключение. Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют об увеличении уровня НА в колбасных изделиях в течение срока годности. При этом имеет место вероятность превышения установленного максимально допустимого уровня обсуждаемых соединений. Уровень нитратов и нитритов в процессе хранения колбасных изделий имеет тенденцию к снижению, при этом с учетом качественной и количественной характеристики микрофлоры, нитратредуцирующих свойств отдельных изолятов, наличия в составе продукции иных источников азотсодержащих соединений можно предположить реализацию различных механизмов образования НА в процессе хранения, в том числе ассоциированных с микробной контаминацией. Указанное подтверждает необходимость использования динамического подхода при оценке безопасности пищевой продукции в отношении как биологических, так и химических опасностей.

Литература

1. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–123 [Electronic resource]. — Mode of access: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>. — Date of access: 20.10.2021.
2. Synthesis of 2'-deoxythymidine by an enzymatic transdeoxyriboseylation / A. J. Zinchenko [et al.] // *Biotechnology Letters*. — 1990. — Vol. 12, № 5. — P. 341–346.
3. Федоренко, Е. В. Динамический подход при оценке безопасности пищевой продукции / Е. В. Федоренко, Н. Д. Коломиец // *Вопр. питания*. — 2016. — Т. 85, № 2: Приложение: Материалы XVI Всерос. конгресса нутрициологов и диетологов с междунар. участием, посвящ. 100-летию со дня рождения основателя отечественной нутрициологии А. А. Покровского «Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии. Качество пищи» (Москва, 2–4 июня 2016 г.). — С. 37–38.
4. Nitrite and nitrosyl compounds in food preservation. Review / R. Cammack [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Bioenergetics*. — 1999. — Vol. 1411, iss. 2–3. — P. 475–488.
5. Ferysiuk, K. Reduction of Nitrite in Meat Products through the Application of Various Plant-Based Ingredients [Electronic resource] / K. Ferysiuk, K. M. Wójciak // *Antioxidants (Basel)*. — 2020. — Vol. 9, № 8. — P. 711. — Mode of access: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7464959>. — Date of access: 10.10.2021.
6. Hammes, W. P. Metabolism of nitrate in fermented meats: the characteristic feature of a specific group of fermented foods / W. P. Hammes // *Food Microbiol.* — 2012. — Vol. 29, № 2. — P. 151–156.
7. Гигиеническая характеристика контаминации пищевой продукции нитрозамином / Е. В. Федоренко [и др.] // *Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье и окружающая среда»*,

Минск, 15–16 нояб. 2018 г.: в 2 т. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик. — Минск: РНМБ, 2018. — Т. 2. — С. 37–38.

8. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов: ГОСТ 10444.15–94. — Введ. РБ 01.07.1996. — Минск: Госстандарт, 2010. — 7 с.

9. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод подсчета психротрофных микроорганизмов: ГОСТ ISO 17410–2013. — Введ. РБ 01.04.2016. — Минск: Госстандарт, 2016. — 11 с.

10. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод подсчета презумптивных бактерий *Bacillus cereus*. Метод подсчета колоний при температуре 30 °С: ГОСТ 10444.8–2013. — Введ. РБ 01.09.2016. — Минск: Госстандарт, 2016. — 23 с.

11. Мясо и мясные продукты. Метод определения нитрита: ГОСТ 29299–92. — Введ. 01.01.1994. — М.: Изд-во стандартов, 1992. — 4 с.

12. Мясо и мясные продукты. Метод определения нитрата: ГОСТ 29300–92. — Введ. 01.01.1994. — М.: Изд-во стандартов, 1992. — 5 с.

13. Методика определения нитрозаминов в пищевых продуктах и продовольственном сырье методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: МВИ 3543–2010 / ГУ «РНПЦ гигиены»; разраб.: Н. И. Марусич, Н. П. Лешошук, И. Н. Масалов. — Минск, 2010. — 25 с.

14. Дудчик, Н. В. Изучение свойств консорциума почвенных микроорганизмов как тест-объектов для оценки интегральной токсичности / Н. В. Дудчик // Гигиена и санитария. — 2012. — Т. 91, № 5. — С. 82–84.

15. *Iammarino, M.* Nitrite and nitrate in fresh meats: A contribution to the estimation of admissible maximum limits to introduce in directive 95/2/EC / *M. Iammarino, A. Di Taranto* // *International Journal of Food Science & Technology*. — 2012. — Vol. 47, № 9. — P. 1852–1858.

Fedorenko E. V., Kolomiets N. D.¹, Turko M. S., Krymskaya T. P., Dudchik N. V., Marchenko N. M., Naumenko S. A., Belysheva L. L., Bordak L. V., Tarasevich O. V.

DYNAMICS OF MICROBIOTA CHANGES AND TRANSFORMATION OF SOME NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS DURING STORAGE OF MEAT PRODUCTS (EXPERIMENTAL STUDY)

*Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene»,
Minsk, Belarus,*

*¹State educational establishment «Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education»,
Minsk, Belarus*

The dynamics of changes in the microbiota and the levels of nitrates, nitrites and nitrosamines during the storage of meat products were studied under experimental conditions. A logical growth in the number of microorganisms under aggravated conditions is shown, while strains with nitrate-reducing activity were revealed among isolates. The level of nitrates in the studied samples changed in different ways — both a decrease and an increase in its level were observed. The amount of nitrites decreased in all samples by the end of the shelf life, while the amount of nitrosamines (hereinafter — NA) increased by 1.3–2.2 times. There is a possibility of exceeding the maximum acceptable level for the discussed connections. N-nitrosodimethylamine is the predominant compound in this mixture. The data obtained confirm the feasibility of using a dynamic approach with respect to both biological and individual chemical hazards associated with food products.

Keywords: microbiota, meat products, nitrates, nitrites, nitrosamines, dynamics of changes.

References

1. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–123. Available at: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf> (accessed 20 October 2021).

2. *Zinchenko A. J., Barai V. N., Bokut S. B.* et al. Synthesis of 2'-deoxythymidine by an enzymatic transdeoxyrinosylation. *Biotechnology Letters*. 1990; 12(5): 341–6.

3. *Fedorenko E. V., Kolomiets N. D.* A dynamic approach in assessing food safety. *Voprosy pitaniya [Problems of nutrition]*. 2016; 85(2): Appendix Proceedings of the XVI All-Russian Congress of Nutritionists

and Dieticians with International Participation, dedicated to the 100th anniversary of the birth of the founder of Russian nutritional science A. A. Pokrovsky «Fundamental and applied aspects of nutrition and dietetics. Food quality». 2016, June 2–4; Moscow; RF: 37–8. (in Russian)

4. Nitrite and nitrosyl compounds in food preservation. Review / R. Cammack [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*. 1999; 1411(2–3): 475–88.

5. *Ferysiuk K., Wójciak K. M.* Reduction of Nitrite in Meat Products through the Application of Various Plant-Based Ingredients. *Antioxidants (Basel)*. 2020; 9(8): 711. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7464959> (accessed 10 October 2021).

6. *Hammes W. P.* Metabolism of nitrate in fermented meats: the characteristic feature of a specific group of fermented foods. *Food Microbiol.* 2012; 29(2): 151–6.

7. *Fedorenko E. V., Dolgina N. A., Ivashkevich L. S., Turko M. S.* Hygienic characteristics of food contamination with nitrosamines. In: Sychik S. I., chief ed. Proceedings of the international scientific-practical conference «Health and Environment». 2018, Nov. 15–16; Minsk; Belarus. v. 2. Minsk; 2018: 37–8. (in Russian)

8. State standard 10444.15–94. Food products. Methods for determination of quantity of mesophilic aerobes and facultative anaerobes. Minsk: Gosstandart; 2010. (in Russian)

9. State standard 17410–2013. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of psychrotrophic microorganisms. Minsk: Gosstandart; 2016. (in Russian)

10. State standard 10444.8–2013. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of presumptive *Bacillus cereus* Colony-count technique at 30 °C. Minsk: Gosstandart; 2016. (in Russian)

11. State standard 29299–92. Meat and meat products. Determination of nitrite content. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1992. (in Russian)

12. State standard 29300–92. Meat and meat products. Determination of nitrate content. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1992. (in Russian)

13. MVI 3543–2010. Methods for the determination of nitrosamines in food products and food raw materials by high-performance liquid chromatography. Minsk: GU «RNPTs gigieny»; 2010. (in Russian)

14. *Dudchik N. V.* Investigation of the properties of the soil microbial consortium as a test objects for estimation of integral toxicity. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]*. 2012; 91(5): 82–4. (in Russian)

15. *Iammarino M., Di Taranto A.* Nitrite and nitrate in fresh meats: A contribution to the estimation of admissible maximum limits to introduce in directive 95/2/EC. *International Journal of Food Science & Technology*. 2012; 47(9): 1852–8.

Поступила 30.11.2021

Раздел V

МЕДИЦИНА ТРУДА

УДК: 613.6:615.012:615.451.1

Арабей С. В., Гиндюк А. В.

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ С ВРЕМЕННОЙ УТРАТОЙ ТРУДОСПОСОБНОСТИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖИДКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты углубленного анализа заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников, занятых при производстве жидких лекарственных средств, за период с 2015 по 2019 г. Оценка заболеваемости проведена при сравнительном анализе с группой условного контроля (работники отделов заводоуправления). Изучена структура заболеваемости с временной утратой трудоспособности по классам болезней, установлены возрастные и стажевые категории работников с высоким уровнем заболеваемости с ВУТ. Выявлены значимые различия с группой сравнения.

Ключевые слова: заболеваемость с временной утратой трудоспособности, состояние здоровья, структура, динамика.

Введение. Негативное влияние на состояние здоровья работников и производительность труда способны оказывать неблагоприятные факторы производственной среды, способствующие увеличению числа производственно обусловленных заболеваний, развитию профессиональных заболеваний и отягощению течения уже имеющихся болезней [1].

Заболеваемость с временной утратой трудоспособности является одним из критериев оценки влияния факторов производственной среды на здоровье работников, позволяющим установить взаимосвязь между ее уровнем и условиями труда, что является необходимым звеном для последующей разработки профилактических мероприятий [2].

Воздействие факторов химической природы, характерных для предприятий фармацевтической промышленности, может определять высокие показатели заболеваемости с временной утратой трудоспособности. В связи с этим первостепенной задачей здравоохранения является предупреждение развития заболеваний у работников, профессиональная деятельность которых связана с выполнением работ в условиях воздействия химического производственного фактора [3, 4].

Анализ современной литературы показал, что имеются лишь единичные исследования по изучению особенностей формирования производственно обусловленной патологии у работников предприятий по производству лекарственных средств. Таким образом, задачи, направленные на учет профессиональных заболеваний, дальнейшую оценку профессионального риска здоровью работников данных производств, являются актуальными в гигиене труда [5].

Цель работы — изучить структуру и пятилетнюю динамику заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников, занятых при производстве жидких лекарственных средств.

Материалы и методы. Источником информации для изучения заболеваемости с временной утратой трудоспособности (далее — ВУТ) стали данные из 7 281 листка учета временной нетрудоспособности за период с 2015 по 2019 г. Оценка уровня заболеваемости осуществлялась по числу болевших лиц, случаев и дней временной нетрудоспособности на 100 работающих.

Для изучения заболеваемости с ВУТ работников, занятых при производстве жидких лекарственных средств, помимо экспонированной группы, состоящей из лиц, подвергающихся воздействию факторов производственной среды (аппаратчик широкого профиля химико-фармацевтических препаратов, аппаратчик перегонки, дозировщик медицинских препаратов, аппаратчик приготовления стерильных растворов, машинист расфасовочно-упаковочных машин и др.), в количестве

652 круглогодичных работников, была сформирована неэкспонированная группа работников, включающая работников отделов заводоуправления (1458 круглогодичных работников).

Анализ заболеваемости с ВУТ и оценка статистической значимости различий исследуемых показателей проводились в соответствии с методическими указаниями № 112–9911 «Углубленный анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности», утвержденными Министерством здравоохранения Республики Беларусь 30 ноября 1999 г. [6].

Исследования выполнялись в рамках практико-ориентированного проекта «Оценка профессионального риска в некоторых структурных подразделениях предприятия по производству лекарственных средств в соответствии с требованиями специфических санитарно-эпидемиологических требований к условиям труда работающих».

Формирование базы данных и статистическая обработка осуществлялись с применением статистических программ — Microsoft Office Excel 2016 и Statistica 10. Статистически значимыми считались результаты, если вероятность их случайного различия не превышала 5 % ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение. В результате анализа заболеваемости с ВУТ экспонированной группы за период с 2015 по 2019 г. зарегистрировано снижение числа болеющих лиц на 100 работающих на 11,1 % с 46,9 (95 % ДИ 38,34–55,50) в 2015 г. до 41,7 (95 % ДИ 34,21–49,12) в 2019 г. Показатели числа случаев и календарных дней временной нетрудоспособности (далее — ВН) на 100 работающих также имели благоприятную динамику и показали снижение на 8,3 % случаев ВН (с 79,2 (95 % ДИ 63,93–94,53) в 2015 г. до 72,6 (95 % ДИ 59,73–85,51) в 2019 г.) и на 9,4 % дней ВН (с 784,6 (95 % ДИ 514,86–1 054,37) до 710,7 (95 % ДИ 495,77–925,66)). Уровень заболеваемости с ВУТ у экспонированной группы составил 76,8 (95 % ДИ 70,11–83,57) случая ВН и 761,7 (95 % ДИ 644,73–878,59) календарного дня ВН, что в соответствии со шкалой Е. Л. Ноткина соответствует значению «ниже среднего». Также установлено, что уровень заболеваемости с ВУТ по числу случаев нетрудоспособности в экспонированной группе соответствует «ниже среднего» в 2015–2016 гг. и 2018–2019 гг. и «среднему» в 2017 г. По числу дней нетрудоспособности уровень заболеваемости с ВУТ характеризуется как «очень низкий» в 2018 г., «ниже среднего» в 2015 и 2019 гг., «средний» — в 2016–2017 гг.

Несмотря на увеличение на 4,0 % числа случаев ВН в неэкспонированной группе с 62,6 (95 % ДИ 53,38–71,89) до 65,1 (95 % ДИ 55,94–74,26) случая ВН, а также рост числа календарных дней ВН на 19,6 % с 448,4 (95 % ДИ 343,54–553,26) дня на 100 работающих до 536,2 (95 % ДИ 414,47–658,01), показатели временной нетрудоспособности в неэкспонированной группе ниже по сравнению с экспонированной, что связано с отсутствием влияния вредных факторов производственной среды.

Анализ временной нетрудоспособности по годам в неэкспонированной группе показал, что в 2016 г. число случаев ВН снизилось на 4,6 % по сравнению с 2015 г., затем в последующие два года наблюдался подъем числа случаев (на 4,7 % в 2017 г. по отношению к 2016 г. и на 15,7 % в 2018 г. по отношению к 2017 г.). В 2019 г. произошло снижение числа случаев на 10,0 % по сравнению с показателем 2018 г.

В экспонированной группе в 2016 г. число случаев ВН снизилось на 4,2 % по сравнению с уровнем предыдущего года. В 2017 г. показатель 85,1 (95 % ДИ 69,88–100,33) случая на 100 работающих был наибольшим за весь период наблюдения (2015–2019 гг.) вследствие увеличения числа случаев ВН на 12,1 %. Снижение числа случаев на 20,0 % в 2018 г. сменилось подъемом на 6,6 % в последующем году.

При сравнении полученного расчетным способом интегрального коэффициента Розенфельда, позволяющего учесть и случаи и дни ВН, для экспонированной группы (Кинт — 241,9) и среднегодового показателя по республике (Кинт — 215,7) статистически значимых различий не выявлено [7]. Однако данный показатель у экспонированной группы был статистически значимо выше по сравнению с неэкспонированной (Кинт — 179,3; $t = 3,54$; $p < 0,001$). Таким образом, значения интегральных показателей сравниваемых групп позволяют оценить уровень заболеваемости с ВУТ работников неэкспонированной группы как низкий, а экспонированной — ниже среднего.

Изучение структуры заболеваемости с ВУТ работников экспонированной группы позволило выявить группы болезней, которые обеспечивают наибольшие трудовые потери. За период с 2015 по 2019 г. заболевания в порядке убывания ранга расположились в следующей последовательности: болезни органов дыхания, болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, травмы и отравления, болезни системы кровообращения, новообразования, болезни системы пищеварения, болезни мочеполовой системы.

Наибольшую долю в причины временной нетрудоспособности за исследуемый период (55,7 % по случаям ВН и 38,6 % по календарным дням) внесли болезни органов дыхания (42,8 случая ВН на 100 работающих), а именно острые респираторные инфекции (94,2 % по случаям и 92,3 % по дням)

и пневмонии (1,9 % по случаям и 3,7 % по дням) (рисунок 1). Весомый вклад данного класса заболеваний в общую структуру заболеваемости с ВУТ работников может быть связан с их условиями труда. Так, в частности, в ходе проведенных исследований установлены отклонения от гигиенических нормативов по содержанию вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны (превышения по содержанию пыли растительного происхождения с содержанием SiO₂ 2–10 % на рабочем месте аппаратчика широкого профиля производства химико-фармацевтических препаратов участка ферментации и химической очистки лекарственных препаратов, эмоксипина на рабочем месте аппаратчика приготовления стерильных растворов, а также контакт аппаратчика приготовления стерильных растворов и дозировщика медицинских препаратов с нерегламентированными химическими соединениями) [8].



Рисунок 1. — Структура случаев (слева) и календарных дней (справа) временной нетрудоспособности в экспонированной группе за 2015–2019 гг., %

Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани с 9,7 случая ВН на 100 работающих расположились на втором месте в структуре заболеваемости с ВУТ по случаям (12,6 %) и на третьем — по календарным дням (12,6 %), что может быть обусловлено тяжестью труда работников (значительным количеством стереотипных рабочих движений — до 10 819 при региональной нагрузке, фиксированной неудобной рабочей позой, массой поднимаемого груза — до 97,35 кг/ч с рабочей поверхностью) [8]. В формировании показателей заболеваемости данной нозологии преимущественная роль принадлежит неврологическим проявлениям поясничного и грудного остеохондроза (74,2 % по случаям и 45,1 % по дням).

Травмы и отравления среди работников находились на третьем месте по случаям (7,2 %) и вторым — по количеству календарных дней (15,6 %). Основа патологии — изолированные переломы и вывихи верхних и нижних конечностей (66,1 % по случаям и 76,3 % по дням).

Болезни системы кровообращения (5,2 случая ВН на 100 работающих) находились на четвертом месте по случаям (6,8 %) и пятом по календарным дням (8,0 %) среди всех причин нетрудоспособности. Новообразования — на пятом месте по количеству случаев (4,8 %) и четвертом по календарным дням (10,9 %). На шестом месте в системе рангов находились заболевания системы пищеварения как по количеству случаев, так и по количеству календарных дней. При этом средний удельный вес данного вида патологии составил 3,4 % по случаям ВН и 3,3 % по календарным дням ВН. Далее располагались болезни мочеполовой системы с удельным весом 2,7 % случаев и 3,2 % календарных дней.

В таблице 1 представлены результаты анализа заболеваемости с ВУТ работников по половому признаку, в ходе которого установлено, что у лиц мужского пола, занятых при производстве жидких лекарственных средств, превалирует число случаев ВН и календарных дней ВН (85,0 (95 % ДИ 70,40–99,60) случая ВН и 821,6 (95 % ДИ 561,23–1081,97) дня ВН) над этими показателями у женщин (60,1 (95 % ДИ 53,30–66,90) случая и 743,9 (95 % ДИ 613,36–874,44) дня ВН). Также выявлено, что у мужчин экспонированной группы показатели ВН статистически значимо выше: число болеющих лиц выше на 43,7 % ($t = 2,76$; $p < 0,01$), число случаев ВН — на 68,3 % ($t = 4,09$; $p < 0,001$), а число календарных дней ВН — на 90,4 % ($t = 2,76$; $p < 0,01$). Кроме того, у женщин экспонированной группы число календарных дней ВН статистически значимо выше на 43,2 % ($t = 3,06$; $p < 0,01$), чем у женщин, входящих в состав неэкспонированной группы, однако достоверно ниже по количеству случаев на

13,3 % ($t = 2,15$; $p < 0,05$). Полученные значимые различия между группами сравнения подтверждают связь между условиями труда и уровнем заболеваемости с ВУТ.

Таблица 1. — Показатели заболеваемости с ВУТ работников групп сравнения в зависимости от пола за период 2015–2019 гг., $M \pm m$

Показатель ВН (на 100 работающих)	Неэкспонированная группа		Экспонированная группа	
	мужчины	женщины	мужчины	женщины
Болеющие лица	30,0 ± 2,55	39,0 ± 1,45	43,1 ± 4,00**	44,1 ± 2,22
Случаи	50,5 ± 3,95	69,3 ± 2,47	85,0 ± 7,45***	60,1 ± 3,47*
Дни	431,6 ± 48,03	519,6 ± 30,85	821,6 ± 132,84**	743,9 ± 66,60**

* статистически значимые различия по сравнению с неэкспонированной группой при $p < 0,05$;
 ** статистически значимые различия по сравнению с неэкспонированной группой при $p < 0,01$;
 *** статистически значимые различия по сравнению с неэкспонированной группой при $p < 0,001$.

Анализ показателей ВН экспонированной группы в разрезе возрастных группировок показал, что минимальные показатели ВН отмечались у работников в возрастной группе «30–39 лет» — 63,8 (95 % ДИ 49,90–77,70) случая ВН на 100 работающих. Далее расположились следующие группы — «старше 50 лет» со значением 78,7 (95 % ДИ 68,68–88,72) случая ВН и «менее 30 лет» со значением 80,3 (95 % ДИ 58,68–101,92) случая ВН. Максимальный же уровень случаев ВН регистрировался у работников возрастной категории «40–49 лет» и составил 82,3 (95 % ДИ 68,15–96,45). Стоит отметить, что для всех возрастных групп работников, непосредственно занятых при производстве жидких лекарственных средств (экспонированная группа), характерны более высокие значения показателей, чем для неэкспонируемой группы. При этом среди работников экспонированной группы в возрастной категории «40–49 лет» число болеющих лиц и число случаев ВН статистически значимо выше на 30,7 % ($t = 2,32$; $p < 0,05$) и 27,4 % ($t = 2,05$; $p < 0,05$) соответственно по отношению к неэкспонированной группе (таблица 2).

Таблица 2. — Показатели заболеваемости с ВУТ работников групп сравнения в зависимости от возраста за период 2015–2019 гг. (на 100 круглогодичных работников), $M \pm m$

Группы сравнения	Показатель ВН	Возраст, лет			
		< 30	30–39	40–49	50 >
Неэкспонированная	Болеющие лица	42,5 ± 3,50	32,3 ± 2,05	36,8 ± 2,83	40,9 ± 2,33
	Случаи	68,0 ± 5,83	57,1 ± 3,31	64,6 ± 4,71	70,9 ± 3,98
	Дни	409,0 ± 57,84	399,8 ± 35,07	581,1 ± 68,13	604,9 ± 57,22
Экспонированная	Болеющие лица	42,4 ± 6,08	35,4 ± 4,24	48,1 ± 3,97*	45,2 ± 2,87
	Случаи	80,3 ± 11,03	63,8 ± 7,09	82,3 ± 7,22*	78,7 ± 5,11
	Дни	536,4 ± 132,04	550,4 ± 97,68	697,5 ± 110,98	933,9 ± 107,66**

* статистически значимые различия по сравнению с неэкспонированной группой при $p < 0,05$;
 ** статистически значимые различия по сравнению с неэкспонированной группой при $p < 0,01$.

Анализ показателей случаев ВН в зависимости от стажа работы в экспонированной группе свидетельствует о том, что наименьшие значения отмечались у работников со стажем «5–9 лет» — 62,9 (95 % ДИ 51,16–74,64) случая ВН на 100 работающих. Практически на одном уровне зарегистрированы показатели в стажевых группах «до 5 лет» — 79,0 (95 % ДИ 68,34–89,66) случая ВН, «10–14 лет» — 78,5 (95 % ДИ 61,70–95,30) случая ВН и «более 19 лет» — 76,5 (95 % ДИ 34,93–118,07) случая ВН. Наибольшие же показатели зафиксированы у работников стажевой группы «15–19 лет» (97,6 (95 % ДИ 76,59–118,61) случая ВН). Более высокие значения показателей заболеваемости у высокостажированных работников и работников старшего возраста по сравнению с другими категориями могут быть обусловлены ухудшением состояния их здоровья вследствие длительного контакта с неблагоприятными факторами производственной среды.

Среди работников, занятых при производстве жидких лекарственных средств, входящих в состав стажевой группы «15–19 лет», было статистически значимо выше — в 1,8 раза — число болеющих лиц ($t = 3,51$; $p < 0,001$) по сравнению с неэкспонированной группой, в 2,7 раза выше число случаев ВН ($t = 4,65$; $p < 0,001$), а также в 4,3 раза выше число календарных дней ВН ($t = 3,42$; $p < 0,01$).

Заключение. По результатам проведенной работы, направленной на изучение состояния здоровья работников, занятых при производстве жидких лекарственных средств, можно сделать следующие выводы.

1. За период с 2015 по 2019 г. у экспонированной группы отмечена тенденция к снижению числа болеющих лиц на 100 работающих на 11,1 %, снижение числа случаев ВН на 8,3 %, а также снижение на 9,4 % числа календарных дней ВН. Общий уровень заболеваемости с ВУТ у экспонированной группы за пятилетний период оценивается как «ниже среднего».

2. В структуре заболеваемости с ВУТ работников, занятых при производстве жидких лекарственных средств, ведущее место занимают болезни органов дыхания, костно-мышечной системы и соединительной ткани, травмы и отравления.

3. В разрезе возрастных группировок экспонированной группы минимальные значения показателей ВН отмечались у работников возрастной категории «30–39 лет», а максимальный уровень случаев ВН регистрировался у работников возрастной группы «40–49 лет». По отношению к неэкспонированной группе число болевших лиц и число случаев ВН у работников экспонированной группы в возрастной категории «40–49 лет» было статистически значимо выше: на 30,7 % ($t = 2,32$; $p < 0,05$) и 27,4 % ($t = 2,05$; $p < 0,05$) соответственно.

4. Наиболее неблагоприятным стажевым диапазоном является «15–19 лет», которому соответствуют наибольшие значения показателей заболеваний с ВУТ на 100 круглогодичных работников.

Литература

1. *Каравайчик, А. И.* Заболеваемость с временной утратой трудоспособности и профессиональный риск на предприятиях заводского района г. Минска / А. И. Каравайчик, Н. П. Кудрейко, Г. Е. Косяченко // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье и окружающая среда», Минск, 15–16 нояб. 2018 г.: в 2 т. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик. — Минск: РНМБ, 2018. — Т. 2. — С. 102–105.

2. Оценка состояния заболеваемости рабочих производственных объектов с временной утратой трудоспособности / Д. С. Хакимова [и др.] // Молодой ученый. — 2019. — № 25. — С. 66–69.

3. Состояние здоровья работающих в химико-фармацевтической отрасли / Л. Г. Горохова [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. — 2018. — № 6. — С. 38–42.

4. *Шпагина, Л. А.* Актуальные проблемы профессиональных заболеваний легких / Л. А. Шпагина // Сибир. науч. мед. журн. — 2017. — Т. 37, № 1. — С. 55–60.

5. Профессиональные риски здоровью работников химического комплекса / Э. Т. Валеева [и др.] // Анализ риска здоровью. — 2016. — № 3. — С. 88–97.

6. Углубленный анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности работающих: метод. указания, рег. № 112–9911: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 30 нояб. 1999 г. // Сб. офиц. док. по медицине труда и производственной санитарии. — Минск: Респ. центр гигиены и эпидемиологии, Науч.-исслед. ин-т санитарии и гигиены, 2001. — Т. 8. — С. 79–100.

7. Критерии оценки и показатели производственно обусловленной заболеваемости для комплексного анализа влияния условий труда на состояние здоровья работников, оценки профессионального риска: инструкция по применению, рег. № 062–1109: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 24 нояб. 2009 г. / разработ.: Р. Д. Клебанов [и др.]. — Минск, 2009. — 33 с.

8. *Арабей, С. В.* Гигиеническая оценка состояния производственной среды и условий труда при производстве жидких лекарственных средств / С. В. Арабей, А. В. Гиндюк // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.), Г. Е. Косяченко (зам. гл. ред.) [и др.]. — Минск: Изд. центр БГУ, 2020. — Вып. 30. — С. 121–127.

Arabei S. V., Hindziuk A. V.

ANALYSIS OF THE MORBIDITY WITH TEMPORARY DISABILITY OF WORKERS EMPLOYED IN THE PRODUCTION OF LIQUID MEDICINES

Education institution «Belarusian State Medical University», Minsk, Belarus

The article provides an in-depth analysis of the incidence of temporary disability in workers involved in the production of liquid medicines for the period from 2015 to 2019. The morbidity assessment was carried out in a comparative analysis with the conditional control group (employees of the plant management

departments). The structure of morbidity with temporary disability by diseases classes was studied, age and trainee categories of workers with a high level of morbidity with TD were established. Significant differences with the comparison group were identified.

Keywords: morbidity with temporary disability, health status, structure, dynamics.

References

1. Karavaychik A. I., Kudreyko N. P., Kosyachenko G. E. Incidence with temporary disability and occupational risk at enterprises of the plant district of Minsk. In: Sychik S. I. et al., eds. *Proceedings of the international scientific and practical conference «Health and Environment», Minsk, November 15–16, 2018*. v. 2. Minsk; 2018: 102–5. (in Russian)
 2. Hakimova D. S., Ergasheva V. Sh., Makhmudaliyeva Ch. G. et al. Assessment of the Condition of Incidence of Working Production Objects with Temporary Disability. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*. 2019; 25: 66–9. (in Russian)
 3. Gorokhova L. G., Ulanova E. V., Shavtsova G. M. et al. Health state of workers in chemical and pharmaceutical industry. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2018; 6: 38–42. (in Russian)
 4. Shpagina L. A. Actual problems of occupational pulmonary diseases. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal*. 2017; 37(1): 55–60. (in Russian)
 5. Valeyeva E. T., Bakirov A. B., Kapstov V. A. et al. Occupational risks for health of the workers of the chemical complex. *Health Risk Analysis*. 2016; 3: 88–97. (in Russian)
 6. In-depth analysis of morbidity with temporary disability of workers: guidelines, reg. No 112–9911: approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus on November 30, 1999. In: *Collection of official documents on occupational medicine and industrial sanitation*. Iss. 8. Minsk; 2001: 79–100. (in Russian)
 7. Klebanov R. D., Suvorova I. V., Kosyachenko G. E. et al. Evaluation criteria and indicators of production-related morbidity for a comprehensive analysis of the impact of working conditions on the health of workers, assessment of occupational risk: instruction, reg. No 062–1109: approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus on November 24, 2009. Minsk; 2009. (in Russian)
 8. Arabei S. V., Gindziuk A. V. Hygienic assessment of the state of the production environment and working conditions in the production of liquid medicines. In: Sychik S. I., chief ed. *Zdorov'ye i okruzhayushchaya sreda [Health and environment]*: Collection of scientific papers of the Scientific Practical Centre of Hygiene. Iss. 30. Minsk; 2020: 121–7. (in Russian)
- e-mail* для переписки: arabei sergei@mail.ru

Поступила 15.11.2021

УДК [613.645:616–001.14/15]:591.5

Баслык А. Ю., Конопляно В. А., Итпаева-Людчик С. Л., Сарапина Е. П., Захаренко Т. В.

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ БЕЛЫХ КРЫС В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В публикации представлены результаты исследований поведенческих реакций лабораторных крыс при моделировании световой среды, формируемой светодиодами источниками света с разным спектральным составом. Дифференцирующим критерием искусственной световой среды, воздействию которой подвергались экспериментальные группы лабораторных животных, являлась цветность видимого излучения, выраженная коррелированной цветовой температурой со значениями 2 000, 2 700, 4 000, 5 700 и 8 000 К. В эксперименте выявлены наиболее выраженные и стойкие изменения оцениваемых показателей в опытных группах, содержащихся в условиях искусственной световой среды с коррелированной цветовой температурой 2 000 К и 8 000 К.

Ключевые слова: светодиод, световая среда, цветная температура, поведенческие реакции, лабораторные животные.

Введение. Световая среда является физиологически значимым элементом естественной окружающей среды, необходимым для нормального функционирования организма человека. При этом

электрический свет стал одним из основных факторов успешного развития современного общества. Одновременно с этим широкое применение электрического освещения в помещениях производственных и общественных зданий следует рассматривать как фактор риска неблагоприятного воздействия искусственной световой среды непосредственно на орган зрения человека, на процессы зрительного восприятия, психофизиологические реакции и нейроэндокринную регуляцию функций организма.

В последнее десятилетие отмечается ежегодный прирост использования светодиодной (далее — СД) продукции в системах освещения, так как она демонстрирует эффективную экономию энергии [1], продолжительный срок службы [2] и другие преимущества применения. Согласно анализу, выполненному экспертами Министерства энергетики Соединенных Штатов Америки (далее — США) и представленному в отчете «2019 Lighting R&D Opportunities» от 23.01.2020, объем проникновения СД технологии в системах освещения к моменту публикации отчета составил около 40 %, прирост применения светодиодных источников света (далее — ИС) — около 4 % в год [3]. При этом один из вероятных сценариев развития рынка СД светотехнической продукции, представленный в указанном отчете, предполагает, что проникновение СД ИС к 2035 г. в США достигнет 84 % от числа всех осветительных установок.

Таким образом, можно утверждать, что настоящее время характеризуется переходом от традиционно сложившейся системы освещения (с применением в основном разрядных (люминесцентных) ИС и частичным использованием ламп накаливания) к принципиально новой технологии на основе СД. В зарубежном светотехническом сообществе данная технология определяется как твердотельное освещение (англ. solid-state lighting, SSL). Поскольку СД кристалл излучает монохроматический свет, для решения задачи формирования электрическими ИС белого света необходимы методы получения широкополосного спектра электромагнитного излучения в видимом диапазоне длин волн.

В настоящее время применяется несколько способов получения «белого» света с помощью СД ИС [4]. Первый способ заключается в смешении излучения нескольких СД, генерирующих красный (R), зеленый (G) и синий (B) цвета (англ. color-mixed LED, CM-LED). Иногда для улучшения качества «белого» света добавляется оранжевый (A) СД. Недостатками мульткристалльных СД ИС являются плохая цветопередача, обусловленная тем, что спектр излучения состоит из относительно узких спектральных компонентов, а также сложность конструкции, что определяет высокую стоимость и наличие дополнительных рисков возможных сбоев в работе в процессе длительной эксплуатации.

Второй способ заключается в использовании в качестве ИС одного СД кристалла, покрытого типовым (стоксовым) люминофором. Люминофор в электрических процессах участия не принимает и самостоятельно не испускает видимое электромагнитное излучение. Однако, поглощая часть квантов коротковолнового света (синего с длиной волны (λ) видимого излучения 440–460 нм, фиолетового с λ 405–410 нм и ультрафиолетового с λ около 390 нм), генерируемого СД кристаллом, люминофор преобразует их в желто-зеленую или красную часть спектра в таком соотношении, при котором результирующее видимое излучение воспринимается зрительным анализатором человека как цвет, близкий к белому. Такие типы СД ИС, называемые люминофорными (англ. phosphor-converted LED, PC-LED), имеют ряд преимуществ: простота (использование только одного СД), температурная устойчивость, стабильность цвета и возможность обеспечения хорошей цветопередачи. Существенным недостатком люминофорных источников является выраженная коротковолновая составляющая в спектре видимого излучения, при этом отмечается, что слои люминофора могут со временем деградировать, приводя к изменению изначально заявляемых спектральных характеристик и увеличению значений коррелированной цветовой температуры (далее — КЦТ). В настоящее время данный способ генерирования белого света является доминирующим, а люминофорные СД — наиболее распространенными источниками белого света [3], что и определило выбор данного типа источников для моделирования искусственной световой среды в условиях эксперимента.

Использование различных комбинаций СД кристаллов и люминофоров позволяет создавать ИС, излучающие свет в широком диапазоне цветностей белого. При этом применение в системах освещения ИС, обладающих разными цветовыми характеристиками, представляет научный интерес с точки зрения изучения влияния особенностей спектрального состава световой среды пространства на формирование ответных реакций организма. Следует отметить, что принятой мерой объективной оценки восприятия цветности (оттенка белого света) ИС, отражающих объектов и световой среды в целом является КЦТ [5]. Цветность излучения по КЦТ классифицируется как теплая (при КЦТ менее 3 300 К), средняя или нейтральная (3 300–5 300 К) и холодная (свыше 5 300 К) [5]. Цветность белого света, излучаемого люминофорными СД, может варьировать в широком диапазоне — от крайне теплой (свет пламени свечи, КЦТ 2 000 К) до сверххолодной (ясное полуденное небо в снежный зимний день, КЦТ 7 000 К и выше). Учитывая вышеизложенное, в нашем исследовании условия искус-

ственной световой среды, в которой содержались экспонируемые группы лабораторных животных, отличались цветностью излучения СД ИС (теплая, нейтральная, холодная), критерием оценки которой являлась КЦТ.

Результаты исследований, полученные научными коллективами разных стран в предшествующие десятилетия, указывают, что особенности распределения энергии в спектре видимого излучения, помимо формирования зрительного восприятия наблюдателем разных вариаций цветности белого света благодаря морфофункциональным связям зрительного анализатора и гипоталамо-гипофизарной системы, обладают рядом не визуальных эффектов воздействия на организм человека, проявляющихся развитием приспособительных, в том числе поведенческих, реакций [6, 7]. Изучение влияния различных условий световой среды на поведение лабораторных животных свидетельствует о наличии множественных индуцированных световым воздействием изменений психоэмоционального состояния (тревожность, нарушение реактивности, изменение исследовательского поведения, локомоторного и эмоционального статуса) [8, 9]. Таким образом, применение СД ИС, характеризующихся большим количеством возможных комбинаций спектрального состава излучения белого света, требует выработки критериев оценки СД освещения с позиций безопасности и безвредности для человека и представляет собой актуальное направление научных исследований в области гигиены света, одним из важных элементов которых являются экспериментальные исследования влияния цветовых характеристик световой среды на функциональное состояние лабораторных животных.

Цель работы — изучить особенности поведенческих реакций лабораторных животных в условиях воздействия световой среды, формируемой СД ИС с разным спектральным составом.

Материалы и методы. Для исследования влияния искусственной световой среды, формируемой СД ИС с разным спектральным составом, на поведение лабораторных животных специалистами республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» совместно с сотрудниками республиканского научно-производственного унитарного предприятия «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси» создана экспериментальная установка [10], состоящая из 9 изолированных боксов, габариты которых позволяют разместить одну стандартную клетку для мелких лабораторных грызунов. В боксах для размещения опытных групп самцов крыс при помощи СД ИС была смоделирована искусственная световая среда, характеризующаяся одинаковыми количественными показателями (световой поток около 1 400 лм; освещенность $200 \text{ лк} \pm 15\%$ на уровне условной рабочей поверхности, расположенной на высоте 70 мм от дна бокса [11; 12]), но отличающаяся спектральным составом (цветностью) СД белого света. Показателем, применяемым в эксперименте для характеристики цветности излучения СД ИС, была принята КЦТ, которая является наиболее распространенной мерой оценки оттенка белого цвета. Для моделирования освещения в эксперименте использовались СД ИС с различной КЦТ, что позволило создать в боксах искусственную световую среду, характеризующуюся теплой (КЦТ 2 000 К и 2 700 К), нейтральной (КЦТ 4 000 К) и холодной (КЦТ 5 700 К и 8 000 К) цветностью излучения, включающей пограничные значения (КЦТ 2 000 К и 8 000 К) приемлемого для наблюдателя оттенка белого света [13].

Сформировано 9 групп лабораторных животных по 7 особей в каждой группе: 1 контрольная и 8 опытных групп (таблица 1). Группа № 1 содержалась в боксе, оборудованном СД ИС типа I, характеризующимися максимумом излучения полупроводниковых кристаллов в синей области видимого спектра (длина волны около 470 нм), с КЦТ 2 000 К; группа № 2 содержалась в боксе, оборудованном СД ИС типа I с КЦТ 8 000 К; группы № 3, № 4, № 5 содержались в боксах, оборудованных СД ИС типа I с КЦТ 2 700 К, 4 000 К и 5 700 К соответственно; группы № 6, № 7, № 8 содержались в боксах, оборудованных СД ИС типа II на основе полупроводниковых кристаллов, излучающих в фиолетовой области видимого спектра (длина волны около 405 нм), с КЦТ 2 700 К, 4 000 К и 5 700 К соответственно. Контрольная группа содержалась в боксе с естественным освещением.

Таблица 1. — Параметры световой среды боксов, в которых содержались группы лабораторных животных

Группы лабораторных животных (n = 7)	КЦТ, К	Цветность видимого излучения	Тип ИС, примененных для освещения рабочей поверхности бокса
Контрольная	Динамическая	Динамическая	Естественное освещение
№ 1 (СД I-2000)	$2000 \text{ К} \pm 15\%$	Крайне теплая	Светодиодные I тип (470 нм)
№ 2 (СД I-8000)	$8000 \text{ К} \pm 15\%$	Крайне холодная	
№ 3 (СД I-2700)	$2700 \text{ К} \pm 15\%$	Теплая	

Группы лабораторных животных (n = 7)	КЦТ, К	Цветность видимого излучения	Тип ИС, примененных для освещения рабочей поверхности бокса
№ 4 (СД I-4000)	4 000 К ± 15 %	Нейтральная	Светодиодные I тип (470 нм)
№ 5 (СД I-5700)	5 700 К ± 15 %	Холодная	
№ 6 (СД II-2700)	2 700 К ± 15 %	Теплая	Светодиодные II тип (405 нм)
№ 7 (СД II-4000)	4 000 К ± 15 %	Нейтральная	
№ 8 (СД II-5700)	5м 700 К ± 15 %	Холодная	

Использовалось 8-часовое искусственное освещение в период с 9:00 до 17:00, остальное время суток лабораторные животные всех групп находились в одинаковых условиях естественного освещения вивария. Влияние световой среды изучалось по поведенческим реакциям лабораторных животных после 14-суточной, 28-суточной и 90-суточной экспозиции.

Экспериментальная часть работы выполнена на половозрелых самцах нелинейных белых крыс массой 150–220 г, которые содержались на стандартном рационе питания. Обращение с животными соответствовало этическим принципам надлежащей лабораторной практики и международным требованиям [14].

По окончании каждого этапа эксперимента у подопытных животных в тесте открытого поля [15] изучались поведенческие реакции по следующим показателям:

двигательной активности: горизонтальная двигательная активность (условное обозначение — сектор) — число пересечений четырехугольников сектора 4 лапами (перемещение всех лап в другой сектор); вертикальная двигательная активность (условное обозначение — стойка) — количество подъемов крысы в вертикальное положение с опорой (крыса встает на задние лапы, опираясь на стену) и без опоры (крыса встает на задние лапы, а передние находятся в воздухе);

исследовательская активность («норковый рефлекс» (условное обозначение — норка) — число обследований отверстий, которое определялось количеством заглядываний в отверстия);

эмоциональный статус (условное обозначение — груминг) — количество эпизодов короткого (1–2 быстрых круговых движения лап вокруг носа) и длительного (умывание в области глаз, заведение лап за область ушей) груминга; вегетативная деятельность (условное обозначение — болюсы) — количество актов дефекации за время теста.

Опыты проведены на установке «Открытое поле» (производства ООО «НПК Открытая Наука», Российская Федерация). Установка представляет собой круглую площадку (арену) с диаметром 97 см и высотой стенок 42 см, площадь арены разделена на 25 равных секторов, на пересечении которых имеется 16 отверстий диаметром 3 см [16]. Продолжительность теста для каждого животного составляла 3 минуты. Тестирование начиналось с момента размещения животного в центре арены.

Полученные данные для оценки достоверности подвергали статистической обработке общепринятыми методами [17, 18]. Расчеты статистической значимости критериев проверки нулевой гипотезы на соответствие фактического распределения измеренных значений нормальному показали, что уровень статистической значимости (далее — p) для критериев Колмогорова—Смирнова, Колмогорова—Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро—Уилка составил менее 0,05, что свидетельствует о распределении изучаемой выборки, отличающемся от нормального, поэтому количественные значения оцениваемых показателей поведенческих реакций крыс ниже представлены в виде медианы (далее — Me) и интерквартильного размаха (25 %; 75 %). При оценке различий между результатами опыта и показателями контроля использовали непараметрический U -критерий Манна—Уитни [19]. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез был принят критерий доверительной вероятности $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. За период наблюдения летальных исходов не зарегистрировано, внешних признаков нарушения состояния белых крыс всех групп не обнаружено. Статистически значимых различий массы тела животных экспериментальных групп в сравнении с контрольной группой не выявлено.

Результаты исследования поведения по окончании 14-суточной экспозиции (таблица 2) показали увеличение эмоциональной реактивности в группе лабораторных крыс, находящихся в условиях крайне холодной по цветности световой среды, в сравнении с контрольной, о чем можно судить по увеличению горизонтальной двигательной активности, количества болюсов, эпизодов груминга и снижению вертикальной двигательной активности. При этом в группе с КЦТ 2 000 К

отмечались противоположные изменения поведения. В частности, в группе с КЦТ 2000 К показано увеличение вертикальной и снижение горизонтальной двигательной активности по сравнению с контрольной группой.

Для экспериментальных групп (№ 4, 5, 6) выявлена особенность изменения поведения крыс, проявляющаяся в снижении такой эмоциональной составляющей поведения, как груминг.

Таблица 2.— Показатели поведенческих реакций крыс после 14-суточной экспозиции

Группа лабораторных животных	Показатели, усл. ед. Ме (P25–P75)				
	груминг	стойка	норка	сектор	болюсы
Контрольная	2,0 (1,0–6,0)	10,0 (3,0–11,0)	4,0 (2,0–5,0)	37,0 (29,0–43,0)	3,0 (1,0–3,0)
№ 1 СД тип I 2 000 К	2,0 (0,0–4,0)	13,0 (5,0–15,0)*	1,0 (0,0–2,0)	11,0 (4,0–14,0)*	1,0 (0,0–2,0)
№ 2 СД тип I 8 000 К	3,0 (1,0–4,0)*	7,0 (5,0–9,0)*	2,0 (0,0–3,0)	54,0 (50,0–60,0)*	5,0 (3,0–6,0)*
№ 3 СД тип I 2 700 К	2,0 (1,0–5,0)	8,0 (4,0–12,0)	3,0 (1,0–4,0)	33,0 (25,0–46,0)	2,0 (2,0–3,0)
№ 4 СД тип I 4 000 К	2,0 (1,0–5,0)*	8,0 (1,0–12,0)	3,0 (2,0–5,0)	38,0 (20,0–42,0)	3,0 (1,0–4,0)
№ 5 СД тип I 5 700 К	0,0 (0,0–4,0)*	9,0 (3,0–14,0)	2,0 (0,0–3,0)	43,0 (30,0–45,0)	1,0 (0,0–3,0)
№ 6 СД тип II 2 700 К	1,0 (0,0–2,0)*	9,0 (4,0–12,0)	3,0 (1,0–4,0)	31,0 (24,0–42,0)	2,0 (1,0–4,0)
№ 7 СД тип II 4 000 К	1,0 (0,0–3,0)	3,0 (0,0–12,0)	4,0 (3,0–5,0)	32,0 (25,0–36,0)	2,0 (1,0–3,0)
№ 8 СД тип II 5 700 К	3,0 (2,0–5,0)	8,0 (4,0–13,0)	2,0 (0,0–5,0)	44,0 (20,0–50,0)	2,0 (1,0–5,0)

* статистически значимые различия в сравнении с контрольной группой, $p < 0,05$.

В ходе анализа результаты поведения лабораторных животных по окончании 28-суточной экспозиции (таблица 3) оказались схожими с результатами 14-суточной экспозиции и проявлялись снижением вертикальной двигательной активности, увеличением количества болюсов и горизонтальной подвижности крыс, находящихся в условиях искусственной световой среды с крайне холодной цветностью излучения (КЦТ 8 000 К). При этом в группе с крайне теплой цветностью излучения СД ИС (КЦТ 2 000 К) отмечалось увеличение вертикальной и снижение горизонтальной двигательной активности. Следует отметить общую для нескольких экспериментальных групп (№ 2 СД тип I 8 000 К, № 4 СД тип I 4 000 К, № 5 СД тип I 5 700 К, № 6 СД тип II 2 700 К, № 8 СД тип II 5 700 К) закономерность в виде снижения груминговой активности.

Таблица 3.— Показатели поведенческих реакций крыс после 28-суточной экспозиции

Группа лабораторных животных	Показатели, усл. ед. Ме (P25–P75)				
	груминг	стойка	норка	сектор	болюсы
Контрольная	5,0 (3,0–6,0)	10,0 (7,0–15,0)	2,0 (0,0–4,0)	28,0 (12,0–34,0)	2,0 (1,0–3,0)
№ 1 СД тип I 2 000 К	2,0 (1,0–4,0)	5,0 (3,0–8,0)*	2,0 (1,0–2,7)	9,0 (5,0–12,0)*	2,0 (2,0–2,2)
№ 2 СД тип I 8 000 К	2,0 (0,0–2,0)*	6,0 (5,0–7,0)*	3,0 (2,0–6,0)	43,0 (39,0–48,0)*	5,0 (4,0–6,0)*
№ 3 СД тип I 2 700 К	2,0 (1,0–4,0)	11,0 (8,0–12,0)	2,0 (1,0–3,0)	36,0 (24,0–43,0)	1,0 (0,0–3,0)
№ 4 СД тип I 4 000 К	2,0 (1,0–3,0)*	9,0 (8,0–12,0)	3,0 (2,0–4,0)	45,0 (27,0–48,0)	2,0 (2,0–3,0)
№ 5 СД тип I 5 700 К	0,0 (0,0–1,0)*	6,0 (5,0–7,0)	2,0 (0,0–3,0)	43,0 (30,0–45,0)	1,0 (0,0–2,0)

Группа лабораторных животных	Показатели, усл. ед. Ме (P25–P75)				
	груминг	стойка	норка	сектор	болюсы
№ 6 СД тип II 2 700 К	0,0 (0,0–0,0)*	9,0 (4,0–11,0)	5,0 (3,0–6,0)	37,0 (23,0–53,0)	2,0 (0,0–2,0)
№ 7 СД тип II 4 000 К	2,0 (1,0–3,0)	8,0 (3,0–9,0)	2,0 (2,0–3,0)	36,0 (32,0–48,0)	3,0 (2,0–4,0)
№ 8 СД тип II 5 700 К	2,0 (0,0–2,0)*	8,0 (7,0–9,0)	2,0 (1,0–3,0)	33,0 (19,0–42,0)	3,0 (2,0–5,0)

* статистически значимые различия в сравнении с контрольной группой, $p < 0,05$.

Результаты исследования поведения белых крыс по окончании 90-суточной экспозиции (таблица 4) выявили для всех экспериментальных групп снижение ($p < 0,05$) количества и степени выраженности показателей поведения лабораторных животных, статистически значимо отличающихся по сравнению с контролем. При этом следует отметить сохранение направленности изменений в группах, содержащихся в условиях световой среды, характеризующихся крайними значениями цветности (группа № 1 и группа № 2). Кроме того, по результатам изучения поведения белых крыс после 90-суточной экспозиции были выявлены статистически значимые снижение количества эпизодов груминга (группы № 1, 2, 8) и увеличение исследовательской активности в группах лабораторных животных, содержащихся в боксах с освещением, создаваемым СД ИС с КЦТ 8 000 К (группа № 2), и светодиодами типа II (фиолетовый СД кристалл) с КЦТ 5 700 К (группа № 8).

Таблица 4. — Показатели поведенческих реакций крыс после 90-суточной экспозиции

Группа лабораторных животных	Показатели, усл. ед. Ме (P25–P75)				
	груминг	стойка	норка	сектор	болюсы
Контрольная	3,0 (2,0–4,0)	3,0 (3,0–8,0)	1,0 (0,0–1,0)	16,0 (10,0–20,0)	4,0 (2,0–6,0)
№ 1 СД тип I 2 000 К	0,0 (0,0–2,0)*	1,0 (0,0–3,0)*	0,0 (0,0–0,0)*	11,0 (4,0–23,0)	6,0 (5,0–7,0)
№ 2 СД тип I 8 000 К	1,0 (0,0–2,0)*	1,0 (1,0–5,0)	6,0 (4,0–7,0)*	35,0 (27,0–38,0)*	5,0 (4,0–6,0)
№ 3 СД тип I 2 700 К	3,0 (1,0–4,0)	5,0 (2,0–7,0)	1,0 (1,0–2,0)	12,0 (11,0–18,0)	4,0 (1,0–5,0)
№ 4 СД тип I 4 000 К	3,0 (2,0–4,0)	7,0 (2,0–9,0)	2,0 (1,0–4,0)	13,0 (8,0–15,0)	3,0 (1,0–5,0)
№ 5 СД тип I 5 700 К	3,0 (1,0–4,0)	4,0 (4,0–10,0)	3,0 (1,0–3,0)	22,0 (18,0–34,0)	3,0 (0,0–7,0)
№ 6 СД тип II 2 700 К	3,0 (1,0–3,0)	3,0 (2,0–7,0)	1,0 (0,0–1,0)	12,0 (8,0–16,0)	4,0 (3,0–7,0)
№ 7 СД тип II 4 000 К	4,0 (2,0–5,0)	5,0 (3,0–9,0)	1,0 (0,0–2,0)	19,0 (11,0–22,0)	4,0 (2,0–5,0)
№ 8 СД тип II 5 700 К	1,0 (0,0–2,0)*	5,0 (2,0–8,0)	4,0 (2,0–4,0)*	25,0 (17,0–34,0)	4,0 (2,0–6,0)

* статистически значимые различия в сравнении с контрольной группой, $p < 0,05$.

Заключение. Проведенные исследования позволили выявить особенности поведения белых крыс при воздействии искусственной световой среды, формируемой светодиодными источниками света с разным спектральным составом. При влиянии на белых крыс искусственной световой среды с крайне холодной цветностью белого света (КЦТ 8 000 К) после 14- и 28-суточной экспозиции было установлено ($p < 0,05$) увеличение количества болюсов, горизонтальной двигательной активности и эпизодов груминга, что может свидетельствовать о преобладании процессов возбуждения нервной системы и повышенной эмоциональной лабильности.

Воздействие крайне теплой по цветности искусственной световой среды (КЦТ 2 000 К) вызывало ответные поведенческие реакции противоположной направленности, указывающие на более низкий

уровень тревожности животных данной опытной группы. Таким образом, наиболее выраженные и стойкие изменения оцениваемых показателей поведения были выявлены в экспериментальных группах животных, содержащихся в условиях искусственной световой среды с КИТ 2 000 К (крайне теплая) и 8 000 К (крайне холодная).

Изучение эмоциональной составляющей поведения крыс по показателям груминговой активности показало, что первоначальной (на 14-е и 28-е сутки эксперимента) реакцией на искусственный свет независимо от его спектрального состава было снижение эпизодов груминга. Однако при длительной световой экспозиции (90 суток) данный показатель эмоциональной компоненты поведения крыс опытных групп не отличался от реакций крыс контрольной группы, содержащихся в условиях естественного освещения вивария.

По окончании 90-суточной экспозиции было выявлено повышение поисково-исследовательской активности лабораторных животных, содержащихся в условиях искусственной световой среды с холодной цветностью белого света (5 700 К и 8 000 К), что в совокупности со снижением количества выявленных статистически значимых отличий изученных показателей поведения белых крыс опытных групп в сравнении с контрольной группой животных позволяет сделать предположение о благоприятном течении механизмов адаптации организма лабораторных животных.

Литература

1. The transition to solid-state lighting [Electronic resource].— Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/224396587_The_Transition_to_Solid-State_Lighting.— Date of access: 09.10.2021.
2. Light-Emitting Diodes (LEDs). Implications for Safety [Electronic resource].— Mode of access: https://journals.lww.com/health-physics/FullText/2020/05000/Light_Emitting_Diodes_LEDS_Implications_for.6.aspx.— Date of access: 10.10.2021.
3. Lighting R&D Opportunities. 2019 [Electronic resource].— Mode of access: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/01/f70/ssl-rd-opportunities2-jan2020.pdf>.— Date of access: 10.10.2021.
4. George, N. C. Phosphors for Solid-State White Lighting / N. C. George, K. A. Denault, R. Seshadri // Annual Review of Materials Research. — 2013. — Vol. 43, iss. 1. — P. 481–501.
5. EN 12464–1:2011. Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places / European Committee for Standardization. — Brussels, 2011. — 9 p.
6. Осиков, М. В. Механизм влияния мелатонина на иммунный статус при экспериментальном десинхронозе в условиях светодиодного освещения / М. В. Осиков, О. А. Гизингер, О. И. Огнева // Мед. иммунология. — 2015. — Т. 17, № 6. — С. 517–524.
7. The Impact of Daytime Light Exposures on Sleep and Mood in Office Workers / M. G. Figueiro [et al.] // Sleep Health. — 2017. — Vol. 3, № 3. — P. 204–215.
8. Виноградова, И. А. Сравнительное изучение влияния различных световых режимов, мелатонина и эпиталона на двигательную активность и психоэмоциональные проявления у крыс / И. А. Виноградова // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер.: Медицина. — 2007. — № 1. — С. 17–28.
9. Поведенческая активность крыс в «открытом поле» после световой или темновой деприваций и физического переутомления / А. А. Гостюхина [и др.] // Бюл. сибир. медицины. — 2016. — Т. 15, № 3. — С. 16–23.
10. Устройство моделирования световой среды: пат. ВУ 12250 U / А. Ю. Баслык, В. А. Коноплянко, Е. К. Власенко, С. Л. Итпаева-Людчик, Ю. В. Трофимов, С. И. Лишик, В. И. Цвирко, А. Е. Челябин. — Опубл. 28.02.2020.
11. Экспериментальная установка для исследования влияния освещения на лабораторных животных / А. Ю. Баслык [и др.] // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем: междунар. науч. конф.; Тринадцатый съезд Белорус. обществ. об-ния фотобиологов и биофизиков: тез. докл., Минск, Беларусь, 27–29 июня 2018 г. / редкол.: И. Д. Вологовский (отв. ред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2018. — С. 102.
12. Искусственная световая среда как фактор регуляции функций организма / В. А. Коноплянко [и др.] // Профессиональное здоровье и трудовое долголетие: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Шахты, 5–6 июля 2018 г. — Ростов н/Д: Фонд науки и образования, 2018. — С. 83–85.
13. Влияние искусственной световой среды на морфофункциональные показатели белых крыс / А. Ю. Баслык [и др.] // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; под общ. ред. Н. П. Жуковой; гл. ред. С. И. Сычик. — Вып. 28. — Минск: РНМБ, 2018. — С. 130–134.

14. Надлежащая лабораторная практика: ТКП 125–2008 (02040).— Введ. 28.03.2008.— Минск, 2008.— 34 с.
15. Hall, C. S. Emotional behavior in the rat. III. The relationship between emotionality and ambulatory activity / C. S. Hall // *J. Comp. Physiol.* — 1936. — Vol. 22. — P. 345–352.
16. Нотова, С. В. Современные методы и оборудование для оценки поведения лабораторных животных (обзор) / С. В. Нотова, Т. В. Казакова, О. В. Маршинская // *Животноводство и кормопроизводство.* — 2018. — Т. 101, № 1. — С. 106–115.
17. Медик, В. А. Статистика в медицине и биологии: в 2 т. — Т. 2: Прикладная статистика здоровья / В. А. Медик, М. С. Токмачев, Б. Б. Фишман; под ред. Ю. М. Комарова. — М.: Медицина, 2001. — 352 с.
18. Боровиков, В. П. STATISTICA: статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. — М.: Филинь, 1998. — 608 с.
19. Гублер, Е. В. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е. В. Гублер, А. А. Генкин. — Л.: Медицина, 1973. — 141 с.

Baslyk A. Y., Konoplyanko V. A., Itpayeva-Liudchyk S. L., Sarapina Y. P., Zakharanka T. V.

IMPACT OF ARTIFICIAL LIGHT ON BEHAVIORAL REACTIONS OF WHITE RATS IN EXPERIMENT

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The publication presents the results of studies of the behavioral responses in laboratory rats when simulating a light environment formed by LED light sources with different spectral composition. The differentiating criterion of the artificial light environment in which the experimental groups of laboratory animals were located was the chromaticity of visible radiation, expressed by the correlated colour temperature with values of 2 000, 2 700, 4 000, 5 700, and 8 000 K. The most pronounced and persistent changes in the estimated parameters in experimental groups of animals held under artificial light environment with correlated colour temperature of 2 000 K and 8 000 K were revealed.

Keywords: light-emitting diode, light environment, colour temperature, behavioral responses, laboratory animals.

References

1. The transition to solid-state lighting. Available at: https://www.researchgate.net/publication/224396587_The_Transition_to_Solid-State_Lighting (accessed 09 October 2021).
2. Light-Emitting Diodes (LEDs). Implications for Safety. Available at: https://journals.lww.com/health-physics/FullText/2020/05000/Light_Emitting_Diodes_LEDS_Implications_for.6.aspx (accessed 10 October 2021).
3. Lighting R&D Opportunities. 2019. Available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/01/f70/ssl-rd-opportunities2-jan2020.pdf> (accessed 10 October 2021).
4. George N. C., Denault K. A., Seshadri R. Phosphors for Solid-State White Lighting. *Annual Review of Materials Research.* 2013; 43(1): 481–501.
5. EN 12464–1:2011. Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places. European Committee for Standardization. Brussels; 2011.
6. Osikov M. V., Gizinger O. A., Ogneva O. I. Mechanisms of melatonin effects upon immune state in experimental desynchronoses produced under the led illumination conditions. *Medical Immunology (Russia).* 2015; 17(6): 517–24. (in Russian)
7. Figueiro M. G., Steverson B., Heerwagen J. et al. The Impact of Daytime Light Exposures on Sleep and Mood in Office Workers. *Sleep Health.* 2017; 3(3): 204–15.
8. Vinogradova I. A. Comparative study of the influence of different light regimes, melatonin and epitalon on movement activity and psychoemotional manifestations of rats. *RUDN Journal of Medicine.* 2007; 1: 17–28. (in Russian)
9. Gostyukhina A. A., Zamoshchina T. A., Svetlik M. V. et al. Behavioral activity of rats in the «open field» after the light and dark deprivation and physical exhaustion. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2016; 15(3): 16–23. (in Russian)

10. Baslyk A. Y., Konoplyanko V. A., Vlasenko E. K., Itpayeva-Liudchyk S. L., Trofimov Yu. V., Lishik S. I., Cvirko V. I., Cheliapin A. E. Light environment simulator. Patent 12250U, BY; 2020. (in Russian)

11. Baslyk A. Y., Vlasenko E. K., Itpayeva-Liudchyk S. L. et al. Experimental installation to investigate the effects of lighting on laboratory animals. In: Volotovskiy I. D., chief ed. et al. *Molecular, membrane and cellular bases of the functioning of biosystems: international scientific conference; 13th Congress of the Belarusian Public Association of Photobiologists and Biophysicists*: abstracts. 2018, June 27–29; Minsk; Belarus. Minsk: BGU; 2018: 102. (in Russian)

12. Konoplyanko V. A., Vlasenko E. K., Baslyk A. Y., Klebanov R. D. Artificial light environment as a factor in the regulation of organism's functions. In: *Professional health and labour longevity*: proceedings of the International scientific and practical conference. 2018, July 5–6; Shakhty; RF. Rostov-on-Don: Fond nauki i obrazovaniya; 2018: 83–5. (in Russian)

13. Baslyk A. Y., Konoplyanko V. A., Vlasenko E. K. et al. Effect of artificial light environment on morphofunctional parameters of white rats. In: Sychik S. I., chief ed. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Health and environment]*: Collection of scientific papers of the Scientific Practical Centre of Hygiene. Iss. 28. Minsk; 2018: 130–4. (in Russian)

14. ТКР 125–2008 (02040). Good laboratory practice: technical code of established practice. Minsk: RUP «Tsentr ekspertiz i ispytaniy v zdravookhraneniі»; 2008. 34 p. (in Russian)

15. Hall C. S. Emotional behavior in the rat: III. The relationship between emotionality and ambulatory activity. *J. Comp. Psychol.* 1936; 22: 345–52.

16. Notova S. V., Kazakova T. V., Marshinskaya O. V. Modern methods and equipment for assessing the behavior of laboratory animals (review). *Animal husbandry and fodder production.* 2018; 101(1): 106–15. (in Russian)

17. Medik V. A., Tokmachev M. S., Fishman B. B. Statistics in medicine and biology. v. 2: Applied health statistics. Moscow: Meditsina; 2001. (in Russian)

18. Borovikov V. P., Borovikov I. P. STATISTICA: statistical analysis and data processing in Windows environment. Moscow: Filin; 1998. (in Russian)

19. Gubler E. V., Genkin A. A. Application of Statistical Non-Parametric Criteria in Medico-Biological Investigations. Leningrad: Meditsina; 1973. (in Russian)

e-mail для переписки: baslykalexey@gmail.com

Поступила 19.11.2021

УДК 613.633:691.27

Гутич Е. А., Косяченко Г. Е.

ГИГИЕНА ТРУДА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор научных данных о профессиональных рисках здоровью работников и существующих международных и отечественных подходах к гигиеническому нормированию и оценке содержания аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны. Определены основные перспективные направления исследований по изученному вопросу.

Ключевые слова: асбест, хризотил, искусственные минеральные волокна, условия труда, промышленные аэрозоли, гигиеническая оценка, профессиональные риски здоровью.

Введение. При производстве строительных изделий промышленные аэрозоли являются одним из наиболее значимых факторов профессионального риска здоровью, и среди них особое место занимают аэрозоли минеральных волокон, в числе которых — пыль асбеста и пыль искусственных минеральных волокон (стекловолокно, искусственные минеральные ваты: шлаковая, базальтовая и др.). Асбест — собирательное наименование группы волокнистых минералов — при высоких концентрациях в воздухе рабочей зоны может являться причиной развития фиброзно-склеротических заболеваний легких (асбестоз), профессиональных онкологических заболеваний, в том числе обуславливать до 90 % всех случаев злокачественной мезотелиомы, что послужило основанием для

запрета его использования во многих странах мира [1]. Однако в ряде стран, в том числе и в Республике Беларусь, при производстве асбестоцементных изделий (далее — АЦИ) применяется хризотиловый асбест, канцерогенная активность которого значительно ниже асбестов амфиболовой группы [2, 3], и решение проблемы его безопасного использования основывается на разработке и внедрении комплексных профилактических мероприятий. Ограничение и запрет использования асбеста, а также возрастающая потребность в сбережении энергоресурсов привели к масштабному развитию производства теплоизоляционных материалов на основе искусственных минеральных волокон, в том числе базальтовых теплоизоляционных изделий (далее — БТИ), также способных оказывать неблагоприятное воздействие на организм работающих [3].

Таким образом, продолжающееся промышленное применение хризотила и увеличивающиеся объемы производства базальтовой теплоизоляции на предприятиях Республики Беларусь свидетельствуют об актуальности проблемы обеспечения безопасных условий труда работников указанных производств, что определяет необходимость систематизации современных знаний о профессиональных рисках здоровью и существующих международных и отечественных подходах к гигиеническому нормированию и оценке содержания аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны.

Цель работы — провести анализ существующих научных данных о профессиональных рисках здоровью работников производств строительных изделий на основе минеральных волокон и подходов к гигиеническому нормированию и оценке содержания аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели проведен поиск и анализ литературных данных отечественных и зарубежных источников литературы по теме исследования, в том числе научных статей, монографий, нормативных и инструктивно-методических документов, официальных публикаций международных организаций.

Результаты и их обсуждение. Асбест объединяет группу природных минералов, отличающихся по своему физико-химическому составу, который во многом определяет их биологическую активность. В зависимости от минералогического состава асбесты делят на две большие группы: серпентины $[(R_3)Si_2O_5(OH)_4]$, где R — Mg, Fe — хризотил, антигорит, лизадтит; амфиболы $[R_7[Si_4O_{11}](OH)_2]$, где R — Ca, Mg, Fe — антофиллит, тремолит, крокидолит, амозит и др. Основными составляющими хризотилового асбеста являются диоксид магния и оксид кремния. Амфиболы, в отличие от хризотилового асбеста, могут содержать большое количество железа — до 44 % FeO/Fe₂O₃. Несмотря на различия в микроминералогическом составе, кристаллическом строении, физико-химических свойствах, объединяющим для всех асбестов является их волокнистое строение [4, 5].

Асбест широко распространен в окружающей среде, и наиболее крупные его месторождения расположены в Российской Федерации, США и Канаде. Небольшое количество асбеста постоянно попадает в воздух, воду и почву в результате естественных процессов выветривания породы, однако основным источником поступления асбеста в окружающую среду является антропогенное воздействие (добыча открытым способом, дробление руды, производство и использование асбестосодержащих материалов и продукции). Фоновые значения концентраций асбеста в атмосферном воздухе могут колебаться от 10 до 1 000 вол/м³, в воздухе помещений — от 30 до 6 000 вол/м³ [5].

Благодаря дешевизне и прочности асбест использовался на протяжении веков, найдя применение прежде всего в строительстве и в производстве фрикционных изделий. С использованием асбеста производятся такие материалы и продукция, как шифер, асбестоцементные трубы, кровельная плитка, тормозные колодки и накладки сцеплений, текстильные изделия, электроизоляционные материалы, противопожарные одеяла и др. [1]. Совокупные показатели производства и потребления асбеста в мире после достижения в 1980 г. пиковых значений на уровне 4,8 млн т стали непрерывно снижаться. К 2013 г. ежегодные объемы производства и потребления сократились более чем вдвое. В настоящее время четыре страны — Российская Федерация, Китай, Бразилия и Казахстан — производят более 99 % мирового асбеста, и 25 стран потребляют по крайней мере по 1 000 тонн асбеста в год; семь из них, в том числе Беларусь, находятся в Европейском регионе ВОЗ [6].

До 70-х гг. XX в. асбесты во всем мире использовались бесконтрольно практически во всех отраслях промышленности, и концентрации аэрозолей на рабочих местах могли достигать сотен волокон/см³ при отдельных производственных операциях [5]. В настоящее время во всем мире воздействию асбеста на рабочих местах подвергается примерно 125 миллионов человек. Воздействие асбеста происходит при его вдыхании и, в меньшей степени, попадании внутрь через органы пищеварения во время добычи асбеста и его измельчения, а также в ходе производства и использования АЦИ, при установке и использовании асбестосодержащих материалов, обслуживании автомо-

билей. Оно также имеет место при обрезке и подгонке асбестовых материалов в ходе строительства, обслуживания и сноса зданий. Максимальные уровни фиксируются при переупаковке контейнеров из асбеста, его смешивании с другими сырьевыми материалами и сухой резке асбестосодержащих материалов абразивным инструментом [1].

Производство АЦИ в Республике Беларусь организовано на двух крупных предприятиях строительной отрасли в Гродненской (ОАО «Красносельскстройматериалы») и Могилевской (ПРУП «Кричевцементношифер») областях, где выпуск шифера осуществляется с 1972 и 1950 гг. соответственно. Согласно данным официальной статистики, для республики также характерны тенденции сокращения производства этого вида продукции. Так, объемы производства шифера с 2005 по 2019 г. сократились на 35,1 %, а использование производственных мощностей предприятий снизилось с 77,0 % в 2011 г. до 24,4 % в 2017 г. Однако в последние несколько лет снова наблюдается рост показателя использования производственных мощностей, который достиг 71,0 % в 2019 г.

Вопросы обеспечения безопасности работников, имеющих контакт с аэрозолями искусственных минеральных волокон, не менее актуальны в настоящее время, так как минеральная вата позиционируется как относительно безопасный заменитель асбеста при производстве теплоизоляционных материалов [6]. Производство минеральной ваты на основе базальта также является активно развивающейся отраслью промышленности, что подтверждают данные официальной статистики, согласно которой объемы производства минеральной ваты с 2005 по 2019 г. в Республике Беларусь возросли на 227,2 %.

Биологическая агрессивность минеральных волокон зависит от многих факторов, связанных как со свойствами самих волокон (состав, размер, структура поверхности, плотность, биоперсистенция), так и с особенностями организма [7]. Размер волокна играет решающую роль в определении последовательных патологических реакций в дыхательных путях, которые имеют существенные различия в зависимости от того, находится ли волокно в паренхиме легкого или проникло в плевральную полость [3, 8, 9]. Считается, что наибольшим патогенным потенциалом обладают волокна диаметром менее 3 мкм при отношении длины к диаметру более 3 : 1 и длиной более 5 мкм, являющиеся наиболее биологически значимой частью альвеолярной (респираторной) фракции волокон [4, 10, 11]. Однако в последнее время публикуются результаты исследований, в которых ставится под сомнение отсутствие риска, связанного с воздействием коротких волокон [12].

Кроме возможности проникновения в глубокие отделы дыхательных путей размерные характеристики во многом определяют и биорастворимость минеральных волокон, так как волокна длиной больше 8 мкм не могут полностью поглощаться альвеолярными макрофагами [13]. Биорастворимость минеральных волокон также зависит и от типа волокон: хризотил является более биорастворимым минералом в отличие от амфиболовых асбестов и большинства искусственных минеральных волокон, что определяется как его минералогическим составом, так и физико-химическими свойствами — хризотилевые волокна почти полностью разрушаются в кислой среде в отличие от амфиболов [3, 11, 14].

Профессиональные риски, связанные с воздействием искусственных минеральных волокон, могут быть также недооценены ввиду отсутствия учета влияния связующего состава на биорастворимость волокна. Если сами по себе волокна каменной ваты, по данным некоторых исследований, имеют низкую биологическую стойкость [15], то использование связующих компонентов различного состава (часто — фенолформальдегидных смол [16]) в процессе производства изделий на основе этих волокон может значительно изменять их растворимость, повышая степень биологической стойкости [17]. Кроме того, компоненты связующего, включая вещества, обладающие высокой степенью летучести (фенол, формальдегид и др.), выделяясь в воздух рабочей зоны при производстве минеральных волокон, также оказывают неблагоприятное воздействие на организм работающих.

В целом анализ литературных источников свидетельствует о том, что большинство исследований по изучению минеральных волокон, проведенных в последние десятилетия, касались их биологических эффектов, токсикологических свойств, клинических проявлений неблагоприятного воздействия, оценки рисков в эпидемиологических исследованиях, методических подходов к гигиенической оценке их содержания в воздухе рабочей зоны. Однако результаты комплексной гигиенической оценки условий труда, необходимые для анализа профессиональных рисков здоровья, фрагментарны и не учитывают сочетанного воздействия производственных факторов, описывая в основном только значения уровней запыленности на рабочих местах при различных технологических операциях [18–20].

Механизмы, посредством которых минеральные волокна вызывают фиброгенный и канцерогенный эффект, в настоящее время до конца не изучены, однако определен целый ряд патологиче-

ских реакций, играющих основную роль в патогенезе заболеваний: повреждение ДНК активными формами кислорода; прямое повреждение ДНК, вызванное физическим взаимодействием волокон с клетками-мишенями; усиление пролиферации клеток; хронические воспалительные реакции, приводящие к пролонгированному высвобождению лизоцима, ферментов, активных форм кислорода, цитокинов и факторов роста; действие волокон как носителей других химических канцерогенов и др. [3, 10].

Все виды асбеста классифицированы Международным агентством по изучению рака (далее — МАИР) как канцерогены для человека (группа 1) [5]. Основными формами патологии, вызываемыми асбестом, являются асбестоз, плевральные бляшки, мезотелиома плевры, рак легкого, плевры, гортани, яичников, существуют также ограниченные данные о связи воздействия асбеста с развитием рака глотки, желудка и прямой кишки, раком печени [1, 4, 5, 21, 22]. В монографии МАИР по оценке канцерогенных рисков искусственных минеральных волокон стекловата, каменная вата и шлаковата перенесены из группы 2В «вероятно канцерогенные для человека» в группу 3 «не классифицируемые как канцерогенные для человека» на основании результатов исследований, показавших отсутствие увеличения частоты опухолей легких и мезотелиомы при ингаляционном воздействии и интратрахеальной заправке [23]. Однако существует целый ряд публикаций, свидетельствующих о связи воздействия искусственных минеральных волокон с мезотелиомой плевры и раком легкого [24], а также обнаруживающих наличие цитотоксического и генотоксического эффектов воздействия каменной ваты [20, 25]. С воздействием искусственных минеральных волокон также связывают высокий риск развития пневмокониоза [26], патологии сердечно-сосудистой системы [27], гиперкератозов с высокой вероятностью малигнизации [28], контактных дерматитов [29].

Многочисленными исследованиями доказано существование зависимости частоты возникновения и тяжести течения заболеваний органов дыхания от дозы, определяемой концентрацией аэрозоля минеральных волокон в воздухе рабочей зоны и временем его воздействия, т. е. стажем работы [11]; при этом развитие заболеваний, связанных с воздействием асбеста, ассоциировано с особенно длительным латентным периодом (до 50 лет), что, по мнению многих ученых, может обусловить рост бремени асбест-обусловленных заболеваний в будущем [1, 19]. Относительно зависимости доза — эффект в отношении разных видов асбеста существуют данные, подтверждающие, что экстраполяция линейной зависимости доза — эффект в области малых доз в соответствии с линейной беспороговой гипотезой в отношении хризотилового асбеста недопустима [30].

По данным ВОЗ, профессиональные риски являются причиной от 2 до 8 % всех случаев смерти от онкологических заболеваний в мире [31], а диагноз «мезотелиома» связывают с влиянием асбеста в 90 % случаев [32], поэтому данную патологию считают основным индикатором его профессионального воздействия [13, 24]. В последние десятилетия число случаев мезотелиомы значительно возросло практически во всех странах мира. Данные МАИР свидетельствуют о том, что только в 2020 г. в мире по прогнозным уровням должно быть зарегистрировано 30 870 новых случаев мезотелиомы и 26 278 случаев смерти от данной патологии [33]. Официальные данные об уровнях заболеваемости мезотелиомой в Республике Беларусь опубликованы МАИР за период 2008–2012 гг.: общее количество случаев — 312, при этом стандартизованный показатель заболеваемости среди мужчин составил $0,5\text{‰}$, среди женщин — $0,3\text{‰}$. Такие уровни можно назвать средними в Европейском регионе, где заболеваемость среди мужчин за тот же период колеблется от $0,2\text{‰}$ в Латвии и Эстонии до $3,4\text{‰}$ в Великобритании [34].

В целом изучение состояния здоровья работников, подвергающихся воздействию аэрозолей минеральных волокон, по данным о профессиональной заболеваемости затруднительно ввиду того, что общие уровни профзаболеваемости в республике в последние 10 лет имеют тенденцию к снижению (общее число профессиональных заболеваний в 2019 г. составило 56 случаев — $0,15\text{‰}$), а на предприятиях, где работники имеют контакт с аэрозолями минеральных волокон, профессиональная патология не регистрируется по меньшей мере на протяжении последних 10 лет [35].

Ввиду отсутствия зарегистрированной профессиональной патологии среди работников, подвергающихся воздействию аэрозолей минеральных волокон, в целях оценки профессиональных рисков здоровью, актуальность приобретает изучение уровней и структуры заболеваемости с временной утратой трудоспособности (далее — ВУТ), а также данных, полученных по результатам профилактических медицинских осмотров (далее — ПМО), для установления профессиональной обусловленности общей соматической патологии. Подобная методология изучения апостериорных профессиональных рисков практически не используется в зарубежных исследованиях в области гигиены труда, где в этих целях чаще проводятся когортные исследования, исследования «случай-контроль». Данные, полученные учеными в последние 25 лет на постсоветском пространстве, за-

трагивают вопросы заболеваемости с ВУТ работников, имеющих контакт с хризотилловым асбестом, однако исследования проведены на предприятиях по производству асбесто-формовочных деталей и асбестового картона, технология производства которых значительно отличается от производства АЦИ, выпускаемых в Республике Беларусь. В литературе также представлены работы российских ученых, описывающих результаты углубленного исследования состояния здоровья работников, подвергающихся воздействию хризотила, с использованием рентгенологических, спирографических, гистологических и других методов, но контингент обследованных представлен работниками, занятыми добычей и обогащением асбеста, при которых уровни воздействия могут быть значительно выше.

Отсутствие достаточных доказательств о степени токсичности различных видов асбеста разделило мировое научное и политическое сообщество на две группы: одни настаивают, что все виды асбестовых волокон являются опасными, другие считают, что только амфиболовый асбест можно считать высокотоксичным минералом, в то время как использование хризотила может быть сопряжено с приемлемым уровнем риска для здоровья.

Гипотеза об ограниченном токсическом потенциале хризотила (так называемая «амфиболовая гипотеза») основана на том, что данный минерал обладает значительно более низким уровнем биоперсистенции в организме, чем амфиболы, что обусловлено его физико-химическими свойствами и микроминералогическим составом, а следовательно, может выводиться из организма человека, не вызывая патологических реакций. При этом риск неблагоприятного действия хризотила может реализоваться только в случае его поступления в органы дыхания в количествах, превышающих возможности организма к эффективному клиренсу, а исследования, подтверждающие связь воздействия хризотила с развитием онкопатологии, могут не учитывать возможность значительного загрязнения хризотила амфиболами (в первую очередь тремолитом), а также высокие уровни содержания волокон хризотила в воздухе рабочей зоны до 80-х гг. XX в. ввиду отсутствия достаточных мер контроля на большинстве предприятий [2, 18, 36]. Сторонники полного запрета добычи и использования всех видов асбеста основываются на доказательствах канцерогенной опасности хризотила, подтвержденной многочисленными токсикологическими и эпидемиологическими исследованиями, настаивая на том, что пороговый уровень в отношении канцерогенных рисков не установлен [37, 38]. В результате данных противоречий на сегодня асбест ограничен к использованию или запрещен в 55 из 195 стран мира. Республика Беларусь не входит в число стран, запретивших использование хризотила [13].

Таким образом, несмотря на доказанную канцерогенную опасность хризотила, по-прежнему необходимо более точное определение величины зависимости «доза — ответ» и времени развития злокачественных новообразований. Значение имеют различия в минеральном составе асбестовых волокон и степень загрязнения хризотила амфиболами [11].

Ввиду высокой актуальности вопроса безопасности промышленного использования асбеста в последние несколько десятилетий принят целый ряд международных документов, регламентирующих вопросы его добычи, применения и утилизации.

Конвенцией МОТ (No. 162) об охране труда при использовании асбеста, принятой в 1986 г., запрещено использование крокидолита и продуктов, содержащих эти волокна, а также определено, что выполнение работ, в которых может иметь место воздействие асбеста, должно предусматривать осуществление контроля за соблюдением пределов воздействия, установленных для рабочих мест, и осуществляться в соответствии с правилами, предписывающими надлежащий технический контроль и методы работы, включая гигиену рабочего места [39]. Республика Беларусь данную конвенцию не ратифицировала.

В 2003 г. 13-я сессия Совместного комитета МОТ / ВОЗ по профессиональной гигиене рекомендовала обратить особое внимание на ликвидацию болезней, связанных с асбестом [40]. Резолюция 60.26 Всемирной ассамблеи здравоохранения 2007 г. содержит призыв к проведению глобальных кампаний с целью ликвидации болезней, связанных с асбестом [1].

Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле включает все виды амфиболового асбеста (актинолит, антофиллит, амозит, крокидолит, тремолит) в Приложении III, в котором приводятся вещества, подлежащие процедуре предварительного обоснованного согласия. После 2006 г. Комитет по рассмотрению химических веществ Роттердамской конвенции принял решение о том, что хризотилловый асбест также должен быть включен в Приложение III. Тем не менее общее согласие в отношении включения хризотила еще не достигнуто [41]. В соответствии с Базельской конвенцией о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением

отходы, содержащие асбестовую пыль и асбестовое волокно, считаются опасными отходами (Приложение I, пункт Y36) и, таким образом, подлежат строгому контролю [42]. Республика Беларусь ратифицировала Базельскую конвенцию в 2000 г.

Количественная оценка риска для здоровья работающих, связанного с воздействием минеральных волокнистых аэрозолей в воздухе рабочей зоны, возможна только при наличии достоверных сведений об уровнях содержания названных аэрозолей в воздухе рабочей зоны. При этом мониторинг концентрации минеральных волокон в воздухе рабочей зоны является важным инструментом не только для оценки уровней воздействия, но и для оценки эффективности профилактических мероприятий. Однако проблема разработки оптимальных методов контроля волокнистых пылей остается актуальной как для отечественной, так и для зарубежной гигиенической практики. Применение различных подходов к гигиеническому нормированию данного типа аэрозолей и методам контроля препятствует единой трактовке эффектов воздействия пылевого фактора и затрудняет сопоставление результатов исследований воздуха рабочей зоны, полученных в разных странах.

В настоящее время существует два подхода к оценке уровней содержания минеральных волокон в воздухе рабочей зоны. Согласно первому подходу нормирование и контроль содержания аэрозолей преимущественно фиброгенного действия, включая аэрозоли минеральных волокон, осуществляются на основе определения массовой концентрации взвешенных частиц, т. е. определения массы пылевых частиц в единице объема ($\text{мг}/\text{м}^3$). При применении данного подхода используется гравиметрический метод контроля воздуха рабочей зоны, который достаточно прост в реализации, не требует наличия сложного испытательного оборудования и позволяет оценить сразу все фракции пыли, находящейся в воздухе рабочей зоны [43, 44]. Данный подход позволяет оценить фиброгенный потенциал аэрозоля на конкретном рабочем месте, однако не учитывает специфические особенности аэрозолей минеральных волокон, связанные с размерными характеристиками частиц. Такая система нормирования и оценки содержания аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны практиковалась до последнего времени и в Республике Беларусь.

В большинстве стран мира нормирование содержания аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны основано на определении количества респираторных волокон в единице объема (волокон в миллилитре) [4]. Достоинством этого метода является возможность непосредственного контроля именно волокнистой составляющей.

Среднесменные нормативы содержания респираторных минеральных волокон в разных странах мира для воздуха рабочей зоны сегодня колеблются от $< 0,1$ до $2,0$ волокон в миллилитре воздуха. При этом максимальная величина для амфиболовых асбестов составляет $0,3$ волокна в миллилитре, а для хризотила — $1,0$ волокно в миллилитре [45]. Согласно директиве ЕС 2003/18 допустимая концентрация аэрозолей асбеста для 8-часовой рабочей смены составляет $0,1$ волокна в миллилитре для всех типов асбеста. Такой же лимит установлен в большинстве провинций Канады, Новой Зеландии и США [3, 5].

Подсчет респираторных волокон в воздухе рабочей зоны возможен с помощью различных методов, основными из которых являются оптическая фазово-контрастная микроскопия и электронная микроскопия [46]. Данные методики имеют ряд существенных отличий. Фазово-контрастная оптическая микроскопия — самый доступный и относительно дешевый метод. Однако он имеет ряд ограничений, включая отсутствие возможности отличать минеральные волокна от других частиц, похожих на волокно; отсутствие возможности дифференцировать различные типы минеральных волокон, в том числе различные типы асбестовых волокон, а также отсутствие возможности подсчета волокон тоньше $0,25$ мкм. Именно поэтому использование метода фазово-контрастной оптической микроскопии возможно только при известном составе материала и источнике поступления минеральных волокон в воздух рабочей зоны. Несмотря на все недостатки данного метода, он остается наиболее широко применяемым в рутинной практике исследований содержания минеральных волокон ввиду его меньшей трудоемкости и стоимости.

Подсчет минеральных волокон с помощью сканирующего или трансмиссионного электронного микроскопа с рентгендифрактометрическим микроанализатором типа минерала — в несколько раз дороже, более трудоемкий, но позволяет говорить о том, какие волокна подсчитывались. Для исследования минеральных волокон также может использоваться электронный микрозондовый анализ, методы колебательной спектроскопии (инфракрасная спектроскопия, романовская спектроскопия) или сочетание методов.

Подход к оценке аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны, основанный на подсчете респираторных волокон, позволяет оценить его патогенный и в первую очередь канцерогенный потенциал, однако каждая фракция пылевых частиц обладает определенной биологической

активностью и вносит свой вклад не только в развитие процесса фиброзирования легочной ткани, но, согласно исследованиям, в развитие одновременных реакций всех тканевых структур бронхов, легких, сосудов малого круга кровообращения, то есть ответ организма на воздействие аэрозолей преимущественно фиброгенного действия — системный [47]. В связи с этим некоторые исследователи считают, что наиболее эффективной является комбинация методов контроля: параллельное определение общей массы пыли и счетных концентраций волокон и, соответственно, внедрение в практику взаимосвязанных счетных и массовых ПДК [45].

Заключение. Таким образом, проведенный анализ источников научной литературы позволяет сделать следующие выводы.

1. Опубликованные до настоящего времени данные о комплексных санитарно-гигиенических исследованиях условий труда работников, имеющих контакт с аэрозолями минеральных волокон, фрагментарны, в основном отражают уровни запыленности на рабочих местах при добыче и обогащении асбеста, в производстве асбестотехнических изделий и асбесто-формовочных деталей и не учитывают всего комплекса вредных и опасных производственных факторов. Возросшие в последние годы в Республике Беларусь объемы производства АЦИ и БТИ свидетельствуют об актуальности проведения комплексной гигиенической оценки условий труда на рабочих местах данных производств в рамках анализа профессиональных рисков здоровью.

2. Ввиду возрастания объемов производства строительных изделий на основе минеральных волокон, ограниченности данных о профессиональном здоровье работников данных предприятий актуальны исследования по оценке заболеваемости с ВУТ, изучению состояния здоровья по данным ПМО с установлением наличия производственной обусловленности соматической патологии и уровня профессиональных рисков здоровью.

3. Недостаточное количество сведений о заболеваемости мезотелиомой (индикаторное заболевание для воздействия минеральных волокон) в Республике Беларусь за последние годы определяет необходимость изучения данных показателей в динамике с установлением основных тенденций и прогнозов.

4. Материалы научных публикаций по проблеме потенциальной опасности минеральных волокнистых пылей свидетельствуют, что, согласно международным подходам, установление уровней содержания респираторных волокон в воздухе рабочей зоны является обязательным условием для оценки профессиональных рисков здоровью работников, имеющих контакт с аэрозолями минеральных волокон. На предприятиях по производству строительных изделий на основе минеральных волокон в Республике Беларусь ранее таких исследований не проводилось, что свидетельствует о необходимости разработки и внедрения метода подсчета респираторных волокон.

5. Совершенствование подходов к гигиенической оценке воздуха рабочей зоны, загрязненного аэрозолями минеральных волокон, с одновременным учетом респираторной фракции пыли, определяющей канцерогенные риски, и общей массы взвешенных частиц, определяющей фиброгенную опасность, установление необходимых условий безопасного осуществления работ являются в настоящее время наиболее действенными путями профилактики неблагоприятного воздействия аэрозолей минеральных волокон на здоровье работающих и достижения приемлемого уровня профессионального риска.

Литература

1. Chrysotile asbestos / World Health Organization. — Geneva: WHO Press, 2014. — 52 p.
2. Контролируемое использование хризотила через разработку профессионального риска / С. А. Ибраев [и др.] // Медицина Кыргызстана. — 2014. — № 4. — С. 88–90.
3. Asbestos Fibers and Other Elongate Mineral Particles: State of the Science and Roadmap for Research. — [Cincinnati]: Department of health and human services Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2011. — 152 p.
4. Асбест и другие природные минеральные волокна. — Женева: ВОЗ; М.: Медицина, 1991. — 174 с. — (Гигиен. критерии состояния окружающей среды; 53).
5. Arsenic, metals, fibres and dust / World Health Organization. International agency for research on cancer. — Lyon, 2012. — 501 p. — (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Vol. 100C).
6. Асбест. Экономическая оценка запретов и сокращения производства и потребления / L. P. Allen [и др.]. — Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2017. — 54 с.

7. Solbes, E. Biological responses to asbestos inhalation and pathogenesis of asbestos-related benign and malignant disease / E. Solbes, R. W. Harper // *Journal of investigative medicine: the official publication of the American Federation for Clinical Research*. — 2018. — Vol. 66, № 4. — P. 721–727.
8. Barlow, C. A. Asbestos fiber length and its relation to disease risk / C. A. Barlow, M. Grespin, E. A. Best // *Inhalation toxicology*. — 2017. — Vol. 29, № 12–14. — P. 541–554.
9. Nielsen, G. D. Insulation fiber deposition in the airways of men and rats. A review of experimental and computational studies / G. D. Nielsen, I. K. Koponen // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. — 2018. — Vol. 94. — P. 252–270.
10. Chrysotile asbestos [Electronic resource]: Environmental Health Criteria 203 // International Programme on Chemical Safety. — 1998. — Mode of access: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc203.htm>. — Date of access: 16.03.2021.
11. Ross, R. M. Software for Apportionment of Asbestos-Related Mesotheliomas [Electronic resource] / R. M. Ross // *Canadian Respiratory Journal*. — 2016. — Mode of access: <https://www.hindawi.com/journals/crj/2016/5340676/>. — Date of access: 16.12.2020.
12. Current Research and Opportunities to Address Environmental Asbestos Exposures / D. J. Carlin [et al.] // *Environmental Health Perspectives*. — 2018. — Vol. 123, iss. 8. — P. 194–197.
13. Mineral fibres: Crystal chemistry, chemical-physical properties, biological interaction and toxicity / ed.: A. F. Gualtieri. — London: European Mineralogical Union, 2017. — 536 p.
14. In vitro acellular dissolution of mineral fibres: A comparative study [Electronic resource] / A. F. Gualtieri [et al.] // *Scientific Reports*. — 2018. — Vol. 8, Art. 7071. — Mode of access: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-25531-4>. — Date of access: 24.05.2018.
15. Kudo, Y. Safety Evaluation of Rock Wool after Nasal Inhalation in Rats / Y. Kudo, Y. Aizawa // *Industrial Health*. — 2011. — Vol. 49, iss. 1. — P. 47–55.
16. Крамаренко, А. В. Применение минеральной ваты в строительстве как одна из причин возникновения онкологических заболеваний / А. В. Крамаренко, А. В. Голова // *Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник)*. — 2018. — № 4. — С. 331–333.
17. Composition, Respirable Fraction and Dissolution Rate of 24 Stone Wool MMVF with their Binder / W. Wohlleben [et al.] // *Particle and Fibre Toxicology*. — 2017. — Vol. 14, № 1. — Art. 29.
18. Остапенко, Т. А. Здоровье работников асбестоцементных предприятий Украины / Т. А. Остапенко, А. В. Басанец // *Медицина Кыргызстана*. — 2014. — № 4. — С. 104–112.
19. Оценка риска смерти в когорте стажированных работников, занятых на добыче и обогащении хризотилового асбеста / Г. И. Тихонова [и др.] // *Медицина труда и промышл. экология*. — 2011. — № 5. — С. 22–31.
20. Occupational exposure to mineral fibres. Biomarkers of oxidative damage and antioxidant defence and associations with DNA damage and repair / M. Staruchova [et al.] // *Mutagenesis*. — 2008. — Vol. 23, № 4. — P. 249–260.
21. Индукция хризотил-асбестом цитогенетических эффектов в мезотелии крыс in vitro и in vivo / Л. Н. Пылев [и др.] // *Гигиена и санитария*. — 2014. — Т. 93, № 2. — С. 97–100.
22. Noonan, C. W. Environmental asbestos exposure and risk of mesothelioma [Electronic resource] / C. W. Noonan // *Annals of Translational Medicine*. — 2017. — Vol. 11, № 5. — Mode of access: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5497111/>. — Date of access: 17.12.2020.
23. Man-made vitreous fibres / World Health Organization. International agency for research on cancer. — Lyon: IARC Press, 2002. — 430 p. — (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 81).
24. Кундиев, Ю. И. Профессиональный рак: злокачественная мезотелиома / Ю. И. Кундиев, Д. В. Варивончик. — Киев: Авіцена, 2015. — 192 с.
25. Man-made mineral fiber effects on the expression of anti-oncogenes P53 and P16 and oncogenes C-JUN and C-FOS in the lung tissue of Wistar rats / Y. Cui [et al.] // *Toxicology and industrial health*. — 2019. — Vol. 35, № 6. — P. 431–444.
26. Fireman, E. Man-made mineral fibers and interstitial lung diseases / E. Fireman // *Current Opinion in Pulmonary Medicine*. — 2014. — Vol. 20, № 2. — P. 194–198.
27. Копытенкова, О. И. Оценка риска ущерба для здоровья при воздействии мелкодисперсной пыли минеральной ваты / О. И. Копытенкова, А. В. Леванчук, З. Ш. Турсунов // *Казан. мед. журн.* — 2014. — Т. 95, № 4. — С. 570–574.
28. Факторы риска развития и особенности профессиональной патологии у работников, занятых производством искусственных минеральных волокон / Г. Ф. Мухаммадиева [и др.] // *Медицина труда и промышл. экология*. — 2018. — № 1. — С. 19–23.

29. *Lundgren, L.* Do insulation products of man-made vitreous fibres still cause skin discomfort? / *L. Lundgren, C. Moberg, C. Liden* // *Contact Dermatitis*. — 2014. — Vol. 70, № 6. — P. 351–360.
30. *Яргин, С. В.* Антиасбестовая кампания и здравый смысл / *С. В. Яргин* // *Молодой ученый*. — 2013. — № 9 (56). — С. 490–495.
31. WHO report on cancer: setting priorities, investing wisely and providing care for all. — Geneva: World Health Organization, 2020. — 159 p.
32. Global asbestos disaster / *S. Furuya* [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2018. — № 15. — Art. 1000.
33. *Cancer Today* (powered by GLOBOCAN 2018). *Cancer Base*, № 15 [Electronic resource] / ed.: *J. Ferlay* [et al.]. — Mode of access: <https://gco.iarc.fr/today/home>. — Date of access: 17.12.2020.
34. *Cancer Incidence in Five Continents*, Vol. XI [Electronic resource] / ed.: *F. Bray* [et al.]. — Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2017. — Mode of access: <https://ci5.iarc.fr/CI5-XI/Default.aspx>. — Date of access: 17.12.2020.
35. Состояние условий труда и профессиональной заболеваемости в Республике Беларусь за 2017 г. / *И. В. Микулич* [и др.]. — Минск: ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья», 2018. — 11 с.
36. Familial risk of pleural mesothelioma increased drastically in certain occupations: A nationwide prospective cohort study / *E. Kharazmi* [et al.] // *European Journal of Cancer*. — 2018. — Vol. 103. — P. 1–6.
37. На пути к элиминации заболеваний, связанных с асбестом, в Европейском регионе ВОЗ. Оценка существующих стратегий в государствах-членах. 2014 год. — Копенгаген, 2015. — 30 с.
38. The global health dimensions of asbestos and asbestos-related diseases / *Collegium Ramazzini* // *Industrial Health*. — 2016. — Vol. 54, iss. 1. — P. 87–91.
39. Конвенция об охране труда при использовании асбеста (Конвенция 162) [Электронный ресурс]: [принята МОТ в Женеве 24.06.1986 г.]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1900818>. — Дата доступа: 17.12.2020.
40. Thirteenth Session of the Joint ILO/WHO Committee on Occupational: report of the Committee Health, Geneva, 9–12 December 2003. — Geneva: International Labour Office, 2003. — 17 p.
41. Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле: [принята 10.09.1998 г.]: текст и приложения, пересмотренная в 2019 году. — [Б. м.], 2019. — 61 с.
42. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением: [принята 22.03.1989 г.]: текст и приложения. — Женева: Секретариат Базельской конвенции, 2018. — 117 с.
43. Измерение концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия: метод. указ. МУ № 4436–87: утв. М-вом здравоохранения СССР 18.11.1987. — М., 1988. — 28 с.
44. Safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool): An ILO code of practice. — Geneva: International Labour Office, 2001. — 52 p.
45. *Ковалевский, Е. В.* Современные подходы к нормированию асбестосодержащих пылей / *Е. В. Ковалевский, С. В. Кашанский* // *Медицина труда и промышл. экология*. — 2008. — № 3. — С. 9–15.
46. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) [Electronic resource] / National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). — 5th ed. — Mode of access: https://www.cdc.gov/niosh/nmam/5th_edition_web_book.html. — Date of access: 17.12.2020.
47. *Еловская, Л. Т.* Гармонизация отечественного и зарубежного санитарного законодательства по проблеме промышленных аэрозолей / *Л. Т. Еловская, Л. В. Прокопенко* // *Медицина труда и промышл. экология*. — 2014. — № 2. — С. 1–5.

Hutsich E. A., Kosiachenko G. E.

OCCUPATIONAL HYGIENE IN THE MANUFACTURING BUILDING PRODUCTS FROM MINERAL FIBRES

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The article presents an analytical review of scientific data on occupational health risks of workers and existing international and domestic approaches to hygienic regulation and assessment of mineral fibres aerosols content in the working area. The main promising directions of research on the studied issue are defined.

Keywords: asbestos, chrysotile, man-made mineral fibres, working conditions, industrial aerosols, hygienic assessment, occupational risk.

References

1. Chrysotile asbestos. Geneva: World Health Organization; 2014. 52 p.
2. Ibraev S. A., Otarov E. Zh., Zharylkasyn Zh. Zh., Koygeldinova Sh. S. Controlled use of chrysotile in the development of professional risk. *Meditcina Kyrgyzstana*. 2014; 4: 88–90. (in Russian)
3. Asbestos Fibers and Other Elongate Mineral Particles: State of the Science and Roadmap for Research. Cincinnati: Department of health and human services Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 2011. 152 p.
4. WHO. Asbestos and other natural mineral fibers. Geneva; 1986. 139 p.
5. WHO. IARC. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts: A review of human carcinogens. Part C. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2012.
6. Allen L. P., Baez J., Stern M. E. C., George F. Asbestos. Economic Assessment of Bans and Declining Production and Consumption. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017. 54 p.
7. Solbes E., Harper R. W. Biological responses to asbestos inhalation and pathogenesis of asbestos-related benign and malignant disease. *J. Investig. Med.* 2018; 66(4): 721–7.
8. Barlow C. A., Grespin M., Best E. A. Asbestos fiber length and its relation to disease risk. *Inhal Toxicol.* 2017; 29(12–14): 541–54.
9. Nielsen G. D., Koponen I. K. Insulation fiber deposition in the airways of men and rats. A review of experimental and computational studies. *Reg. Toxicol. and Pharm.* 2018; 94: 252–70.
10. Chrysotile asbestos. Environmental Health Criteria 203. International Programme on Chemical Safety; 1998. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc203.htm>. (accessed 16 March 2021).
11. Ross R. M. Software for Apportionment of Asbestos-Related Mesotheliomas. *Canadian Respiratory Journal*. 2016. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/crj/2016/5340676/>. (accessed 16 December 2020).
12. Carlin D. J., Larson T. C., Pfau J. C. et al. Current Research and Opportunities to Address Environmental Asbestos Exposures. *Environ. Health Perspect.* 2015; 123(8): 194–7.
13. Gualtieri A. F., ed. Mineral fibres: Crystal chemistry, chemical-physical properties, biological interaction and toxicity. London: European Mineralogical Union; 2017.
14. Gualtieri A. F., Pollastri S., Bursi Gandolfi N., Gualtieri M. In vitro acellular dissolution of mineral fibres: A comparative study. *Sci. Rep.* 2018; 8: 7071.
15. Kudo Y., Aizawa Y. Safety Evaluation of Rock Wool after Nasal Inhalation in Rats. *Industrial Health*. 2011; 49: 47–55.
16. Kramarenko A. V., Golova A. V. Use of mineral wool in construction, as one of the reasons of developing of oncological diseases. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Politekhnicheskiiy vestnik. [Science. Engineering. Technology (Polytechnical bulletin)]*. 2018; 4: 331–3. (in Russian)
17. Wohlleben W., Waindok H., Daumann B. et al. Composition, Respirable Fraction and Dissolution Rate of 24 Stone Wool MMVF with their Binder. *Particle and Fibre Toxicology*. 2017; 14(1): 29.
18. Ostapenko T. A., Basanets A. V. Health of asbestos cement industry workers in Ukraine. *Meditcina Kyrgyzstana*, 2014; 4: 104–12. (in Russian)
19. Tikhonova G. I., Kovalevsky E. V., Kashansky S. V., Gortchakova T. Ju. Evaluating death risk in cohort of workers with long length of service, engaged into extraction and concentration of chrysotile asbestos. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2011; 5: 22–31. (in Russian)
20. Staruchova M., Collins A. R., Volkovova K. et al. Occupational exposure to mineral fibres. Biomarkers of oxidative damage and antioxidant defence and associations with DNA damage and repair. *Mutagenesis*. 2008; 23(4): 249–60.
21. Pylev L. N., Smirnova O. V., Vasilieva L. A., Ingel F. I. Chrysotile-asbestos induces cytogenetic effects in the rat's mesothelium in vitro and in vivo. *Gig. Sanit. [Hygiene and Sanitation]*. 2014; 93(2): 97–100. (in Russian)
22. Noonan C. W. Environmental asbestos exposure and risk of mesothelioma. *Ann. Transl. Med.* 2017; 11(5). Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5497111/> (accessed 17 December 2020).
23. WHO. IARC. Man-made Vitreous Fibres. Lyon: IARC Press; 2002.

24. Kundiev Yu.I., Varivonchik D. V. Occupational Cancer: Malignant Mesothelioma. Kiev: VD «Avitsena»; 2015. (in Russian)
25. Cui Y., Huang L., Huo T. et al. Man-made mineral fiber effects on the expression of anti-oncogenes P53 and P16 and oncogenes C-JUN and C-FOS in the lung tissue of Wistar rats. *Toxicol. Ind. Health*. 2019; 35(6): 431–44.
26. Fireman E. Man-made mineral fibers and interstitial lung diseases. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*. 2014; 20(2): 194–8.
27. Kopytenkova O. I., Levanchuk A. V., Tursunov Z. Sh. Assessment of health damage due to exposure to mineral wool fine dusts. *Kazan Medical Journal*. 2014; 95(4): 570–4. (in Russian)
28. Mukhammadiyeva G. F., Bakirov A. B., Karimova L. K. et al. Risk factors and features of occupational diseases in workers engaged into artificial mineral fibers production. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2018; 1: 19–23. (in Russian)
29. Lundgren L., Moberg C., Liden C. Do insulation products of man-made vitreous fibres still cause skin discomfort? *Contact Dermatitis*. 2014; 70(6): 351–60.
30. Yargin S. V. Anti-asbestos campaign and common sense. *Molodoy uchenyy [Young scientist]*. 2013; 9: 490–5. (in Russian)
31. WHO report on cancer: setting priorities, investing wisely and providing care for all. Geneva: World Health Organization; 2020. 159 p.
32. Furuya S., Chimed-Ochir O., Takahashi K. et al. Global asbestos disaster. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018; 15(5). Available at: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/5/1000> (accessed 17 December 2020).
33. Ferlay J. et al., ed. Cancer Today (powered by GLOBOCAN 2018). Cancer Base, no. 15 Available at: <https://gco.iarc.fr/today/home> (accessed 17 December 2020).
34. Bray F. et al., ed. Cancer Incidence in Five Continents, Vol. XI. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2017. Available at: <https://ci5.iarc.fr/CI5-XI/Default.aspx> (accessed 17 December 2020).
35. Mikulich I. V., Rakevich A. V., Kapustinskaya T. A., Biryuk T. I. The state of working conditions and occupational morbidity in the Republic of Belarus for 2017. Minsk: GU «Respublikanskiy tsentr gigeny, epidemiologii i obshchestvennogo zdorov'ya»; 2018. (in Russian)
36. Kharazmi E., Chen T., Fallah M. et al. Familial risk of pleural mesothelioma increased drastically in certain occupations: A nationwide prospective cohort study. *Eur. J. Cancer*. 2018; 103: 1–6.
37. WHO. Towards the elimination of asbestos-related diseases in the WHO European Region: Assessment of current policies in Member States. 2014. Copenhagen; 2015. 30 p.
38. Collegium Ramazzini. The Global Health Dimensions of Asbestos and Asbestos-Related Diseases. *Industrial Health*. 2016; 54(1): 87–91.
39. ILO. Asbestos Convention, 1986 (No. 162). Available at: https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO:12100:P12100_ILO_CODE:C162 (accessed 17 December 2020).
40. Thirteenth Session of the Joint ILO/WHO Committee on Occupational: report of the Committee Health. Geneva: International Labour Office; 2003. 17 p.
41. Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade (revised in 2019). Available at: <http://www.pic.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1048/language/en-US/Default.aspx> (accessed 17 December 2020).
42. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Geneva; 2018. 117 p.
43. Guidelines 4436–87. Measurement of aerosol concentration of predominantly fibrogenic action: guidelines: approved by the Ministry of Health of the USSR, November 18, 1987. Moscow; 1988. 28 p. (in Russian)
44. Safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool): An ILO code of practice. Geneva: International Labour Office; 2001.
45. Kovalevsky E. V., Kashansky S. V. Contemporary approach to regulation of asbestos-containing dust. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2008; 3: 9–15. (in Russian)
46. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). Available at: https://www.cdc.gov/niosh/nmam/5th_edition_web_book.html (accessed 17 December 2020).
47. Elovskaya L. T., Prokopenko L. V. Harmonization of national and foreign sanitary laws on industrial aerosols. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2014; 2: 1–5. (in Russian)

Поступила 11.11.2021

Клебанов Р. Д., Гутич Е. А., Мадекша И. В., Корзун В. С., Коноплянко В. А.

МЕТОД ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА ПРИ ИНТЕРМИТТИРУЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Проведены комплексные исследования показателей нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии на 54 рабочих местах. Показано формирование нагревающей производственной среды с высокими уровнями теплового излучения, температуры воздуха, повышенной скорости движения воздуха; рассмотрены вопросы применения индекса тепловой нагрузки среды. Проведен гигиенический хронометраж технологических операций и стадий на обследованных рабочих местах. Выполнена статистическая обработка результатов измерений показателей микроклимата с расчетом средних и среднесменных величин, экспозиции теплового облучения и сравнительный анализ данных. Предложено для определения интермиттирующего воздействия показателей нагревающего микроклимата применять величину класса условий труда, а гигиеническую оценку микроклиматических условий проводить на основе расчета среднесменных величин. Разработан метод комплексной оценки показателей производственного нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии.

Ключевые слова: условия труда, нагревающий микроклимат, интермиттирующее воздействие, гигиеническая оценка.

Введение. Технологические процессы многих производств основаны на термической обработке металла и других твердых, жидких и газообразных тел. Интенсивное инфракрасное (далее — ИК) излучение, избыточное тепло от нагретых предметов и поверхностей, раскаленных и расплавленных масс формирует на рабочих местах выраженный нагревающий микроклимат (далее — НМК), что обуславливает актуальность проведения адекватной гигиенической оценки его параметров, разработки мер медицинской профилактики заболеваний, ассоциированных с неблагоприятным влиянием высоких температур, интенсивного ИК облучения [1]. В области разработки современных методов измерений и оценки микроклимата отмечены положительные результаты. Так, в публикациях нашли отражение результаты исследования нагревающей производственной среды, гигиенической оценки показателей микроклимата с учетом экспозиции, обоснование и разработка более эффективных средств индивидуальной защиты и специальной одежды, оценка рисков нарушений состояния здоровья по причине воздействия высоких температур на рабочем месте, разработка и внедрение современных средств измерений и иное [2]. В гигиене труда установлены методы оценки показателей микроклимата, когда его уровни на рабочем месте находятся в пределах одного класса условий труда. Однако практически нет публикаций по гигиенической оценке микроклимата при интермиттирующем влиянии его показателей в условиях нагревающей производственной среды.

Отметим, что для анализа и оценки показателей производственной среды с учетом времени воздействия, экспозиции применяют два основных метода. Так, например, при изучении и оценке оборудования, эффективности вентиляции применяют разовые измерения с оценкой показателя за период измерения длительностью в основном 5–20 мин. Второй метод позволяет оценить показатель с учетом времени его воздействия за всю смену — среднесменные концентрации химических веществ, пылевая дозовая нагрузка, эквивалентный уровень шума и иное. Значимость методических вопросов адекватной гигиенической оценки показателей производственной среды с учетом экспозиции особо возросла с внедрением аттестации рабочих мест и комплексной гигиенической оценки условий труда, когда оценка каждого показателя проводится с учетом времени его влияния в течение всей смены, установленного на основе хронометражных наблюдений.

При ИК облучении методические вопросы оценки экспозиции не возникают, когда на работника воздействует один стабильный источник излучения, а его характеристики в течение смены не претерпевают значимых изменений, находясь в пределах одного класса условий труда. При интермит-

тирующем характере влияния показателей НМК, напротив, фиксируются разные, часто значительно изменяющиеся за время смены значения показателей. Метод оценки такого воздействия сегодня отсутствует, и условия труда при интермиттирующем влиянии не всегда оцениваются корректно. Так, оценка показателя может быть занижена, когда учитывается интенсивность не всех источников ИК потоков или определяется средняя величина, что может сказаться на качестве мер профилактики. Напротив, оценка ИК излучения может быть неоправданно завышена, когда из выполненных измерений учитывается и оценивается только более высокое значение показателя, и в этом случае превентивные меры могут быть излишними.

Результаты исследования микроклимата при интермиттирующих особенностях воздействия его показателей фактически отсутствуют, как и методические документы, регламентирующие оценку такого влияния. Это определяет актуальность исследований по разработке методических подходов для оценки показателей нагревающего микроклимата при интермиттирующем характере влияния.

Цель работы — научное обоснование и разработка метода комплексной гигиенической оценки показателей нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии.

Материалы и методы. Показатели микроклимата изучены принятыми в гигиене труда методами исследований и оценки. Инструментальные измерения показателей микроклимата проведены радиометрами «Аргус-03» и «РАТ-2П», метеометром «МЭС-200А», прибором «ТКА-ПКМ(24)» для измерения индекса тепловой нагрузки среды (далее — ТНС индекс). На всех стадиях технологического процесса для оценки занятости работников в условиях монотонного и интермиттирующего влияния показателей микроклимата проведен гигиенический хронометраж и анализ фотографий рабочего времени. После установления класса условий труда по всем основным стадиям техпроцесса определены рабочие места с признаками интермиттирующего характера влияния по каждому показателю микроклимата.

Основные инструментальные измерения и исследования выполнены на рабочих местах в цехах ОАО «Стеклозавод „Неман“», отдельные измерения параметров нагревающего микроклимата выполнены на рабочих местах ОАО «Минский подшипниковый завод», ОАО «Минский тракторный завод». Измерения, исследования и оценка полученных данных проведены в соответствии с требованиями ТНПА [3–6].

На основе ознакомления с технологическим процессом на обследованных рабочих местах выделены стадии технологического процесса (рабочие точки, зоны) с разными уровнями микроклиматических условий и выполнены измерения показателей температуры, скорости движения и относительной влажности воздуха, ИК излучения и индекса тепловой нагрузки среды (далее — ТНС индекс).

Всего на 54 рабочих местах проведено 860 инструментальных измерений показателей микроклимата. Выполнено 290 хронометражных исследований и наблюдений для оценки занятости работников в условиях влияния нагревающей производственной среды, рассчитано 270 среднесменных и средних арифметических величин показателей микроклимата, а также экспозиционной дозы теплового облучения.

Результаты и их обсуждение. Для обоснования метода оценки показателей НМК необходимо определить критерий интермиттирующего влияния нагревающей среды. В гигиене труда термин «интермиттирующее влияние» применяется редко и в основном без его количественных оценок. Например, указывается, что работы выполняются в разных зонах с различными уровнями изучаемого фактора, что обуславливает его интермиттирующее воздействие, при этом величины фактора могут быть и выше, и ниже гигиенического норматива. Для определения границ интермиттирующего воздействия нами рассмотрены разные подходы. Так, исследована величина интермиттирования, выраженная разницей между значениями отдельных показателей микроклимата на рабочем месте в процентах, — не менее 10 %. Однако необходимо учесть как разные единицы измерения отдельных показателей микроклимата, так и значительные различия в количественных оценках каждого. Так, например, скорость движения воздуха (м/с) измеряется и нормируется в десятых долях показателя, температура воздуха (°С) — в единицах, относительная влажность воздуха (%) — десятки процентов, а тепловое излучение — в сотнях и тысячах Вт/м². Это потребовало бы разработки отдельного, выраженного в процентах количественного критерия для каждого показателя микроклимата, что, в свою очередь, заметно усложнило бы при практическом применении сам метод оценки соответствующего класса условий труда. В этой связи для определения границ интермиттирующего воздействия нами применен класс условий труда.

С учетом сказанного интермиттирующее воздействие определяли, когда на одном рабочем месте установлено две или более рабочих точек (зон, стадий технологического процесса) с оценкой исследуемого показателя микроклимата классом 3.1 и выше (например, 3.1 и 3.2; или 3.1, 3.3 и 3.4 и т. д.). Метод одночисловой оценки при таком характере воздействия показателей микроклиматического фактора в технических нормативно-правовых актах отсутствует.

Комплексное исследование микроклиматических условий для разработки метода оценки показателей интермиттирующего воздействия включало следующие этапы:

- выбор рабочих мест разных профессий и производств с НМК;
- определение основных и типичных стадий техпроцесса на рабочих местах;
- измерение параметров микроклимата, характерных для данного рабочего места;
- проведение гигиенического хронометража и оценка класса условий труда на всех выбранных стадиях техпроцесса;
- определение на рабочих местах показателей микроклимата с интермиттирующим воздействием;
- расчет среднесменных, средних величин показателей микроклимата, экспозиции теплового облучения;
- установление оценки показателей микроклимата с интермиттирующим характером влияния.

Полученные данные и материалы выполненного исследования применены для обоснования метода гигиенической оценки микроклиматических показателей нагревающей производственной среды при интермиттирующем воздействии. Среднесменную величину показателя микроклимата определяли по формуле 1:

$$P_{cc} = \frac{P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + \dots + P_n \times t_n}{n}, \quad (1)$$

где P_{cc} — среднесменное значение показателя микроклимата;

P_1, P_2, \dots, P_n — значение показателя микроклимата в контрольной точке;

t_1, t_2, \dots, t_n — время выполнения работы на соответствующих контрольных точках стадиях технологического процесса в процентах от суммарного времени рабочей смены;

n — продолжительность рабочей смены (100 %).

Полученные среднесменные значения показателей микроклимата сравнивали с гигиеническим нормативом. По степени отклонения значений показателей микроклимата от нормативов устанавливали итоговый класс условий труда по каждому показателю. На изученных рабочих местах проведен анализ основных стадий (этапов) техпроцессов, измерены параметры микроклимата и выполнен гигиенический хронометраж. После установления класса условий труда по всем основным стадиям техпроцесса определены рабочие места с интермиттирующим воздействием по каждому показателю микроклимата.

Проведен расчет и анализ средних, среднесменных величин показателей НМК. Для сравнительного анализа и выбора метода одночисловой оценки также использован разработанный гигиенистами России показатель «экспозиция теплового облучения» [7], который определяется по формуле, учитывающей интенсивность облучения, экспозицию и площадь облучаемой поверхности тела работника при выполнении основных, типовых операций (стадий) технологического процесса.

Оказалось, что интермиттирующий характер по показателю температуры установлен на 66,6 % обследованных рабочих мест, на 37,0 % — по скорости движения воздуха, и наиболее часто интермиттирующий характер показателя микроклимата отмечен по ИК излучению — на 40 из 54 рабочих мест, или 74 %. Только на пяти рабочих местах интермиттирующий характер не установлен ни по одному из показателей; на 16 рабочих местах определен интермиттирующий характер по всем показателям НМК. Это свидетельствует об актуальности разработки одночисловой оценки результатов измерений параметров микроклимата с разными классами условий труда, а полученные материалы составляющих НМК с учетом экспозиции за всю смену явились обоснованием разработки метода оценки интермиттирующего воздействия показателей.

Для получения необходимой информации предварительно выбраны рабочие места с нагревающей производственной средой. Так, температура воздуха в теплый период года на всех рабочих местах превышала допустимые величины с оценкой показателя классом от 3.1 до 3.3. Отметим, что в холодный период года 30 % измерений температуры соответствовали нормативу, 43 % измерений оценены классом 3.1 и 27 % — классом 3.2, что свидетельствует о ведущей роли в формировании НМК производственных источников тепла, а не наружной температуры воздуха.

Показатели относительной влажности воздуха на обследованных рабочих местах наиболее часто определялись на уровне 18–30 %, а интермиттирующий характер этого показателя, в отличие от других показателей НМК, встречается сравнительно редко. Но при наиболее неблагоприятных условиях (температура 40–50 °С и выше) относительная влажность может составлять от 7 % до 14 % (класс 3.1 и 3.2). Влиянию высокой влажности воздуха подвергаются (классы 3.1 и 3.2) работники текстильного производства, теплоэнергетики, обслуживающие паропроводы, водяные емкости и др., а при работах в котельном цехе этот показатель, напротив, ниже 15 % (класс 3.1). Это определяет интермиттирующий характер показателя влажности и также делает необходимой разработку метода его одночисловой оценки.

Рассмотрен вопрос о разработке метода одночисловой оценки и для скорости движения воздуха. Этот показатель выражен на рабочих местах с НМК и связан в основном с работой вентиляции. Фактически экстремальные условия, определяемые высокими температурами на рабочих местах (40 °С и выше), интенсивным ИК облучением (до 5 000 Вт/м² и выше), обуславливают необходимые меры профилактики теплового стресса. Одной из основных, достаточно доступных мер является работа вентиляции в «горячих цехах». В этих целях широко применяются местная приточная вентиляция с охлаждением и очисткой поступающего воздуха, напольные, потолочные и передвижные вентиляторы, аэрационные фонари над рабочими местами, установки воздушного душирования, «ветрогоны», кондиционирование и другое. Применение технических средств заметно снижает тепловую нагрузку, способствуя нормализации теплообмена у работников, однако при этом величина скорости движения воздуха превышает допустимые нормативы, составляя от 1,0 до 4,0 м/с (классы 3.1 и 3.2). В этой связи скорость движения воздуха на многих рабочих местах с НМК следует оценивать с учетом интермиттирующего влияния одночисловой величиной. Вместе с тем, оценивая с гигиенических позиций «вредность» повышенной скорости движения воздуха, следует учесть, что различные системы воздушного душирования значительно снижают тепловую нагрузку на рабочих местах с НМК, служат мерой защиты работников от избыточного тепла. Функционирование систем вентиляции как основной причины повышенной скорости движения воздуха можно считать доступным и эффективным инженерным средством профилактики теплового стресса, перегревания, когда обдув, воздушное душирование и иные средства позволяют рассеивать избыток поступающего тепла.

Наиболее часто интермиттирующее влияние отмечено по интенсивности ИК излучения. Высокие показатели интенсивности ИК потока регистрировались при наборе стекломассы (2 800–3 300 Вт/м²), при изготовлении крупных изделий (1 640–1 850 Вт/м²), укладке изделий в печь обжига (2 100–2 450 Вт/м²), а также у производственных печей при укладке, съеме и обработке деталей из металла (3 400–3 900 Вт/м²).

Оценка НМК на основе ТНС индекса предусмотрена «Гигиенической классификацией условий труда» [4], при этом допускается оценивать НМК как по ТНС индексу, так и по отдельным составляющим микроклимата. На примере стекольного производства показано, что в холодный период года на рабочем месте наборщика стекломассы величина ТНС индекса выше допустимого с оценкой классом 3.1. При обработке изделий из стекломассы величина ТНС индекса не превышала норматива, что, вероятно, связано с постоянным обдувом рабочих мест на верстаке, а также низкой влажностью воздуха; ниже была и температура воздуха при изготовлении изделий, чем при наборе стекломассы из печи. Параметры ТНС индекса на других рабочих местах стекольного производства не превышали гигиенического норматива. В теплый период года отмечены более высокие уровни показателя ТНС индекса: при наборе стекломассы, как и при укладке изделий в печь отжига (26,1–26,7 °С), при этом температура воздуха при отборе стекломассы, укладке изделий для обжига составляла 32 °С и выше. Повышенные величины ТНС индекса отмечены также на рабочих местах заливщика металла (24,0–24,6 °С), раскатчика металла (24,4–24,7 °С) при температуре воздуха 29–32 °С, на рабочем месте кузнеца ручнойковки при температуре 27–29 °С ТНС индекс составлял 24,3–25,6 °С. Отметим, что даже при значительном превышении норматива по температуре воздуха (классы 3.2 и 3.3) ТНС индекс определялся, как правило, с оценкой классом 3.1. Добавим, что хотя показатель ТНС индекс разработан давно и был включен в Гигиеническую классификацию [4] как один из показателей микроклимата в 1984 г., но на практике он используется редко, публикаций о его применении недостаточно в научных изданиях стран СНГ, в том числе в Республике Беларусь.

Установление гигиенического норматива показателей микроклимата для конкретных рабочих мест, кроме ИК излучения, проводится с учетом интенсивности общих энергозатрат работника. Отметим, что в гигиеническом нормативе [3] приведены примеры профессий для каждой из категорий работ, однако проблема адекватного определения категории работ по интенсивности энергозатрат

остаётся. Так, по наименованию профессии определяется одна категория работ по энергозатратам, а фактически у работника может наблюдаться иной вид работ, чем указано в примере профессий, иные показатели тяжести труда и т.д. Наблюдается и обратная ситуация, когда профессия отнесена к высокой категории работ по энергозатратам (например, IIб), а реальная оценка категории энергозатрат ниже — IIа. В этой связи очевидна целесообразность расчета и определения фактической категории энергозатрат на рабочем месте. Для целей более точного определения уровня энергозатрат работника предложен метод ранговой среднесменной оценки категории работ. При выполнении работником технологических операций, относящихся к разным категориям работ по интенсивности общих энергозатрат, при установлении гигиенического норматива определяется категория работ по энергозатратам на основании расчета общего ранга категории работ по формуле (2):

$$R_{cc} = \frac{R_1 \times t_1 + R_2 \times t_2 + \dots + R_n \times t_n}{n}, \quad (2)$$

где R_{cc} — общий ранг категории работ по интенсивности энергозатрат;

$R_1, R_2 \dots R_n$ — ранг категории работ по интенсивности энергозатрат при выполнении отдельных технологических операций;

$t_1, t_2 \dots t_n$ — время выполнения соответствующих технологических операций в процентах от суммарного времени рабочей смены;

n — продолжительность рабочей смены (100 %).

Ранги категорий работ по интенсивности общих энергозатрат условно обозначены цифрами 1, 2, 3, 4 и 5, которые соответствуют категориям работ по интенсивности общих энергозатрат норматива — Ia, Ib, IIa, IIб и III [3]. По рассчитанному общему рангу (R_{cc}) определяется категория работ по интенсивности общих энергозатрат с последующим установлением величины гигиенического норматива показателя микроклимата.

Для обоснования метода одночисловой оценки показателя микроклимата были проанализированы полученные средние, среднесменные и средневзвешенные величины показателей микроклимата, а также экспозиционные дозы ИК облучения. При анализе оказалось, что средние величины без учета времени воздействия заметно искажают значения показателя в сторону увеличения или уменьшения среднесменной величины.

Проведенный анализ применения для итоговой оценки показателя экспозиции теплового облучения выявил при оценке полученных величин и установлении класса условий труда значительно более высокие значения показателя ИК облучения в сравнении с оценкой класса условий труда на основе, например, среднесменных величин. Кроме того, по данным российских гигиенистов показано, что доза облучения уменьшается с повышением класса вредности условий труда [8].

Установление класса условий труда на основе средневзвешенной величины не учитывает общую продолжительность рабочей смены, а только непосредственное время неблагоприятного воздействия показателя микроклимата, и во многих случаях такой подход приведет к возникновению сложных ситуаций при времени влияния фактора 50 % и менее или 10 % и менее продолжительности рабочей смены.

В целом анализ и сравнительная оценка выполненных исследований НМК показали, что среднесменная величина в наибольшей степени применима для оценки одночисловой величиной показателей микроклимата. Данный методический подход определения среднесменной величины не требует длительных, непрерывных измерений. Достаточным является определение основных, типичных, как правило, повторяющихся стадий техпроцесса на рабочем месте с выполнением необходимых инструментальных измерений и последующего расчета среднесменной величины показателя.

С учетом полученных материалов подготовлен алгоритм проведения исследования и установление класса условий труда на основе одночисловой оценки показателя микроклимата (рисунок 1). Полученные материалы исследований явились основой для разработки инструкции по применению «Метод комплексной гигиенической оценки показателей производственного микроклимата при интермиттирующем воздействии».

Применение разработанного метода позволяет дать гигиеническую оценку показателей нагревающего микроклимата с учетом интермиттирующего воздействия при проведении лабораторного контроля, комплексной гигиенической оценки условий труда, аттестации рабочих мест, оформлении санитарно-гигиенических характеристик условий труда. Преимуществами предлагаемого метода являются повышение качества гигиенической оценки показателей нагревающего микро-

климата на рабочем месте, обеспечение единого подхода для оценки всего комплекса микроклиматических показателей производственной среды при интермиттирующем воздействии.

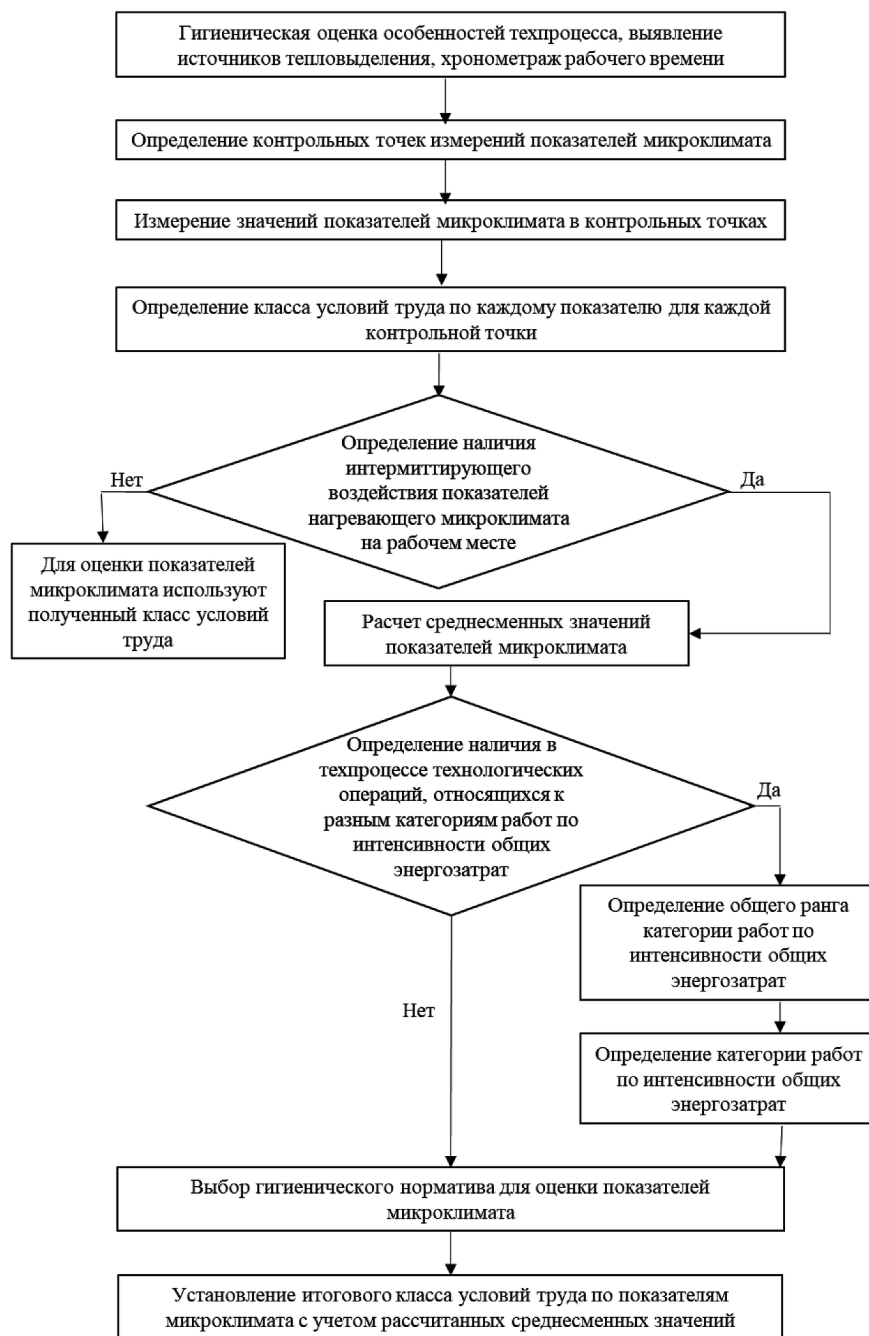


Рисунок 1. — Алгоритм выполнения комплексной гигиенической оценки показателей производственного нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии

Заключение. Проведены комплексные исследования показателей НМК при интермиттирующем воздействии. Показано формирование нагревающей производственной среды с высокими уровнями теплового излучения, температуры воздуха, повышенной скоростью движения воздуха с учетом экспозиции показателей микроклимата. На основе расчета средних и среднесменных величин показателей НМК проведена статистическая обработка результатов измерений и их сравнительный анализ. Для установления интермиттирующего воздействия показателей НМК предложено применять величину класса условий труда, а гигиеническую оценку микроклиматических показателей при интермиттирующем воздействии проводить на основе расчета среднесменных величин.

Разработан метод комплексной оценки показателей производственного нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии.

Литература

1. Измеров, Н. Ф. Оценка профессионального риска в медицине труда: принципы, методы и критерии / Н. Ф. Измеров, Э. И. Денисов // Вестн. РАМН. — 2004. — № 2. — С. 17–21.
2. Афанасьева, Р. Ф. Физиолого-гигиеническое обоснование продолжительности периодов пребывания в нагревающем микроклимате в условиях теплового комфорта в течение рабочей смены / Р. Ф. Афанасьева, Н. А. Бессонова // Вестн. Рос. Акад. мед. наук. — 2011. — № 3. — С. 24–28.
3. Микроклиматические показатели безопасности и безвредности на рабочих местах [Электронный ресурс]: гигиен. норматив: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 25 янв. 2021 г. № 37. — Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guFid=12551&p0=C22100037&p1=1>. — Дата доступа: 21.10.2021.
4. Гигиеническая классификация условий труда: санитар. нормы и правила: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 211. — Минск, 2013. — 64 с.
5. Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях: санитар. нормы и правила: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 30 апр. 2013 г. № 33. — Минск, 2013. — 16 с.
6. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: ГОСТ 12.1.005–88. — Введ. 01.01.1989 // Система стандартов безопасности труда. Ч. 1. — Минск, 2008. — С. 130–177.
7. Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: утв. Гл. гос. санитар. врачом Рос. Федерации 29 июля 2005 г. — М., 2005. — 96 с.
8. Парадоксы и вопросы гигиенического нормирования условий труда — пути решения назревшей проблемы / Хрупачёв А. Г. [и др.] // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2011. — Т. 7, № 27(120). — С. 53–58.

Klebanau R. D., Hutsich E. A., Madeksha I. V., Korzun U. S., Konoplianko V. A.

METHOD OF HYGIENIC ASSESSMENT OF INDICATORS OF INDUSTRIAL HEATING MICROCLIMATE UNDER INTERMITTENT EXPOSURE

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

Complex research of heating microclimate indicators under intermittent exposure at 54 workplaces was carried out. The formation of a heating working environment with high levels of thermal radiation, air temperature, increased air velocity was shown; the issues of application of the WBGT (Wet Body Global Temperature) were considered. Hygienic timekeeping of technological operations and stages at the examined workplaces was carried out. Statistical processing of the measurements of microclimate indicators with the calculation of average and average per shift values, exposure to thermal radiation and comparative analysis of the data were performed. It is offered to determine the intermittent exposure of heating microclimate to apply the value of the working conditions class, and the hygienic assessment of microclimate indicators to be carried by the calculation of the average per shift. The method of the complex estimation of heating microclimate under intermittent exposure is developed.

Keywords: working conditions, heating microclimate, intermittent exposure, hygienic assessment.

References

1. Izmerov N. F., Denisov E. I. An assessment of the occupational risk in the medical sphere: principles, methods and criteria. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2004; 2: 17–21. (in Russian)
2. Afanasyeva R. F., Bessonova N. A. Physiological and hygienic rationale for the duration of exposure to the heating environment and comfortable thermal conditions during a workshift. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2011; 3: 24–8. (in Russian)
3. Microclimatic indicators of safety and harmlessness in the workplace: hygienic standard: approved by the decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus 25 January 2021 No 37. Minsk; 2021. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037&p1=1> (accessed 21 October 2021). (in Russian)

4. Hygienic classification of working conditions: sanitary rules and regulations: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic Belarus 28 December 2012 No 211. Minsk; 2013. (in Russian)

5. Requirements for the microclimate of workplaces in industrial and office premises: sanitary rules and regulations: approved by the decree of the Ministry of Health of the Republic Belarus 30 April 2013 No 33. Minsk; 2013. (in Russian)

6. Standard 12.1.005–88. Occupational safety standards system. General sanitary requirements for working zone air. Minsk; 2008. (in Russian)

7. G.2.2.2006–05. Guidelines for hygienic assessment of the occupational environment and labor process factors. Criteria for working conditions and their classification: approved by the decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 29 July 2005. Moscow; 2005. (in Russian)

8. *Khrupachev A. G., Khadartsev A. A., Kashintseva L. V. et al.* Paradoxes and issues of hygienic regulation of working conditions — ways to solve the urgent problem. *National Interests: Priorities and Security*. 2011; 27(120): 53–8. (in Russian)

e-mail для переписки: krd1@tut.by

Поступила 11.11.2021

УДК: 613.644:629

Кравцов А. В., Сычик С. И., Соловьева И. В., Бондаренко Л. М.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ВОДИТЕЛЕЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ТРАНСПОРТА

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Обоснование маркеров негативного влияния комбинированного действия транспортной и транспортно-технологической категорий общей вибрации проведено с применением современных методов количественного анализа физиологических показателей функционального состояния организма водителей грузоподъемного транспорта.

Ключевые слова: водители грузоподъемного транспорта, физиологические маркеры, комбинированное действие, транспортная и транспортно-технологическая категории общей вибрации.

Введение. Современный автомобильный транспорт характеризуется воздействием на организм водителей совокупности вредных факторов производственной среды (физических и химических) и трудового процесса, уровни которых на большинстве рабочих мест не соответствуют гигиеническим нормативам, что способствует развитию производственно обусловленной заболеваемости, в структуре которой лидируют болезни от воздействия физических факторов и перенапряжения отдельных органов и систем [1–3].

К числу ведущих вредных факторов, действующих на водителей различных транспортных средств, относится общая вибрация, которая обладает высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций организма обусловлена энергетическим воздействием и биомеханическими свойствами тела, степень возникающих нарушений определяется мощностью в зоне контакта и временем колебательных процессов, а также частотой, направлением действия, явлениями резонанса, при этом имеет место прямое микротравмирующее действие вибрации на опорно-двигательный аппарат и развитие вестибуло-обусловленных реакций. В основе патогенеза возникающих изменений лежит сложный механизм нервно-рефлекторных и нейрогуморальных нарушений, которые приводят к изменениям в рецепторах и различных отделах нервной системы.

Особое место в современном транспортном комплексе занимает грузоподъемный транспорт (автокраны, автовышки, подъемные мобильные платформы), который обладает мобильностью, независимостью передвижения, отсутствием необходимости в монтаже и демонтаже, возможностью смены стрелового оборудования [4, 5]. Особенностью трудовой деятельности водителей грузоподъемного транспорта является комбинированное поступательное воздействие категорий общей вибрации: транспортной — при вождении и транспортно-технологической — при погрузочно-разгрузочных работах [6], которые оказывают однонаправленное действие на организм, передаваясь

через опорные поверхности тела, но имеют различный частотный состав и гигиенические критерии безопасности и безвредности. Сведения о характере и особенностях комбинированного действия в доступной литературе отсутствуют, что определяет актуальность исследований.

Цель работы — установить информативные маркеры функционального состояния нервной системы и нервно-мышечного аппарата организма водителей грузоподъемного транспорта при комбинированном действии транспортной и транспортно-технологической общей вибрации.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели проведены исследования функционального состояния нервной системы и нервно-мышечного аппарата организма водителей грузоподъемного транспорта, экспонируемая группа — 35 человек. Контрольная группа состояла из лиц, не имеющих в профессиональном маршруте контакта с вредными физическими факторами (35 человек), в том числе вибрационным воздействием. Стаж работы в профессии работающих — более 5 лет при возрасте от 27 до 50 лет, который достоверно между группами не отличался. При статистической обработке полученных данных использованы Microsoft Office Excel 2016, StatSoft Statistica 10 (серийный номер лицензии BXXR207F383402FA-V), MedCalc, уровень достоверности принимался при $p < 0,05$.

Количественный анализ показателей, которые в конце рабочего дня статистически значимо отличались от исходного уровня, проведен с использованием ряда современных методов, широко применяемых в медицинских исследованиях: корреляционный анализ, ROC-анализ с графическим представлением ROC-кривых, кусочно-линейная множественная регрессия.

Корреляционный анализ проводили для выявления связей показателей функционального состояния организма с эквивалентными уровнями виброускорения комбинированного действия транспортной и транспортно-технологической общей вибрации, измеренными в $1/3$ октавных полосах частот от 0,8 до 80 Гц с оценкой степени согласованности по шкале Чеддока, за значимые связи принимались величины $r \geq 0,31$.

Кроме того, для установления маркеров негативного комбинированного действия транспортных категорий общей вибрации использовали метод бинарной логистической регрессии — ROC-анализ с графическим представлением ROC-кривых, отражающих зависимость количества верно классифицированных положительных показателей (чувствительность) от количества неверно классифицированных отрицательных показателей (специфичность), причем границей разделения группы на подгруппы является порог отсека (cut-off value). Порог отсека — наиболее адекватная граница, разделяющая одну группу на два уровня с наличием проявлений эффектов вибрационного воздействия (истинно положительные) или отсутствием (ложноположительные). Ценность представляли модели, ROC-кривые которых находились выше диагонали ROC-пространства. О качестве полученной модели судили по величине площади под ROC-кривой (AUC, area under curve), которая является мерой того, насколько хорошо порог отсека различает две диагностические группы. Принято считать, что коэффициент площади кривой, находящийся в интервале 0,9–1,0, соответствует отличному качеству классификатора, 0,8–0,9 — очень хорошему, 0,7–0,8 — хорошему, 0,6–0,7 — среднему, 0,5–0,6 — неудовлетворительному [7, 8].

Построение моделей проводилось путем создания базы данных, включающей наблюдаемые эффекты изменений показателей функционального состояния в экспонируемой и контрольной группах и эквивалентные уровни виброускорения, пол на соответствующих рабочих местах из полученных расчетом с учетом измеренных уровней вибрационного воздействия и времени контакта каждой из изучаемых категорий общей вибрации, т. е. регистрировали показатель-отклик на воздействующий фактор в течение рабочего дня [7].

Для подтверждения информативности показателей, выявленных при ROC-анализе, использовали метод кусочно-линейной регрессии. Найденные ROC-анализом пороги отсека взяты в качестве точек разрыва для уравнений регрессии, проходя через которые, аппроксимирующие линии могут менять свой вид и описываются двумя математическими выражениями, отражающими зависимость изменений показателей функционального состояния систем организма водителей грузоподъемного транспорта от эквивалентных уровней вибрационного воздействия [7–9].

Уравнения кусочно-линейной множественной регрессии имеют следующий вид (1):

$$CR = (b_{01} + b_{11} \times x_1 + \dots + b_{m1} \times x_m) \times (Y \leq b_n) + (b_{02} + b_{12} \times x_1 + \dots + b_{m2} \times x_m) \times (Y > b_n), \quad (1)$$

где CR — функция отклика (показатель функционального состояния ВГТ);

$x_1 \dots x_m$ — независимые переменные (эквивалентные скорректированные уровни общей вибрации за рабочую смену);

b_{01}, b_{02} — свободные члены выражения;
 $b_{11} \dots b_{m1}, b_{12} \dots b_{m2}$ — угловые коэффициенты уравнения регрессии;
 $CR \leq b_n, CR > b_n$ — логические условия, принимающие значения 1, если «истинны», и 0 при других условиях [8].

Результаты и их обсуждение. При анализе корреляционных связей между показателями числа точных реакций на движущийся объект и уровнями виброускорения выявлена статистически достоверная заметная прямая связь на частотах 0,8; 1,0; 2,0; 2,5 Гц ($r = 0,50-0,56$; $p < 0,05$), умеренная — на частотах: 1,0; 1,25; 1,6; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0 Гц ($r = 0,44-0,47$; $p < 0,05$). При этом устойчивость реакции к помехам у водителей грузоподъемного транспорта обладает заметной обратной связью с уровнями виброускорения на частотах 0,8; 1,25; 1,6; 2,0 Гц при $r = -0,51-(-0,60)$; $p < 0,05$ (таблица 1).

Таблица 1.— Корреляционные связи между показателями функционального состояния нервной системы организма водителей грузоподъемного транспорта и уровнями виброускорения в диапазоне частот от 0,8 до 5 Гц

Показатель	Среднегеометрические $1/3$ октавные полосы частот от 0,8 до 5 Гц									
	ось	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5
Число точных реакций на движущийся объект	X	—	—	—	—	—	—	0,44	0,45	—
	Y	0,50	0,49	—	—	—	0,47	0,48	0,47	0,46
	Z	0,56	0,51	0,47	0,44	0,56	0,53	—	0,46	0,44
Устойчивость реакции к воздействию помех	X	-0,51	-0,44	-0,51	-0,54	-0,54	—	—	—	—
	Z	-0,44	—	-0,54	-0,60	-0,44	—	—	—	—

Показатели функционального состояния нервно-мышечного аппарата (длительность пробы и время координации) при оценке динамической тремометрии проявили также заметную и умеренную связь с уровнями виброускорения на частотах от 0,8 до 2,5 Гц ($r = 0,44-0,64$; $p < 0,05$), и высокую ($r = 0,70-0,72$; $p < 0,05$) на частоте 1 Гц по оси Z_0 . Количество касаний и общая их длительность при статической тремометрии носили менее выраженную обратную связь с уровнями виброускорения ($r = -0,30-(-0,38)$), и только на частоте 1 Гц отмечались более высокие значения показателей прямой и обратной связи при $r = 0,44$ и $0,48$; $p < 0,05$ (таблица 2).

Таблица 2.— Корреляционные связи между показателями функционального состояния нервно-мышечного аппарата водителей грузоподъемного транспорта и уровнями виброускорения в диапазоне частот от 0,8 до 2,5 Гц

Показатель	Среднегеометрические $1/3$ октавные полосы частот от 0,8 до 2,5 Гц						
	ось	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5
Статическая тремометрия							
Количество касаний	Y	—	0,44	—	0,32	—	—
Общая длительность касаний	Y	—	0,48	0,3	0,34	—	—
Время координации	Y	—	0,48	—	0,34	—	—
Динамическая тремометрия							
Длительность пробы	X	0,60	0,53	0,44	0,46	—	—
	Z	0,54	0,70	0,59	0,54	0,43	0,47
Время координации	X	0,64	0,55	0,48	0,49	0,44	—
	Y	0,48	0,46	0,63	0,33	—	—
	Z	0,59	0,72	—	0,58	0,48	0,48

Таким образом, с помощью корреляционного анализа выявлен ряд информативных показателей (7 показателей), отражающих нарушения функционального состояния нервной системы и нервно-мышечного аппарата под действием вибрационной нагрузки в течение рабочего дня.

При анализе характеристик ряда ROC-кривых показателей функционального состояния организма водителей грузоподъемного транспорта выявлено, что наиболее чувствительными к вибрационному воздействию являются реакция опережения на движущийся объект (нервная система)

при чувствительности 0,64 и пороге отсечения количество касаний $\geq 20,8$ усл. ед., время координации и частота касаний при тремометрии (нервно-мышечный аппарат), критерии отсечения которых соответственно равны $> 1,6$ усл. ед., $> 38,2$ с, $\leq 1,4$ Гц, при этом качество полученных моделей по величине AUC соответствует среднему уровню (таблица 3).

Таблица 3. — Характеристики ROC-кривых физиологических показателей функционального состояния организма водителей грузоподъемного транспорта при комбинированном воздействии транспортной и транспортно-технологической категорий общей вибрации

Показатель	Чувствительность	Специфичность	AUC	Качество модели	Критический уровень отсечения
Реакции опережения на движущийся объект, усл. ед.*	0,64	0,76	68,9	Среднее	20,8
Количество касаний при статической тремометрии, усл. ед.*	0,714	0,617	64,2	Среднее	1,6
Время координации при статической тремометрии, с*	0,743	0,59	64,6	Среднее	38,2
Частота касаний при статической тремометрии, Гц*	0,686	0,615	69,1	Среднее	1,4
* показатели, достоверно изменяющиеся после рабочей смены при $p < 0,05$.					

Для подтверждения информативности показателей, их надежности и чувствительности использовали метод кусочно-линейной регрессии. Найденные ROC-анализом пороги отсечения использованы в качестве точек разрыва для уравнений кусочно-линейной регрессии, проходя через которые, аппроксимирующая линия регрессии может менять свой вид и отражает зависимость изменений показателей функционального состояния организма водителей от уровней вибрационного воздействия (таблица 4).

Таблица 4. — Уравнения кусочно-линейной регрессии, показывающие зависимость показателей функционального состояния организма с уровнями виброускорения комбинированного действия транспортной и транспортно-технологической общей вибрации по осям X_0 , Y_0 , Z_0

Показатель	Уравнение кусочно-линейной регрессии	Порог отсечения	Коэффициент множественной корреляции (R)
Реакции опережения на движущийся объект, усл. ед.	$2,28 - 0,83X_0 + 0,43Y_0 + 0,48Z_0$	< 21	0,89
	$45,64 - 1,15X_0 + 1,22Y_0 - 0,16Z_0$	> 21	
Количество касаний, усл. ед.	$-0,4 - 0,008X_0 - 0,038Y_0 + 0,15Z_0$	$< 1,6$	0,88
	$3,92 + 0,03X_0 - 0,19Y_0 + 0,15Z_0$	$> 1,6$	
Частота касаний, Гц	$84,7 + 0,77X_0 - 0,99Y_0 + 0,42Z_0$	$> 1,36$	0,8
	$81,04 - 1,54X_0 + 1,84Y_0 - 0,2Z_0$	$< 1,36$	
Время координации, с	$50,42 + 0,1X_0 + 0,39Y_0 - 0,63Z_0$	$< 36,5$	0,36
	$-34,37 + 0,03X_0 + 0,04Y_0 - 0,05Z_0$	$> 36,5$	

Уравнения кусочно-линейной регрессии хорошо описывают зависимости показателей функционального состояния от уровней вибрационного воздействия по осям X_0 , Y_0 , Z_0 , которые при сопоставлении с AUC — основной характеристикой ROC-кривой продемонстрировали высокую степень совпадения показателей для реакций опережения на движущийся объект ($R = 0,89$; $AUC = 68,9$), частоты ($R = 0,8$; $AUC = 69,1$) и количества касаний ($R = 0,88$; $AUC = 64,2$), в отличие от времени координации, которое оказалось менее информативным показателем диагностики вибрационного воздействия ($R = 0,36$).

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что физиологическими маркерами негативного комбинированного действия транспортной и транспортно-технологической вибрации на организм водителей являются реакции на движущийся объект, количество и частота касаний при тремометрии, которые установлены методом ROC-анализа с построением ROC-кривых

и последующей валидацией результатов. Выявленные маркеры характеризуют неуравновешенность нервных процессов с преобладанием возбуждения, которое развивается в конце рабочего дня и проявляется нарушением сенсомоторной реакции на движущийся объект и координации движений. Корреляционный анализ может быть использован в качестве ориентировочного метода отбора информативных показателей риска влияния вредных факторов на организм работающих.

Литература

1. Вайсман, А. И. Гигиена труда водителей автомобилей / А. И. Вайсман. — М.: Медицина, 1988. — 191 с.
2. Соловьев, М. Ю. Актуальные вопросы гигиены труда водителей / М. Ю. Соловьев, И. Г. Шевкун, Г. В. Карнущенко // Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию Ростов. обл. центра профпатологии «Стандартизация и качество медицинской помощи в медицине труда», Шахты, 29–30 мая 2008 г. — Шахты, 2008. — С. 154–156.
3. Гребеньков, С. В. Оценка условий труда и профессионального риска у водителей грузового автотранспорта / С. В. Гребеньков, Я. М. Сухова // Профилактикт. и клин. медицина. — 2016. — № 3. — С. 12–17.
4. Зайцев, Л. В. Автомобильные краны / Л. В. Зайцев, М. Д. Полосин. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1982. — 208 с.
5. Волков, Д. П. Строительные машины и средства малой механизации: учебник / Д. П. Волков, В. Я. Крикун. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Акад., 2007. — 477 с.
6. Гигиеническая оценка условий труда водителей-операторов автокранов, автовышек и мобильных подъемных платформ / И. В. Соловьева [и др.] // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик. — Минск: РНМБ, 2016. — Вып. 26. — С. 188–190.
7. Григорьев, С. Г. Роль и место логистической регрессии и ROC-анализа в решении медицинских диагностических задач / С. Г. Григорьев, Ю. В. Лобзина, Н. В. Скрипченко // Журн. инфектологии. — 2016. — Т. 8, № 4. — С. 36–45.
8. Богданов, Л. Ю. Оценка эффективности бинарных классификаторов на основе логистической регрессии методом ROC-анализа / Л. Ю. Богданов // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 4, № 2 (50). — С. 92–97.
9. Файнзильберг, Л. С. Гарантированная оценка эффективности диагностических тестов на основе усиленного ROC-анализа / Л. С. Файнзильберг, Т. Н. Жук // Управляющие системы и машины. — 2009. — № 5. — С. 3–13.

Krautsou A. V., Sychyk S. I., Solovjewa I. V., Bondarenko L. M.

PHYSIOLOGICAL MARKERS OF THE COMBINED EFFECT OF VARIOUS CATEGORIES OF GENERAL VIBRATIONS ON THE BODY OF DRIVERS OF LIFTING VEHICLES

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

Justification of markers of negative impact of combined action of transport and transport-technological categories of general vibration was carried out using modern methods of quantitative analysis of physiological indicators of the functional state of the body of drivers of lifting vehicles.

Keywords: drivers of lifting vehicles, physiological markers, combined action, transport and transport-technological categories of general vibration.

References

1. Vaysman A. I. Occupational health of car drivers. Moscow: Meditsina; 1988. (in Russian)
2. Solov'ev M. Yu., Shevkun I. G., Karnushchenko G. V. Topical issues of occupational health of drivers. In: *Materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of the Rostov regional center of occupational pathology «Standardization and quality of medical care in occupational medicine»*. 2008, May 29–30; Shakhty; RF. Shakhty; 2008: 154–6. (in Russian)

3. Grebenkov S. V., Syhova Ya. M. Assessment of working conditions exposure and occupational risk among cargo motor transport drivers. *Preventive and clinical medicine*. 2016; 3: 12–7. (in Russian)
 4. Zaytsev L. V., Polosin M. D. Automobile cranes. Moscow: Vysshaya shkola; 1982. (in Russian)
 5. Volkov D. P., Krikun V. Ya. Construction machines and means of small mechanization: textbook. Moscow: Akademiya; 2007. (in Russian)
 6. Solovjeva I. V., Sychik S. I., Kravtsov A. V. et al. Hygienic evaluation of working conditions of truck cranes, aerials platforms and mobile lifting drivers-operators. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Health and the Environment]*: Collection of Scientific Papers. Iss. 26. Minsk; 2016: 188–90. (in Russian)
 7. Grigoryev S. G., Lobzin Yu. V., Skripchenko N. V. The role and place of logistic regression and ROC analysis in solving medical diagnostic tasks. *Jurnal infektologii [Journal Infectology]*. 2016; 8(4): 36–45. (in Russian)
 8. Bogdanov L. Y. The evaluation of effectiveness of binary classifiers based on logistic regression using ROC analysis. *Vestnik of the Saratov State Technical University*. 2010; 4(2): 92–7. (in Russian)
 9. Fainzilberg L. S., Zhuk T. N. The guaranteed estimation of diagnostic tests efficiency on the basis of the strengthened ROC-analysis. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny [Control Systems and Computers]*. 2009; 5: 3–13. (in Russian)
- e-mail для переписки: sasha.kravtsov.87@mail.ru

Поступила 08.11.2021

УДК [616.1:612.161]-057.3

Семушина Е. А., Зеленко А. В.

ЗНАЧЕНИЯ НОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ФАКТОРАМИ РИСКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У РАБОТНИКОВ ОФИСНОГО ТРУДА

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В статье описаны результаты изучения значений показателей жесткости магистральных артерий во взаимосвязи с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний (далее — ССЗ) у работников офисного труда. Критерием оценки жесткости магистральных артерий, основанным на измерении скорости распространения пульсовой волны, являлся сердечно-лодыжечный сосудистый индекс CAVI (Cardio-Ankle Vascular Index). Подтверждена значимость таких факторов риска повышения жесткости магистральных артерий, как возраст, уровень содержания висцерального жира, наличие артериальной гипертензии.

Ключевые слова: объемная сфигмография, жесткость магистральных артерий, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс, артериальная гипертензия, факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Введение. Стратегия высокого сердечно-сосудистого риска, так же как и популяционная стратегия, сформулированная G. Rose, являются основой современных подходов к профилактике и лечению сердечно-сосудистых заболеваний (далее — ССЗ) [1].

Для оценки риска развития ССЗ и для определения прогноза пациентов, уже страдающих ССЗ, наибольшее значение имеет определение интегрального показателя сердечно-сосудистого риска (далее — ССР), который мог быть представлен в количественном выражении. В этом аспекте особый интерес представляет определение артериальной жесткости как интегрального показателя ССР [2].

Ремоделирование сосудистой стенки, приводящее к увеличению жесткости, может происходить по ряду причин: возраст, генетическая предрасположенность, табакокурение, наличие в анамнезе артериальной гипертензии и других метаболических факторов риска (далее — ФР), в частности нарушений липидного и углеводного обмена [3].

В настоящее время особый интерес представляет изучение синдрома «раннего сосудистого старения», или EVA-синдром (Early Vascular Aging), который характеризуется преждевременным

старением сосудов у лиц молодого возраста и может проявляться как реализация наследственной предрасположенности [4].

По данным Y. Ben Schlomo (2011 г.), повышение жесткости сосудов, особенно в молодом возрасте, увеличивает риск развития сердечно-сосудистых событий в 2–3 раза.

Измерение скорости пульсовой волны (далее — СПВ) реализуется на участке от общей сонной до бедренной артерии для определения артериальной жесткости [5].

Альтернативой методу измерения каротидно-фemorальной СПВ из-за ряда существующих ограничений к его проведению может быть метод объемной сфигмографии, базирующийся на неинвазивном измерении сердечно-лодыжечного сосудистого индекса (cardio ankle vascular index (CAVI)), который автономен от уровня артериального давления и характеризует жесткость аорты, бедренной и большеберцовой артерий [6].

Ряд авторов (А. Р. Заиров, В. Э. Олейников, А. А. Хромова, Н. В. Бурко) считают, что определение CAVI может использоваться в клинической практике в качестве маркера артериальной ригидности благодаря его достаточной прогностической и диагностической значимости, а также высокой воспроизводимости [7].

По литературным данным, увеличение индекса жесткости CAVI может быть количественным отражением сосудистой жесткости [8].

Количественной характеристикой раннего старения сосудов у молодых людей является индекс CAVI более 7,6 ед., ускоренное старение сосудов эластического типа — при 7,1 ед. [9], в случае атеросклеротического поражения индекс CAVI составляет более 8,0 ед. [2].

Park и соавторы (2012, 2013) подчеркивают, что при учете факторов риска развития коронарного стеноза необходимо обратить внимание на значение CAVI более 8 ед. Данный факт способствует улучшению качества прогноза в отношении данной категории пациентов [10].

Maier L. с соавторами показали, что CAVI более 8,1 ед. ассоциирован с 5 % риском неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, тогда как CAVI более 8,8 ед. определяет 15 % риск развития инфаркта миокарда и / или нарушения мозгового кровообращения, и / или смерти [11].

У пациентов с величиной CAVI более 9,0 ед. при коронарографии определяются гемодинамически значимые сужения коронарных артерий, а при величине 10,0 ед. и более — множественные поражения коронарных артерий [12].

Sato Y. с соавторами показали, что в когорте из 1080 пациентов с метаболическими заболеваниями, такими как сахарный диабет (далее — СД), артериальная гипертензия (далее — АГ), повышение уровня CAVI на 1,0 ед. ассоциировано с повышением риска развития сердечно-сосудистых событий в будущем [10].

Цель работы — проанализировать изменения значений индекса CAVI и расчетного сосудистого возраста в зависимости от наличия ФР ССЗ у работников офисного труда.

Материалы и методы. Проведено одномоментное эпидемиологическое исследование среди 599 работников офисного труда в возрасте от 20 до 60 лет. Исследование включало в себя: изучение распространенности ФР ССЗ (наличие наследственного фактора развития ССЗ, АГ, СД, табакокурения, низкого уровня физической активности); определение индекса массы тела и уровня содержания висцерального жира биоимпедансным методом; исследование сосудистой жесткости методом объемной сфигмографии. Жесткость магистральных артерий оценивали по значению индекса CAVI. У лиц молодого возраста (до 40 лет) ускоренный темп ремоделирования сосудов диагностировали при CAVI \geq 7,1 ед., раннее «сосудистое старение» — при CAVI \geq 7,6 ед. Анализировали случаи CAVI \geq 9 как маркера [3] выраженного атеросклеротического поражения коронарных, брахиоцефальных и периферических артерий.

С целью исключения ложно-заниженных результатов величины индекса CAVI в исследование не включали работников со значением лодыжечно-плечевого индекса менее 0,9 ед. (64 человека). Таким образом, анализируемая выборка составила 535 (89,32 %) человек, возраст которых составил 39,00 (33,00–47,00) лет. Для последующего изучения были выделены группы: 1-я группа (n = 266) — работники молодого возраста со значением CAVI < 7,0 ед., 2-я группа (n = 15) — работники молодого возраста со значением CAVI \geq 7,1 ед., 3-я группа (n = 234) — работники среднего возраста со значением CAVI < 8,0 ед., 4-я группа (n = 20) — работники среднего возраста со значением CAVI \geq 8,1 ед.

Уровень физической активности оценивался как низкий по критериям, принятым Всемирной организацией здравоохранения.

Статистический анализ производился при помощи статистических пакетов «Statistica 10.0». Характер распределения определялся при помощи критерия Колмогорова—Смирнова (n \geq 30). При

приближенно нормальном распределении для описания результатов применялись среднее значение (далее — M) и среднеквадратическое отклонение (далее — m) в формате $M \pm m$. Признаки, не имевшие приближенно нормального распределения, описывались при помощи медианы (далее — Me) и интерквартильного размаха — значения 25-го и 75-го перцентилей, и представлялись в виде $Me (P_{25} - P_{75})$. Для определения различий между двумя независимыми группами использовался U -критерий Манна—Уитни и χ^2 Пирсона, между двумя зависимыми переменными — критерий Вилкоксона (W). Оценку силы связи между признаками проводили с помощью коэффициента корреляции Спирмена (R) для непараметрических критериев.

Результаты и их обсуждение. Нами были изучены значения индекса CAVI у работников офисного труда в группах № 1 и № 2 в зависимости от распространенности ФР ССЗ, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Значения индекса CAVI у работников офисного труда в группах № 1 и № 2 в зависимости от распространенности ФР ССЗ, $Me (P_{25} - P_{75})$

Показатель	Группа 1 CAVI < 7,0 ед. (n = 266)	Группа 2 CAVI ≥ 7,1 ед. (n = 15)	Статистическая значимость различий, p
Возраст (лет)	33 (29,0–36,0)	37 (34,0–38,0)	$U, Z = -3,18;$ $p = 0,001$
Расчетный (сосудистый) возраст (лет)	24 (20,0–29,0)	39 (39,0–44,0)	$U, Z = 6,34;$ $p \leq 0,001$
Мужчины, n (%)	97 (36,4)	5 (33,3)	$\chi^2 = 0,60;$ $p = 0,807$
Индекс массы тела, кг/см ²	24,0 (21,30; 26,70)	23,3 (19,80–25,90)	$U, Z = 0,82;$ $p = 0,41$
Уровень висцерального жира (ед.)	4 (2,3; 6,0)	5 (1,5–6,5)	$U, Z = -0,66;$ $p = 0,511$
Низкий уровень физической активности, n (%)	156 (58,7)	9 (60,0)	$\chi^2 = 0,01;$ $p = 0,918$
АГ, n (%)	62 (23,3)	3 (20,0)	$\chi^2 = 0,09;$ $p = 0,768$
Табакокурение, n (%)	41 (15,4)	1 (6,7)	$\chi^2 = 4,36;$ $p = 0,037$
Наличие ИБС или другого сосудистого заболевания у ближайших родственников, n (%)	61 (22,9)	7 (46,7)	$\chi^2 = 0,89;$ $p = 0,035$
Примечание — Z — показатель отклонения средних значений по выборкам в сигмах.			

Как видно из таблицы 1, работники группы № 2 были достоверно ($U, Z = -3,18; Z = 6,34; p \leq 0,001$) старше по паспортному и расчетному (сосудистому) возрасту, при этом расчетный (сосудистый) возраст в группе № 1 был значимо ($W, T = 1\,018,500; Z = 12,71827; p < 0,05$) меньше паспортного, а в группе № 2 — значимо ($W, T = 0,00; Z = 3,407771; p < 0,05$) больше паспортного возраста. Группы были сопоставимы по гендерному составу, индексу массы тела (далее — ИМТ), уровню висцерального жира, распространенности АГ и низкого уровня физической активности и были представлены женщинами с нормальной массой тела и нормальным содержанием висцерального жира, имеющими низкий уровень физической активности. Следует отметить, что распространенность табакокурения была низкой в двух группах, но наибольшая распространенность табакокурения была выявлена у работников группы № 1.

Значимые ($\chi^2 = 0,89; p = 0,035$) различия между группами были выявлены по наличию в анамнезе ИБС или другого сосудистого заболевания у ближайших родственников, с преобладанием данного показателя в группе № 2, что может являться реализацией наследственного фактора развития ССЗ в виде ускоренного темпа старения сосудов у лиц данной группы.

У 6 (40,00 %) работников группы № 2 были выявлены значения индекса CAVI > 7,6 ед., при этом у 1 (16,67 %) из них значение индекса CAVI превышало возрастную норму. Паспортный возраст данных лиц составил 34,0 (33,00–38,00) года, при этом в 100 % случаях расчетный сосудистый возраст у них

превышал паспортный возраст и составил 41,5 (39,00–44,00) года. Данные работники имели массу тела, соответствующую норме (21,0 (19,40–24,40)), медиана уровня содержания висцерального жира соответствовала 25-му перцентилю его нормального содержания (3,25 (1,00–6,00)). Низкий уровень физической активности у данных лиц выявлен в 83,33 % случаев, особо следует отметить 100 % отсутствие табакокурения у данных лиц. При анализе анамнеза жизни выявлено, что у 1 (16,67 %) из этих работников присутствовала АГ и у 2 (33,33 %) — наследственный фактор развития ССЗ.

По данным корреляционного анализа значения индекса R/CAVI у работников молодого возраста группы № 1 и № 2 ассоциированы с возрастом ($R = 0,23$; $p < 0,05$) и с ИМТ ($R = -0,24$; $p < 0,05$). Следует отметить наличие отрицательной корреляционной связи значения индекса R/CAVI с ИМТ в данной группе, что находит подтверждение в работах других авторов [3]. Для изучения этого вопроса необходимы дальнейшие исследования.

Значения индекса CAVI у работников офисного труда в группах № 3 и № 4 в зависимости от распространенности ФР ССЗ представлены в таблице 2.

Таблица 2. — Значения индекса CAVI у работников офисного труда в группах № 3 и № 4 в зависимости от распространенности ФР ССЗ, Me (P_{25} – P_{75})

Показатель	Группа № 3 CAVI < 8,0 ед. (n = 234)	Группа № 4 CAVI ≥ 8,1 ед. (n = 20)	Статистическая значимость различий, p
Паспортный возраст (лет)	47 (43,0–52,0)	52 (50,0–55,0)	U, Z = 3,71; p ≤ 0,001
Расчетный сосудистый возраст (лет)	39 (24,0–49,0)	59 (54,0–59,00)	U, Z = 7,23; p ≤ 0,001
Мужчины, n (%)	62 (26,5 %)	10 (50,0 %)	$\chi^2 = 5,01$; p = 0,026
ИМТ, кг/см ²	27,1 (24,5–30,30)	28,6 (25,40–32,20)	U, Z = 1,06; p = 0,291
Уровень висцерального жира (ед.)	8,0 (5,50–10,00)	10,5 (7,50–12,50)	U, Z = 2,96; p = 0,003
Низкий уровень физической активности, n (%)	161 (68,8 %)	12 (60,0 %)	$\chi^2 = 0,66$; p = 0,418
АГ и СД, n (%)	106 (45,5 %)	13 (65,0 %)	$\chi^2 = 2,87$; p = 0,091
Табакокурение, n (%)	39 (16,2 %)	2 (10,0 %)	$\chi^2 = 0,61$; p = 0,437
Наличие ИБС или другого сосудистого заболевания у ближайших родственников, n (%)	59 (25,2 %)	12 (60,0 %)	$\chi^2 = 11,07$; p ≤ 0,001
Примечание — Z — показатель отклонения средних значений по выборкам в сигмах.			

Как видно из таблицы 2, работники группы № 4 были достоверно (U, Z = 3,71; Z = 7,23; p ≤ 0,001) старше по паспортному и расчетному сосудистому возрасту, при этом расчетный (сосудистый) возраст в группе № 3 был значимо (W, T = 1 195,500; Z = 11,78179; p < 0,05) меньше паспортного, а в группе № 4 — значимо (W, T = 0,00; Z = 3,919930; p < 0,05) больше паспортного возраста. Значимые (p < 0,05) различия между группами выявлены по гендерному составу, уровню содержания висцерального жира и наличию в анамнезе наследственного фактора развития ССЗ: в составе группы № 4 было больше мужчин, работники имели больший уровень содержания висцерального жира, и чаще у данных лиц отмечалось наличие в анамнезе ИБС или других сосудистых заболеваний у ближайших родственников.

Группы были сопоставимы по ИМТ, распространенности табакокурения и низкого уровня физической активности и были представлены работниками, имеющими избыточную массу тела, низкий уровень физической активности и АГ в анамнезе.

В группе № 4 значения индекса CAVI, превышающие возрастную норму, были выявлены у 6 (30,0 %) работников, у 2 (33,3 %) из них — значения индекса CAVI ≥ 9 ед. Возраст данных лиц со-

ставил $48,12 \pm 5,06$ года, при этом в 100 % случаев расчетный сосудистый возраст у них превышал паспортный возраст и составил $64,83 \pm 9,96$ года. Соотношение мужчин и женщин составило 1 : 1. Данные работники имели избыточную массу тела и ожирение 1 степени (ИМТ 26,2 (23,2–31,1)), медиана уровня содержания висцерального жира превышала 75-й перцентиль его нормального значения — 9,3 (7,0–10,5). Низкий уровень физической активности выявлен в 66,67 % случаев, табакокурение — в 16,67 % случаев. При анализе анамнеза жизни выявлено, что в 100 % случаев у этих работников присутствовала АГ и в 50 % случаев — наследственный фактор развития ССЗ.

По данным выполненного корреляционного анализа значения индекса R/CAVI в нашем исследовании ассоциированы с традиционными факторами риска развития ССЗ: с возрастом ($R = 0,38$; $p < 0,05$), с уровнем висцерального жира ($R = 0,13$; $p < 0,05$), наличием АГ ($R = 0,20$; $p < 0,05$).

Заключение. Изменения жесткости сосудистой стенки магистральных артерий в молодом возрасте может являться реализацией наследственных факторов риска развития ССЗ, на которые с возрастом наслаиваются традиционные факторы риска ССЗ, ускоряющие процесс ремоделирования сосудистой стенки.

Сочетанное рассмотрение традиционных факторов риска ССЗ и показателей артериальной жесткости магистральных артерий по значению индекса CAVI и расчетного сосудистого возраста может быть использовано при персонифицированном подходе для стратификации риска ССЗ с целью предупреждения преждевременного старения сосудов, а также для профилактики и лечения ССЗ.

Литература

1. Бойцов, С. А. Современное содержание и совершенствование стратегии высокого сердечно-сосудистого риска в снижении смертности от сердечно-сосудистых заболеваний / С. А. Бойцов, О. М. Драпкина // Терапевт. архив. — 2021. — Т. 93, № 1. — С. 4–6.

2. Семушина, Е. А. Выявление предикторов атеросклеротического поражения артерий и нарушения периферического кровообращения у работников промышленных предприятий методом объемной сфигмографии / Е. А. Семушина, А. В. Зеленко // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик. — Минск: РНМБ, 2017. — Вып. 27. — С. 139–142.

3. Артериальная жесткость и «сосудистое старение» во взаимосвязи с коагулологическими факторами риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, показателями липидного и углеводного обмена в популяции взрослого населения Томска по данным исследования ЭССЕРФ / А. Р. Заирова [и др.] // Кардиолог. вестн. — 2018. — № 1. — С. 5–15.

4. Барбук, О. А. Раннее старение сосудов: факторы риска, диагностика и профилактика / О. А. Барбук // Мед. новости. — 2019. — № 6. — С. 18–23.

5. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике / Ю. А. Васюк [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. — 2016. — Т. 15, № 2. — С. 4–19.

6. Сравнительный анализ методов диагностики субклинического поражения сосудов (на примере выборки эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ) / А. С. Алиева [и др.] // Рос. кардиолог. журн. — 2016. — Т. 21, № 6. — С. 20–26.

7. Комплексная оценка показателей ригидности артерий как предикторов синдрома раннего сосудистого старения / В. Э. Олейников [и др.] // Рос. кардиолог. журн. — 2018. — Т. 23, № 3. — С. 31–36.

8. Клиническое значение новых показателей жесткости сосудов / И. В. Милягина [и др.] // Вестн. Смолен. мед. акад. — 2010. — № 1. — С. 37–40.

9. Милягин, В. А. Определение раннего ремоделирования (старения) сосудов / В. А. Милягин, Ю. Н. Лексина, И. В. Милягина // Архив внутр. медицины. — 2012. — № 2 (4). — С. 46–50.

10. Relation between cardio-ankle vascular index and coronary artery calcification or stenosis in asymptomatic subjects / J. B. Park [et al.] // J. Atherosclerosis and Thrombosis. — 2013. — Vol. 20, № 6. — P. 557–567.

11. Correlation of cardio-ankle vascular index, ten-year risk assessment and other atherosclerosis risk factors / L. Mayer [et al.] // Coll Antropol. — 2011. — Vol. 35, № 1. — P. 167–172.

12. Семушина, Е. А. Возможности метода объемной сфигмографии в выявлении маркеров атеросклеротического поражения артерий у лиц пожилого и старческого возраста / Е. А. Семушина, Л. А. Жилевич, Л. М. Сычик // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. — 2019. — Т. 3, № 2. — С. 751–755.

VALUES OF NEW INDICATORS OF MAIN ARTERY STIFFNESS IN RELATION WITH RISK FACTORS OF CARDIOVASCULAR DISEASES IN OFFICE WORKERS

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The article describes the results of studying the values of arterial stiffness indices in relation to risk factors of cardiovascular diseases (hereinafter — CVD) in office workers. The stiffness of the main arteries was determined by multichannel volumetric sphygmography based on the value of the CAVI index (cardiac ankle vascular index) and calculated vascular age. The significance of such risk factors for increasing the stiffness of the arteries, as age, visceral fat, the presence of arterial hypertension.

Keywords: volume sphygmography, arterial stiffness, cardio-ankle vascular index, arterial hypertension, risk factors for cardiovascular diseases.

References

1. Boytsov S. A., Drapkina O. M. Modern content and improvement of high cardiovascular risk strategy in reducing mortality from cardiovascular diseases. *Terapevticheskii Arkhiv*. 2021; 93(1): 4–6. (in Russian)
2. Semushina E. A., Zelenko A. V. Identification of predictors of arteries atherosclerotic lesions and peripheral circulatory disorders among workers of industrial enterprises by the method of volume sphygmography. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2017; 27: 139–42. (in Russian)
3. Zairova A. R., Rogoza A. N., Dobrovolskiy A. B. et al. Arterial stiffness and vascular aging in relation to coalogical CVD risk factors, parameters of lipid and carbohydrate metabolism in adult population of Tomsk in the framework of the project ESSE-RF. *Kardiologicheskii vestnik [Russian Cardiology Bulletin]*. 2018; 13(1): 5–15. (in Russian)
4. Barbuk O. A. Early vascular aging: risk factors, diagnosis and prevention. *Medicinskie novosti*. 2019; 6: 18–23. (in Russian)
5. Vasyuk Yu. A., Ivanova S. V., Shkolnik E. L. et al. Consensus of Russian experts on the evaluation of arterial stiffness in clinical practice. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika [Cardiovascular Therapy and Prevention]*. 2016; 15(2): 4–19. (in Russian)
6. Alieva A. S., Boyarinova M. A., Orlov A. V. et al. Comparative analysis of diagnostic methods for subclinical vessels lesion (under the cohort of epidemiological study ESSE-RF). *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal [Russ J Cardiol]*. 2016; 21(6): 20–6. (in Russian)
7. Oleynikov V. E., Khromova A. A., Burko N. V. et al. Complex assessment of arteries stiffness parameters and traditional risk factors as the predictors of early vascular ageing syndrome. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal [Russ J Cardiol]*. 2018; 23(3): 31–6. (in Russian)
8. Milyagina I. V., Milyagin V. A., Shpyneva Z. M. et al. Clinical significance of new vascular stiffness indicators. *Vestnik Smolenskoj meditsinskoy akademii*. 2010; 1: 37–40. (in Russian)
9. Milyagin V. A., Leksina Yu. N., Milyagina I. V. Identification of early remodeling (aging) of vessels. *Arhiv vnutrennej mediciny [The Russian Archives of Internal Medicine]*. 2012; 2(4): 46–50. (in Russian)
10. Park J. B., Park H. E., Choi S. Y. et al. Relation between cardio-ankle vascular index and coronary artery calcification or stenosis in asymptomatic subjects. *J. Atherosclerosis and Thrombosis*. 2013; 20 (6): 557–567.
11. Mayer L., Bačić-Vrca V., Šulentić P. et al. Correlation of cardio-ankle vascular index, ten-year risk assessment and other atherosclerosis risk factors. *Coll Antropol*. 2011; 35(1): 167–72.
12. Siamushina E. A., Zhilevich L. A., Sychik L. M. Possibilities of the volume sphygmography method in identification of atherosclerotic arterial damage markers in elderly and senile people. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski [Emergency cardiology and cardiovascular risks]*. 2019; 3(2): 751–5. (in Russian)

Поступила 25.10.2021

*Сычик С. И., Гутич Е. А., Косяченко Г. Е., Итпаева-Людчик С. Л.,
Федоренко Е. В., Дудчик Н. В., Сычик Л. М.¹*

ТРУД И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь,*

*¹Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В статье представлен анализ актуальных проблем в области гигиены труда и сохранения здоровья работающих в Республике Беларусь, в том числе законодательного регулирования процедур оценки условий труда, компенсаций по условиям труда. Отдельно рассмотрены проблемные вопросы гигиены труда медицинских работников и управления профессиональными рисками их здоровью в условиях пандемии COVID-19. Обозначены основные направления и пути решения поднятых проблем.

Ключевые слова: гигиена труда, условия труда, профессиональные риски здоровью, профессиональные заболевания, бремя болезней, компенсации по условиям труда, медицинские работники, средства индивидуальной защиты.

Введение. Численность трудовых ресурсов Республики Беларусь только за четыре года (2016–2019 гг.) сократилась практически на 146 тысяч человек (2,5 %), в том числе численность трудоспособного населения в трудоспособном возрасте — на 77 тысяч человек, лиц старше трудоспособного возраста, занятых в экономике, — на 69 тысяч человек. Аналогичные тенденции наблюдались и с численностью занятого населения. За четыре года пятилетки занятых в национальной экономике стало меньше на 3,6 % [1]. По прогнозам экспертов, прогрессирующая трудонедостаточность — один из главных стратегических рисков и угроз национальной безопасности на долгосрочную перспективу в области экономического роста.

Потери трудовых ресурсов связаны как с депопуляцией населения (уровни смертности превышают уровни рождаемости), так и с потерей трудоспособности вследствие заболеваний и травм. При этом, по оценкам Всемирной организации здравоохранения (далее — ВОЗ), 2,1 % всех смертей в мире связаны с профессиональными рисками, а доля глобального бремени болезней, связанных с воздействием профессиональных факторов, достигает 2,7 % [2]. Таким образом, правомерно говорить о том, что экономическая безопасность страны находится в прямой взаимосвязи с уровнем здоровья трудоспособного населения, которое во многом определяется условиями труда работников и связанными с ними профессиональными рисками здоровью.

Результаты и их обсуждение. Согласно национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г., одним из приоритетов социальной политики государства является качественное здравоохранение и поощрение здорового образа жизни. При этом с 2021 г. акцент должен быть сделан на создание условий, обеспечивающих сохранение здоровья населения в процессе его жизнедеятельности, в том числе создание условий труда, позволяющих сохранить трудоспособность населения на всем протяжении профессиональной карьеры [3]. Стратегической целью развития системы охраны здоровья является увеличение продолжительности здоровой жизни населения, и в качестве основных критериев эффективности и качества развития системы здравоохранения выступают: сокращение существующего разрыва в показателях состояния здоровья населения Республики Беларусь и европейских стран; увеличение продолжительности жизни населения, скорректированной с учетом нарушений здоровья (DALE), до 69 лет в 2030 г. (против 61,7 года в 2012 г.); снижение уровня заболеваемости на 10 % и тяжести первичной инвалидности населения до 60 % к 2030 г.

Какова же роль производственных факторов в формировании здоровья населения и демографических показателей? По оценкам ВОЗ, ежегодно около двух миллионов человек умирают в результате профессиональных заболеваний, несчастных случаев или травм, связанных с работой. Ежегодно в мире фиксируется 160 миллионов новых случаев производственно обусловленных заболеваний, что приводит к потере от 4 % до 6 % валового внутреннего продукта государств, а доля

глобального бремени болезней, связанных с воздействием профессиональных факторов, достигает 2,7 %, из них: 70 % — неинфекционные заболевания, 8 % — инфекционные заболевания, 22 % — травмы [2].

Важно отметить, что бремя болезней, связанных с воздействием производственных факторов, определяется не только затратами системы здравоохранения и потерей трудовых ресурсов, а приводит к целому ряду последствий как для работника и его работодателя, так и для семьи и общества в целом. Так, для нанимателя такие последствия включают прямые расходы, связанные с оказанием медицинской помощи, расходы на профессиональную реабилитацию, денежные компенсации, а также косвенные затраты (остановка производства, расследование несчастных случаев и травм, набор и обучение персонала). Для общества в целом бремя болезней, связанных с работой, обусловлено не только расходами на оказание медицинской помощи и экономическими потерями в связи с недоданной продукцией, но и потерями человеческого капитала, расходами на подготовку кадров в различных отраслях экономики, нагрузкой на социальную сферу, в том числе связанной с инвалидностью [4].

По прогнозам Международной организации труда, значительная часть рабочих мест, созданных в ближайшие два десятилетия, будет обеспечиваться за счет появления новых профессий, что обуславливает необходимость опережающего переобучения и повышения квалификации работников с учетом новых направлений инновационного развития. По расчетам экспертов, в 2021–2025 гг. ситуация на рынке труда Республики Беларусь будет формироваться в условиях дальнейшего перераспределения рабочей силы между отраслями экономики. Динамика отраслевой структуры занятости будет характеризоваться сокращением численности работников в промышленности и сельском хозяйстве. Данные тенденции во многом обусловлены модернизацией производства и внедрением ресурсосберегающих технологий, ростом производительности труда и сокращением избыточной занятости. Более высокие темпы сокращения уровня занятости в сельском хозяйстве будут связаны с сокращением численности трудоспособного населения в сельской местности.

По данным Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, порядка 30 % населения, занятого в экономике, работает во вредных и / или опасных условиях труда. В 2019 г. практически 18 % работников были заняты на рабочих местах с вредными условиями труда по показателям химических, физических и биологических факторов производственной среды, 8 % — заняты тяжелым физическим трудом, и 3 % рабочих мест не соответствовали гигиеническим нормативам по показателям напряженности трудового процесса. Несмотря на совершенствование технологий, модернизацию производств и внедрение принципов цифровой экономики, среди вредных факторов производственной среды наиболее распространенным по-прежнему является шум. В 2019 г. 37 % рабочих мест не соответствовали гигиеническим нормативам по шуму, 11 % — по производственной вибрации, 8 % — по уровням запыленности воздуха рабочей зоны [1].

По предварительным прогнозам, к 2030 г. структура промышленности в Республике Беларусь должна принципиально измениться, ее основу составят высокотехнологичные производства и инновационные промышленные кластеры [3]. Помимо огромных преимуществ видов деятельности в сфере высоких технологий, можно прогнозировать, что широкое внедрение цифровой экономики с позиций гигиены труда может сопровождаться целым рядом изменений условий и характера труда, оцениваемых не всегда положительно. Во-первых, будет происходить резкое снижение физической компоненты труда и повышение напряженности психоэмоциональной сферы исполнителя. Вполне ожидаемо снижение риска развития соматической профессиональной патологии, но возможно прогнозировать рост нервно-психических расстройств и стрессов, психосоматических и пограничных состояний. Вырастут требования к эргономическим характеристикам рабочего места, организации и режимам труда и отдыха. Решение этого комплекса новых гигиенических проблем современных трудовых отношений требует серьезной проработки от всех заинтересованных уже сегодня.

В настоящее время в Республике Беларусь имеется две процедуры оценки условий труда: комплексная гигиеническая оценка условий труда, регламентированная санитарно-эпидемиологическим законодательством (Санитарные нормы и правила «Гигиеническая классификация условий труда», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 г. № 211), и аттестация рабочих мест по условиям труда, регламентированная законодательством об охране труда (Инструкция по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда, утвержденная постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22.02.2008 г. № 35). Несмотря на то что в основе обеих процедур изначально находится гигиеническая классификация условий труда, в настоящее время подходы к оценке имеют значительные различия. На практике нередки ситуации, когда в результате проведения двух процедур на одном и том же

рабочем месте получают разные итоговые классы условий труда. Это приводит к неоднозначным выводам об уровнях профессиональных рисков здоровью работников, препятствует реализации комплексных профилактических мероприятий. Так, в результате выполнения исследований на рабочих местах медицинских работников в рамках одного из заданий подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» государственной научно-технической программы «Научное обеспечение качества и доступности медицинских услуг» установлено, что разница в общем количестве рабочих мест с вредными условиями труда при проведении комплексной гигиенической оценки условий труда и аттестации рабочих мест по условиям труда составляет порядка 10 %. Основная причина — разные подходы к оценке биологического фактора [5].

Очевидно, что подходы к оценке условий труда должны базироваться на действующем санитарно-эпидемиологическом законодательстве и быть едины вне зависимости от целей использования результатов. Необходима унификация в процедурах оценки условий труда, оценки профессионального риска здоровью. Это позволит установить единые критерии оценки факторов производственной среды и трудового процесса как для разработки профилактических мероприятий, так и для компенсаций по условиям труда, однозначно трактовать уровни профессионального риска здоровью работников, исключить необходимость проведения дублирующих исследований на рабочих местах, а также избыточную нагрузку, в том числе финансовую, на субъекты хозяйствования.

По данным Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, примерно каждый шестой работник в республике пользуется хотя бы одним из видов компенсаций по условиям труда (всего более 760 тысяч работников). По масштабам применения льгот лидируют такие виды компенсаций, как дополнительные отпуска, доплаты к заработной плате, бесплатное обеспечение молоком и равноценными пищевыми продуктами [1]. На эти цели тратятся значительные ресурсы, но насколько это позволяет снизить риски здоровью работников и улучшить ситуацию с условиями труда? В ряде случаев компенсации по условиям труда становятся причиной низкой мотивации к повышению безопасности условий труда не только у нанимателей, но и у самих работников.

В последнее время вопрос бесплатного обеспечения молоком и равноценными пищевыми продуктами стал регулярно подниматься нанимателями и обсуждаться на уровне республиканских органов государственного управления. В 2019 г. 6,0 % среднегодовой численности населения, занятого в экономике, получали компенсацию по условиям труда в виде бесплатной выдачи молока [1]. Среди основных проблем, с которыми сталкивается наниматель при реализации этой меры компенсаций по условиям труда, можно выделить следующие:

- сложности, связанные с организацией выдачи молока: небольшой срок хранения, необходимость соблюдения температурного режима, особые требования к условиям организации выдачи и употребления работниками молока в буфетах, столовых или в специально оборудованных в соответствии с законодательством в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения помещениях;
- наличие противопоказаний к употреблению молока у работников;
- сложности с определением равноценности иных пищевых продуктов молоку;
- отсутствие учета фактических концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны при принятии решения о бесплатной выдаче молока.

В качестве решения существующих проблем рядом предприятий предлагалась замена молока иными продуктами питания (витаминизированные напитки), а также денежной компенсацией. Однако, по нашему мнению, замена молока или равноценных пищевых продуктов выплатой денежной компенсации противоречит цели данного профилактического мероприятия, так как возможно употребление денежных средств работником на иные нужды, не связанные с сохранением здоровья.

Что же касается использования альтернативных молоку продуктов питания, то данный вопрос требует проведения дополнительных научных исследований. В последние 20 лет комплексные научные исследования по изучению питания работников, в том числе занятых во вредных условиях труда, в Республике Беларусь и Российской Федерации не проводились. Отдельные прикладные исследования касались конкретных отраслей промышленности, в результате показана возможность использования алиментарного фактора для профилактики негативного действия химических веществ в производственных условиях. Тем не менее универсального продукта, который обладает специфическими детоксикационными свойствами, не существует, что в равной степени относится и к молоку. При этом молоко и равнозначные ему по пищевой и биологической ценности продукты в качестве профилактической меры при работе с вредными веществами рассматриваются как исключительно полноценный пищевой продукт, имеющий значение для оптимизации пищевого статуса.

С учетом патогенетических механизмов действия вредных химических производственных факторов специализированные пищевые продукты диетического профилактического питания должны:

- повышать защитные функции физиологических барьеров, препятствуя проникновению вредных химических веществ внутрь организма;
- обеспечивать повышение устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды и адаптационных резервов;
- способствовать усилению процессов связывания и выведения ядов или продуктов их обмена из организма;
- корригировать биотрансформацию промышленных ядов путем окисления, метилирования, дезаминирования и других биохимических процессов, направленных на образование в организме слаботоксичных продуктов обмена, или блокировать, тормозить эти реакции, если возникают продукты обмена токсичнее исходных;
- улучшать функциональное состояние органов и систем, преимущественно пораженных вредными производственными факторами, повышать антитоксическую функцию печени, в особенности при воздействии гепатотропных ядов;
- компенсировать возникающий под воздействием вредных производственных факторов дефицит пищевых веществ, в особенности тех, которые не синтезируются в организме;
- оказывать благоприятное действие на ауторегуляторные реакции организма, в том числе на нервную и эндокринную регуляцию иммунной системы, обмен веществ.

Таким образом, замена молока на иные виды продуктов, равноценные ему по эффективности в детоксикации вредных химических веществ, не должна осуществляться произвольно, а требует глубокой научной экспертизы, поэтому в отношении продуктов — заменителей молока необходимы: обоснование состава, доз и длительности использования; оценка эффективности — объективные клинические данные, экспертная оценка, подтверждение заявленных свойств Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Для решения обсуждаемой проблемы с учетом опыта Российской Федерации предложены следующие изменения в действующие Правила бесплатного обеспечения работников молоком или равноценными пищевыми продуктами при работе с вредными веществами, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.02.2002 г. № 260:

- расширение перечня пищевых продуктов, которые могут выдаваться взамен молока, — к таким продуктам относятся кисломолочные продукты без добавления немолочных компонентов (кефир, ряженка, простокваша, йогурт), а также творог и сыр определенной жирности. Указанные продукты в целом эквивалентны молоку по содержанию белка;
- замена молока специализированным пищевым продуктом диетического профилактического питания, при условии, что на его маркировке содержится информация о его профилактическом назначении при определенных вредных условиях труда, согласованная с Министерством здравоохранения Республики Беларусь в порядке, установленном законодательством;
- возможность прекращения выдачи молока работникам при условии отсутствия регистрации химических веществ в воздухе рабочей зоны (с учетом пределов обнаружения при применении используемых методов контроля) по результатам лабораторного контроля производственных факторов.

Стоит также отметить, что в соответствии с иерархией мероприятий, направленных на защиту работающих от неблагоприятного влияния факторов производственной среды, медико-профилактические мероприятия, как и использование средств индивидуальной защиты, по степени приоритетности и радикальности находятся на последнем месте и являются дополнительной мерой защиты здоровья работников в случае отсутствия объективных возможностей обеспечения безопасных условий труда с использованием технологических мер.

Важным этапом оценки профессиональных рисков здоровью является оценка показателей здоровья, характеризующих реализацию данных рисков и их величину. Профессиональная патология является наиболее важным индикатором неблагоприятного воздействия производственных факторов на здоровье работников, но сегодня мы не можем однозначно оценивать тенденции с профессиональной заболеваемостью в республике. По данным ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья», за период с 2010 по 2019 г. в Республике Беларусь зарегистрировано менее 1 тысячи больных с впервые установленным диагнозом профзаболевания. При этом большая их часть приходится на хронические заболевания, влекущие за собой ограничения профессиональной пригодности и трудоспособности. Совершенно очевидно, что регистрируе-

мый в республике уровень профессиональной заболеваемости не отражает истинной ситуации и не соответствует состоянию условий труда в промышленном секторе экономики. Условия труда у трети работников остаются вредными, а профзаболеваемость стремится к нулю, что может свидетельствовать о том, что основная часть профессиональных заболеваний маскируется в структуре общей заболеваемости, т. е. работники с нарушениями здоровья, возникшими в процессе труда, не получают надлежащего медицинского обслуживания и соответствующих социальных компенсаций за утрату здоровья. Важно, что имеющаяся диспропорция между условиями труда на большинстве рабочих мест предприятий и организаций республики и реальным состоянием здоровья работников, оцениваемым прежде всего по вновь выявляемым случаям профзаболеваний, создает иллюзорную картину «благополучия», не позволяет реально оценивать уровень профессионального здоровья и управлять им, приводит к дискредитации гигиенических нормативов, требует комплексного совершенствования всей системы медицинского обслуживания работающего населения республики.

В сложившейся ситуации целесообразен учет риска возникновения или повышения общесоматической заболеваемости у работающих. Сегодня эти подходы к оценке профессиональных рисков с использованием данных о временной утрате трудоспособности необходимо возобновить. В этой связи с 2022 г. специалистами республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» планируется выполнение задания «Разработать метод оценки состояния здоровья работающих на основе анализа заболеваемости с временной утратой трудоспособности» подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» государственной научно-технической программы «Научное обеспечение качества и доступности медицинских услуг».

Отдельно необходимо остановиться на вопросах гигиены труда в здравоохранении. Целевые показатели государственной программы «Рынок труда и содействие занятости» на 2021–2025 гг. свидетельствуют о том, что количество работников, занятых на рабочих местах с вредными и опасными условиями труда, в организациях системы здравоохранения в 2021 г. составит около 12 тысяч, что сравнимо со вкладом отдельных отраслей промышленного производства в общее количество рабочих мест в республике, не соответствующих гигиеническим нормативам [6].

За 2010–2018 гг. среди медицинских работников республики зарегистрировано 77 профессиональных заболеваний, что составляет практически 9 % от общего количества зарегистрированной профессиональной патологии. Большинство диагнозов профессионального заболевания установлены медицинским сестрам. Практически 95 % установленных у медработников диагнозов профпатологии — туберкулез органов дыхания [7].

Медицинские работники в зависимости от характера производственных операций в процессе своей трудовой деятельности подвергаются воздействию различных вредных производственных факторов, при этом биологический фактор вносит весомый вклад в формирование уровней профессиональных рисков здоровью работников организаций здравоохранения. В настоящее время наряду с известными биологическими агентами появляются и новые биологические угрозы, определяющие дополнительные риски здоровью медицинского персонала. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, примерно 14 % случаев COVID-19 в странах Европы и Америки приходится на работников здравоохранения [8]. Результаты исследований, проведенных в Российской Федерации, странах Европы и региона Юго-Восточной Азии, также свидетельствуют о том, что в 2020 г. наиболее распространенным профессиональным заболеванием от биологических факторов у медработников оказалось заражение их COVID-19 [9–12]. В Республике Беларусь за 2020 г. зарегистрировано 98 случаев острых профессиональных заболеваний среди медицинских работников, связанных с инфицированием COVID-19, что составило 68 % от общего количества всех случаев профзаболеваний.

Существующая в нашей стране система управления профессиональным риском здоровью, в том числе медицинских работников, базируется на разработке комплекса профилактических мероприятий, основывающихся на оценке условий труда в рамках аттестации рабочих мест по условиям труда и комплексной гигиенической оценке условий труда, проводимых в соответствии с действующим законодательством 1 раз в 5 лет. Такая система не позволяет учесть возможность временного существенного изменения условий труда и предполагает проведение гигиенической оценки производственных факторов при постоянном технологическом процессе. В условиях значительного эпидемического подъема заболеваемости респираторными инфекциями, в том числе COVID-19, происходит перепрофилирование коечного фонда стационаров в инфекционные отделения, и медицинский персонал в этот промежуток времени выполняет работу в совершенно иных условиях труда, подвергаясь воздействию как агрессивного биологического фактора, так и высоких физических и нервно-эмоциональных нагрузок, что определяет повышенный риск развития профессиональных

и производственно обусловленных заболеваний. Все это определяет, наряду с использованием существующей системы управления профессиональным риском, необходимость разработки целенаправленных мероприятий по управлению профессиональным риском здоровью медицинских работников организаций здравоохранения, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях пациентам в период эпидемического подъема заболеваемости респираторными инфекциями.

Использование средств индивидуальной защиты органов дыхания в данных условиях играет одну из наиболее важных ролей в системе профилактических мероприятий, поэтому вопрос их эффективности и отсутствия неблагоприятного воздействия на функциональное и психофизиологическое состояние медицинских работников является особо актуальным [8, 10]. Действующее в настоящее время в Республике Беларусь законодательство определяет гигиенические требования к изделиям медицинского назначения лишь в отношении токсикологических и санитарно-химических показателей безопасности, обеспечивающих отсутствие неблагоприятного воздействия на здоровье работников в ходе их эксплуатации, связанного с используемыми для их изготовления материалами, — отсутствие токсических эффектов. При этом показатели, характеризующие степень защиты медицинских работников от биологических агентов при использовании изделий медицинского назначения для защиты органов дыхания, в действующем санитарно-эпидемиологическом законодательстве отсутствуют. Кроме того, существующие требования к изделиям медицинского назначения для защиты органов дыхания не учитывают их влияние на функциональное и психофизиологическое состояние организма работников, что также может вносить свой вклад в формирование профессиональных рисков.

Ряд вопросов, связанных с управлением профессиональным риском здоровью медицинских работников, планируется решить в ходе выполнения заданий подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» государственной научно-технической программы «Научное обеспечение качества и доступности медицинских услуг» «Разработать и внедрить научно-обоснованные гигиенические требования к изделиям медицинского назначения для защиты органов дыхания, используемым в организациях здравоохранения» (2020–2024 гг.) и «Разработать и внедрить метод управления профессиональным риском здоровью медицинских работников организаций здравоохранения, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях в период эпидемического подъема заболеваемости респираторными инфекциями» (2022–2026 гг.).

Еще одной актуальной проблемой использования средств индивидуальной защиты (далее — СИЗ) в организациях здравоохранения является возможность и регламентация их повторного применения. В соответствии с рекомендациями ВОЗ в условиях глобального дефицита средств индивидуальной защиты, одной из эффективных стратегий достижения оптимальной обеспеченности СИЗ может явиться их повторная эксплуатация после обеззараживания. В ряде стран применяются различные подходы к повторному использованию СИЗ — от полного запрета до применения различных режимов и схем дезинфекции. К порядку выполнения данной меры имеют место различные подходы в зависимости от типа используемых СИЗ [13].

По поручению Министерства здравоохранения Республики Беларусь в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены» создана рабочая группа для разработки сочетанной технологии эффективного обеззараживания СИЗ на основе использования комплекса химических и физических методов (активных кислородсодержащих соединений с последующими циклами обработки физическими факторами — ультрафиолетовое облучение, холодные плазменные среды, лазерное обеззараживание). В рамках выполнения задания «Разработать метод дезинфекции средств индивидуальной защиты на основе генерирования кислородсодержащих аэрозолей» подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» государственной научно-технической программы «Научное обеспечение качества и доступности медицинских услуг» проведено изучение динамики численности и таксономического состава микробной популяции средств индивидуальной защиты после использования персоналом лечебных стационаров; изучены фенотипические признаки выделенных изолятов для оценки комплекса потенциала агрессии; выявлены наиболее многочисленные таксономические единицы с выраженным потенциалом агрессии; разработана лабораторная технология деконтаминации средств индивидуальной защиты в аггравированных условиях и проведена количественная оценка ее эффективности. Количественные показатели эффективности деконтаминации в модельном эксперименте зависели как от агрессивных свойств штаммов, так и от природы носителя. Деконтаминация «сухим туманом» перекиси водорода наиболее эффективна для гладких полимерных поверхностей (щитки, очки), составляя 100 % для диапазона инициальной контаминации 1–4 log. Обработка аэрозолем 8 % перекиси водорода с последующим ультрафиоле-

товым облучением приводит к снижению бионагрузки масок в 100 раз (бионагрузка возвращалась к нормируемому показателю и составляла менее 30 КОЕ/г изделия). Полученные экспериментальные данные и результаты «полевых» испытаний технологии в условиях инфекционного стационара подтвердили нашу рабочую гипотезу о синергическом эффекте химических и физических факторов при проведении процесса обеззараживания СИЗ с учетом оценки фенотипических маркеров агрессии микробной популяции на изделиях медицинского назначения [14, 15].

Заключение. Профессиональное здоровье — важнейший индикатор здоровья общества, оно определяет качество трудовых ресурсов, производительность труда, демографическую ситуацию в стране, в конечном итоге — величину национального внутреннего валового продукта. В этой связи здоровье и безопасность на рабочем месте являются важнейшими приоритетами любого государства и общества.

Такие проблемы сохранения здоровья работающих, как изменение условий и характера труда в связи со структурной перестройкой производства, отсутствие единых унифицированных подходов к оценке условий труда, оценка эффективности различных видов компенсаций по условиям труда, определение индикаторов воздействия производственных факторов на здоровье работающих для объективной оценки риска, необходимость совершенствования системы управления профессиональными рисками здоровью медицинских работников, в том числе использования средств индивидуальной защиты, имеют комплексный характер, и их решение требует совместных скоординированных действий целого ряда органов государственного управления с обязательным научным обоснованием конкретных профилактических мероприятий.

Литература

1. Труд и занятость в Республике Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. — Минск, 2020. — 314 с.
2. Preventing disease through a healthier and safer workplace / J. Wolf [et al.]. — Geneva: WHO, 2018. — 86 p.
3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]: одобр. Президиумом Совета Министров Республики Беларусь 2 мая 2017 г. — Режим доступа: <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. — Дата доступа: 08.11.2021.
4. An Approach to Assess the Burden of Work-Related Injury, Disease, and Distress / P. A. Schulte [et al.] // *American Journal of Public Health*. — 2017. — Vol. 107, № 7. — P. 1051–1057.
5. Комплексная гигиеническая оценка условий труда медицинских работников лечебно-профилактических учреждений г. Минска / И. В. Мадекша [и др.] // *Профессиональное долголетие — многофакторные риски, стратегия и тактика реализации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Омск, 22–23 апр. 2021 г.* / под ред. О. В. Плотниковой. — Омск: Ом. гос. мед. ун-т, 2021. — С. 106–109.
6. Государственная программа «Рынок труда и содействие занятости» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 30 дек. 2020 г. № 777. — Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000777&p1=1>. — Дата доступа: 09.11.2021.
7. Анализ профессиональной заболеваемости медицинских работников и взрослого населения Беларуси / И. И. Новик [и др.] // *Вопросы организации и информатизации здравоохранения*. — 2021. — № 1. — С. 43–47.
8. Профилактика, выявление и ведение случаев инфекции среди медицинских работников в контексте COVID-19 [Электронный ресурс]: временные рекомендации ВОЗ от 30 октября 2020 г. — Режим доступа: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336265/WHO-2019-nCoV-HW_infection-2020.1-rus.pdf?sequence=18. — Дата доступа: 09.11.2021.
9. Профессиональные заболевания медицинских работников от инфекционных агентов: современное состояние проблемы / Р. В. Гарипова [и др.] // *Медицина труда и промышл. экология*. — 2021. — Т. 61, № 1. — С. 13–17.
10. COVID-19 у медицинских работников (обзор литературы и собственные данные) / Л. А. Шпагина [и др.] // *Медицина труда и промышл. экология*. — 2021. — Т. 61, № 1. — С. 18–26.
11. Nienhaus, A. COVID-19 among Health Workers in Germany and Malaysia [Electronic resource] / A. Nienhaus, R. Hod // *Int J Environ Res Public Health*. — 2020. — № 17. — Mode of access: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/13/4881>. — Date of access: 09.11.2021.

12. COVID-19 in health care workers — A systematic review and meta-analysis / A. K. Sahu [et al.] // *Am. J. Emerg. Med.* — 2020. — Vol. 38, № 9. — P. 1727–1731.

13. Рациональное использование средств индивидуальной защиты при коронавирусной болезни (COVID-19) и соображения применительно к ситуации их острой нехватки [Электронный ресурс]: временное руководство ВОЗ от 6 апреля 2020 г. — Режим доступа: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331695/WHO-2019-nCov-IPC_PPE_use-2020.3-rus.pdf. — Дата доступа: 09.11.2021.

14. Бактериальные профили и фенотипические маркеры изолятов микробиоты среды обитания: факторы идентификации опасности / Н. В. Дудчик [и др.] // *Анализ риска здоровью.* — 2020. — № 2. — С. 92–100.

15. Дудчик, Н. В. Прокариотические тест-модели в экотоксикологических исследованиях: перспективы и классификация (обзор) / Н. В. Дудчик, С. И. Сычик, В. В. Шевляков // *Теорет. и прикладная экология.* — 2018. — № 4. — С. 5–12.

*Sychyk S. I., Hutsich E. A., Kosiachenko G. E., Itpayeva-Ljudchik S. L.,
Fedorenko E. V., Dudchik N. V., Sychyk L. M.¹*

LABOR AND HEALTH OF THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS: CURRENT ISSUES AND PROSPECTS

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus,

¹Educational institution «Belarusian State Medical University», Minsk, Belarus

The article presents an analysis of current problems in the field of occupational health and health protection of workers in the Republic of Belarus, including legislative regulation of procedures for assessing working conditions and compensations for working conditions. The problematic issues of occupational health of medical workers and management of occupational risks to their health in the conditions of COVID-19 pandemic were considered separately. The main directions and ways of solving the raised problems are outlined.

Keywords: occupational hygiene, working conditions, occupational health risks, occupational diseases, burden of disease, compensation for working conditions, medical workers, personal protective equipment.

References

1. National statistical committee of the Republic of Belarus. Labour and employment in the Republic of Belarus: Statistical bulletin. Minsk; 2020: 314. (in Russian)

2. Wolf J., Prüss-Ustün, A., Ivanov I. et al. Preventing disease through a healthier and safer workplace. Geneva: World Health Organization; 2018. 86 p.

3. National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus until 2030. Available at: <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. (accessed 08 November 2021). (in Russian)

4. Schulte P. A., Pana-Cryan R., Schnorr T. et al. An Approach to Assess the Burden of Work-Related Injury, Disease, and Distress. *American Journal of Public Health.* 2017; 107(7): 1051–7.

5. Madeksha I. V., Nikolaeva E. A., Gutich E. A., Itpayeva-Ljudchik S. L. Comprehensive hygienic assessment of working conditions of medical workers in health care institutions in Minsk. *Professional longevity — multi-factor risks, strategy and tactics of implementation: Proceedings of the all-Russian Scientific-Practical Conference with international participation.* 2021, April 22–23; Omsk; RF. Omsk; 2021: 106–9. (in Russian)

6. State program «Labor Market and Employment Promotion» for 2021–2025: approved by Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on 30 December 2020 No. 777. — Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000777&p1=1> (accessed 09 November 2021). (in Russian)

7. Novik I. I., Kratenok V. E., Pisaryk V. M., Khauratovich V. M. Analysis of occupational morbidity among health workers and adult population in Belarus. *Voprosy organizacii i informatizacii zdravoohranenija [Problems of public health organization and informatization].* 2021; 1: 43–7. (in Russian)

8. World Health Organization (2020). Prevention, identification and management of health worker infection in the context of COVID-19: interim guidance, 30 October 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/336265?locale-attribute=ru> & (accessed 09 November 2021).

9. Garipova R. V., Strizhakov L. A., Umbetova K. T., Safina K. R. Occupational diseases of health care workers from exposure to infectious agents: the current state of the problem. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2021; 61(1): 13–7. (in Russian)
10. Shpagina L. A., Kuzmina L. P., Kotova O. S. et al. COVID-19 in healthcare workers (literature review and own data). *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2021; 61(1): 18–26. (in Russian)
11. Nienhaus A., Hod R. COVID-19 among Health Workers in Germany and Malaysia. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17. Available at: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/13/4881> (accessed 09 November 2021).
12. Sahu A. K., Amrithanand V. T., Mathew R. et al. COVID-19 in health care workers — A systematic review and meta-analysis. *Am J Emerg Med*. 2020; 38(9): 1727–31.
13. World Health Organization (2020). Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: interim guidance, 6 April 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331695> (accessed 09 November 2021).
14. Dudchik N. V., Sychik S. I., Nezhvinskaya O. E. et al. Bacterial profiles and phenotypic biomarkers of microbiota isolates in habitat: hazard identification factors. *Health Risk Analysis*. 2020; 2: 92–100. (in Russian)
15. Dudchik N. V., Sychik S. I., Shevlyakov V. V. Prokaryotic test models for environmental ecotoxicological research: prospects and classification (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2018; 4: 5–12. (in Russian)

Поступила 29.11.2021

Раздел VI

ТОКСИКОЛОГИЯ

УДК 615.9:678

Васильева М. М., Сычик С. И., Ильюкова И. И., Грынчак В. А., Анисович М. В.

ОСОБЕННОСТИ КУМУЛЯТИВНЫХ СВОЙСТВ БИСФЕНОЛОВ А И S В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА БЕЛЫХ КРЫСАХ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В субхроническом 90-дневном эксперименте изучены токсические свойства бисфенолов А и S при пероральном введении самкам и самцам белых крыс в трех дозах: 1920, 480 и 240 мг/кг. На протяжении трехмесячного эксперимента гибель животных и внешние проявления интоксикации отсутствовали, что свидетельствует о слабой материальной кумуляции изучаемых веществ, однако экспозиция бисфенолами А и S вызвала различные функциональные изменения в организме лабораторных животных. Для бисфенолов А и S характерно дозозависимое общетоксическое действие с критическим органом-мишенью (печень) и основными биохимическими маркерами токсического эффекта (содержание билирубина, холестерина, магния, железа, креатинина и активность АСАТ, АЛАТ в сыворотке крови). Максимальная недействующая доза (NOAEL) установлена на уровне 240 мг/кг как для бисфенола А, так и для бисфенола S.

Ключевые слова: бисфенол А, бисфенол S, субхроническая токсичность, показатели периферической крови, биохимические показатели крови.

Введение. Химические вещества группы бисфенолов, повсеместно используемые при производстве поликарбонатных пластиков и эпоксидных смол, входят в состав контейнеров для пищевых продуктов и напитков, термобумаги и внутренних покрытий консервных банок. Бисфенолы способны поступать в продукты питания и напитки из упаковки и многоразовых контейнеров, причем степень их миграции увеличивается при нагревании.

Наиболее распространено применение в производстве бисфенола А. Однако, несмотря на доказанное в исследованиях гормоноподобное действие бисфенола А, вопрос о том, может ли он оказывать неблагоприятное воздействие на функционирование отдельных систем и органов, остается открытым. Известно, что бисфенол А связывается как с ядерными рецепторами эстрогенов, так и с рецепторами клеточных мембран [1]. При высоких уровнях воздействия бисфенол А является антагонистом рецепторов андрогенов и взаимодействует с другими ядерными рецепторами, включая рецепторы глюкокортикоидов и гормонов щитовидной железы [2]. Во многих исследованиях на животных и людях сообщается о связи воздействия бисфенола А с различными нарушениями в состоянии здоровья, включая бесплодие, ожирение, психоэмоциональные нарушения, раннее половое созревание, рак простаты и молочной железы, изменения артериального давления, развитие сердечно-сосудистых заболеваний и диабета [3, 4]. Всемирная организация здравоохранения классифицировала бисфенол А как химическое вещество, нарушающее работу эндокринной системы (endocrine disruptor). Наряду с этим в 2015 г. Европейское агентство безопасности продуктов питания оценило риски для здоровья населения, связанные с воздействием бисфенола А, и пришло к выводу, что они являются приемлемыми для всех возрастных групп [5]. В то же время Европейское химическое агентство в 2017 г. внесло бисфенол А в список веществ, вызывающих очень серьезную озабоченность (SVHC), из-за его репродуктивной токсичности [6].

В качестве альтернативной замены бисфенола А, применение которого вызывает все большую настороженность, был предложен бисфенол S, признаваемая безопасность которого скорее является следствием недостаточной изученности. Таким образом, вышеизложенные факты указывают на актуальность изучения и сравнительной оценки особенностей биологического действия бисфенолов А и S.

Цель работы — в субхроническом 90-дневном эксперименте изучить токсические свойства бисфенолов А и S при внутрижелудочном введении белым крысам.

Материалы и методы. Токсические свойства в субхроническом эксперименте изучали при внутрижелудочном введении фиксированных доз бисфенолов А и S самкам и самцам белых крыс (160–180 г) по методу ОЭСР Руководство № 408 «Изучение пероральной токсичности при повторном воздействии в 90-дневных опытах на грызунах» (OECD TG № 408 «Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents») в течение 90 дней. Экспериментальные животные разделены на 14 групп по 10 особей в каждой: XIII — контрольная (самки) и XIV — контрольная (самцы); I (самки) и IV (самцы), II (самки) и V (самцы), III (самки) и VI (самцы) — опытные, подвергавшиеся воздействию 240, 480 и 1920 мг/кг бисфенолом А, соответственно, VII (самки) и X (самцы), VIII (самки) и XI (самцы), IX (самки) и XII (самцы) — опытные, подвергавшиеся воздействию 240, 480 и 1920 мг/кг бисфенолом S, соответственно [7]. Бисфенолы вводили в желудок лабораторным животным натошак в виде 1%-ной крахмальной суспензии. Контрольным группам вводили 1%-ный водный раствор крахмала в соответствующем объеме. В ходе эксперимента регистрировали изменения массы тела животных раз в неделю. После одномоментной декапитации крыс при аутопсии проводили макроскопическое исследование внутренних органов, определяли относительные коэффициенты массы (далее — ОКМ) внутренних органов — щитовидной железы, желудка, надпочечников, печени, поджелудочной железы, почек, сердца, селезенки, тимуса, матки, яичников, семенников и придатков. Для характеристики функционального состояния организма подопытных животных с помощью гематологического анализатора Mythic18 (Швейцария) и автоматического биохимического анализатора Ascent 200 (Польша) изучали морфофункциональный состав периферической крови: лейкоциты, лимфоциты, моноциты, гранулоциты, эритроциты, концентрацию гемоглобина, гематокрит, средний объем эритроцитов, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците, тромбоциты, средний объем тромбоцитов, тромбокрит и показатель гетерогенности тромбоцитов, а также определяли биохимические показатели сыворотки крови: общий билирубин, глюкозу, фосфор, мочевины, магний, общий белок, креатинин, альбумин, холестерин, железо, лактатдегидрогеназу (далее — ЛДГ), аланинаминотрансферазу (далее — АЛТ), аспаратаминотрансферазу (далее — АСАТ).

Полученные данные статистически обрабатывались общепринятыми методами анализа с использованием компьютерных программ MS Excel, STATISTICA 13.3 (лиц. № AXA8111525627ARCN2ACD-M). Количественные параметры представлены в виде медианы (Me) и межквартильного размаха [25%; 75%]. При оценке различий между результатами опыта и показателями контроля использовали непараметрический U-критерий Манна—Уитни. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез был принят $p < 0,05$.

Обращение с животными при подготовке и проведении экспериментов осуществляли в соответствии с основными этическими принципами надлежащей лабораторной практики [8].

Данное исследование выполнено в рамках гранта М20М-087 «Сравнительная токсикологическая оценка химических веществ группы бисфенолов с предполагаемым эстрогеноподобным действием» Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Результаты и их обсуждение. На протяжении 90-дневного опыта при внутрижелудочном введении бисфенолов А и S у экспериментальных животных не наблюдали внешних проявлений интоксикации, также опытные группы белых крыс не отличались от контрольных по приросту массы тела — среднегрупповые значения колебались в пределах 87–101 г. Отсутствие гибели животных в опытных группах не позволило рассчитать коэффициент кумуляции, что свидетельствует о слабой материальной кумулятивной активности по классификации Л. И. Медведя (1965).

В группах животных, получавших бисфенол А и S в дозах 1920 мг/кг и 480 мг/кг, макроскопически отмечены дистрофические изменения печени (окраска органов бледная, края долек закруглены, имеются зоны просветления).

При воздействии бисфенола А в дозе 1920 мг/кг у самок установлено увеличение ОКМ щитовидной железы в 1,4 раза, почек — в 1,2 раза и уменьшение ОКМ тимуса — в 1,4 раза и яичников — в 1,2 раза по отношению к контролю ($p < 0,05$); у самцов выявлено увеличение ОКМ желудка в 1,1 раза, надпочечников — в 1,7 раза, печени — в 1,2 раза, селезенки — в 1,4 раза и тимуса — в 1,3 раза по отношению к контрольным животным ($p < 0,05$).

Введение бисфенола S в дозе 1920 мг/кг инициировало изменения массы внутренних органов в виде увеличения ОКМ печени в 1,1 раза, почек и селезенки — в 1,2 раза и уменьшения ОКМ яичников у самок белых крыс ($p < 0,05$); у самцов установлено статистически значимое увеличение ОКМ желудка, придатков и печени в 1,1 раза, селезенки — в 1,2 раза, тимуса — в 1,4 раза при сравнении с контрольной группой ($p < 0,05$).

При снижении вводимой дозы бисфенола А до 480 мг/кг у самцов наблюдалось увеличение ОКМ желудка в 1,1 раза, надпочечников — в 1,7 раза, печени и селезенки — в 1,2 раза ($p < 0,05$); у самок — увеличение ОКМ щитовидной железы в 1,4 раза ($p < 0,05$). При воздействии бисфенола S на самцов крыс в дозе 480 мг/кг выявлено статистически значимое увеличение ОКМ печени в 1,1 раза, селезенки — в 1,2 раза, тимуса — в 1,3 раза и уменьшение ОКМ надпочечников в 1,3 раза; у самок — увеличение ОКМ почек в 1,1 раза ($p < 0,05$). Уровень воздействия 240 мг/кг изучаемых веществ не вызывал сдвигов весовых коэффициентов.

Изучение морфофункциональных показателей периферической крови самцов белых крыс, подвергнутых субхроническому воздействию бисфенола А в дозе 1 920 мг/кг, позволило установить снижение показателя гетерогенности тромбоцитов и увеличение содержания лейкоцитов, моноцитов, лимфоцитов, тромбоцитов и показателя тромбокриты, в то время как у самок наблюдалось только увеличение содержания тромбоцитов ($p < 0,05$). При снижении дозы бисфенола А до 480 мг/кг статистически значимое увеличение содержания лейкоцитов и лимфоцитов отмечено только у самцов экспериментальных животных ($p < 0,05$). Воздействие бисфенола А в дозе 240 мг/кг не вызвало изменений показателей периферической крови ни у самцов, ни у самок белых крыс (таблица 1).

Изучение морфофункциональных показателей периферической крови самцов белых крыс, подвергнутых 90-дневному воздействию бисфенола S в дозе 1 920 мг/кг, показало увеличение показателя гетерогенности тромбоцитов и тромбокриты, абсолютного количества лейкоцитов, лимфоцитов, тромбоцитов при $p < 0,05$. При снижении вводимой дозы бисфенола S до 480 мг/кг у самцов белых крыс также установлено статистически значимое увеличение содержания лейкоцитов, лимфоцитов, тромбоцитов, показателя гетерогенности тромбоцитов и тромбокриты. Воздействие бисфенола S в дозе 240 мг/кг не инициировало изменений показателей периферической крови лабораторных животных всех опытных групп (таблица 2).

При изучении биохимических показателей сыворотки крови самцов белых крыс, получавших бисфенол А в дозе 1 920 мг/кг, установлено снижение концентрации общего билирубина, глюкозы, холестерина, магния, железа, ЛДГ и активности АСАТ и увеличение содержания общего белка ($p < 0,05$). При этом у самок, получавших такую же дозу бисфенола А, выявлено статистически значимое снижение активности ЛДГ и увеличение содержания креатинина и общего белка. Введение дозы 480 мг/кг самцам белых крыс способствовало снижению содержания общего билирубина, магния, холестерина, ЛДГ и активности АСАТ и увеличению содержания общего белка в крови. У самок белых крыс при том же уровне воздействия установлено снижение активности ЛДГ и увеличение содержания креатинина и общего белка. Воздействие бисфенола А в дозе 240 мг/кг не вызвало изменений биохимических показателей сыворотки крови (таблица 3).

При изучении биохимических показателей сыворотки крови самцов белых крыс, получавших бисфенол S в дозе 1 920 мг/кг, выявлено статистически значимое снижение концентрации магния, ЛДГ, активности АЛАТ и АСАТ и увеличение содержания общего белка, мочевины, холестерина, креатинина. При этом у самок, получавших такую же дозу бисфенола S, установлено снижение концентрации ЛДГ и магния и увеличение содержания глюкозы, мочевины, креатинина и общего белка. При внутрижелудочном введении дозы 480 мг/кг самцам белых крыс выявлено снижение содержания магния и ЛДГ и увеличение содержания мочевины и креатинина. У самок белых крыс та же доза инициировала статистически значимое снижение концентрации ЛДГ и магния, увеличение содержания глюкозы, мочевины, креатинина (таблица 4).

Заключение. В субхроническом 90-дневном эксперименте изучены токсические свойства бисфенолов А и S при пероральном введении самкам и самцам белых крыс в трех дозах: 1920, 480 и 240 мг/кг. На протяжении трехмесячного эксперимента гибель животных и внешние проявления интоксикации отсутствовали, что свидетельствует о слабой материальной кумуляции изучаемых веществ, однако токсическое действие бисфенолов А и S вызывало различные функциональные изменения в организме лабораторных животных.

Установлены статистически значимые изменения следующих показателей при введении бисфенола А: доза 1 920 мг/кг — ОКМ печени, селезенки, почек, надпочечников, щитовидной железы, тимуса, яичников, содержания лейкоцитов, моноцитов, лимфоцитов, тромбоцитов, тромбокриты, глюкозы, холестерина, общего билирубина, ЛДГ, креатинина и общего белка, активности АСАТ; также установлены сдвиги минерального обмена — в сыворотке крови отмечено снижение содержания магния и железа; доза 480 мг/кг — ОКМ печени, селезенки, надпочечников, щитовидной железы, содержания лейкоцитов, лимфоцитов, общего билирубина, холестерина, общего белка, креатинина, ЛДГ, активности АСАТ; также установлены сдвиги минерального обмена — в сыворотке крови от-

Таблица 1. — Морфофункциональные показатели крови белых крыс, подвергнутых воздействию бисфенола А в 90-дневном эксперименте, Ме [25%; 75%]

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровни воздействия бисфенола А									
	I — опытная, 240 мг/кг	II — опытная, 480 мг/кг	III — опытная, 1920 мг/кг	IV — опытная, 240 мг/кг	V — опытная, 480 мг/кг	VI — опытная, 1920 мг/кг	XIII — кон-трольная (самки)	XIV — кон-трольная (самцы)		
Лейкоциты, $\times 10^9$ кл/л	12,9 [12,1; 13,2]	13,1 [12,7; 14,0]	13,5 [12,3; 14,2]	14,5 [13,5; 15,4]	21,2 [19,1; 21,7]*	23,8 [22,6; 27,9]*	14,6 [12,9; 15,7]	13,8 [11,9; 14,9]		
Лимфоциты, $\times 10^9$ кл/л	10,3 [9,1; 10,8]	9,5 [9,0; 10,1]	9,7 [9,1; 10,2]	7,3 [6,7; 8,1]	9,3 [9,1; 9,8]*	10,6 [10,2; 12,7]*	9,9 [9,3; 11,0]	7,8 [6,7; 8,5]		
Моноциты, $\times 10^9$ кл/л	0,6 [0,4; 0,7]	0,6 [0,6; 0,7]	0,6 [0,5; 0,7]	0,85 [0,8; 0,9]	0,8 [0,6; 0,9]	1,35 [1,0; 1,6]*	0,6 [0,6; 0,7]	0,8 [0,7; 1,0]		
Гранулоциты, $\times 10^9$ кл/л	2,7 [2,1; 2,9]	2,9 [2,5; 3,3]	2,7 [2,4; 3,2]	5,4 [4,6; 5,6]	5,7 [5,0; 5,8]	5,8 [4,5; 6,2]	3,1 [2,7; 3,9]	5,2 [4,4; 6,4]		
Эритроциты, $\times 10^{12}$ кл/л	7,4 [6,9; 7,6]	7,4 [7,1; 7,8]	7,4 [7,2; 7,6]	8,0 [7,6; 8,4]	8,2 [7,5; 8,4]	8,0 [7,7; 8,8]	7,4 [7,3; 7,5]	8,0 [7,9; 8,2]		
Концентрация гемоглобина, г/л	152,0 [149; 159]	152,5 [149; 159]	153,5 [149; 155]	151 [148; 153]	150,5 [148; 153]	149 [147; 156]	149 [147; 156]	152,5 [152; 153]		
Гематокрит, л/л	0,39 [0,38; 0,40]	0,38 [0,36; 0,4]	0,39 [0,38; 0,4]	0,37 [0,37; 0,38]	0,38 [0,36; 0,39]	0,36 [0,36; 0,39]	0,38 [0,36; 0,39]	0,39 [0,38; 0,39]		
Средний объем эритроцита, фл	50,2 [50,0; 50,8]	51,2 [49,9; 52,2]	51,5 [50,4; 52,4]	50,2 [50,0; 50,8]	48,9 [48,5; 49,5]	46,8 [46,5; 48,0]	50,2 [49,9; 51,1]	48,1 [47,3; 48,7]		
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	401,5 [399,0; 405,0]	402,0 [398,0; 409,0]	400,5 [395,0; 404,0]	400,5 [396,0; 402,0]	397,0 [395,0; 399,0]	401,5 [398,0; 403,0]	399,0 [396,0; 400,0]	399,5 [396,0; 402,0]		
Тромбоциты, $\times 10^9$ кл/л	991,0 [967,0; 1010,0]	1078,5 [996,0; 1111,0]	1062,0 [990,0; 1169,0]*	881,0 [819,0; 937,0]	933,0 [891,0; 949,0]	1245,5 [1118,0; 1471,0]	991,5 [931,0; 10540,0]	883,0 [739,0; 932,0]		
Средний объем тромбоцитов, фл	6,45 [6,10; 6,80]	6,35 [6,10; 6,50]	6,45 [6,00; 6,70]	6,50 [6,10; 6,60]	6,20 [6,10; 6,30]	6,30 [6,10; 6,40]	6,55 [6,40; 6,80]	6,25 [6,10; 6,60]		
Тромбокрит, %	0,66 [0,62; 0,71]	0,72 [0,62; 0,79]	0,69 [0,65; 0,75]	0,62 [0,61; 0,65]	0,58 [0,52; 0,61]	0,77 [0,65; 0,84]*	0,66 [0,59; 0,69]	0,59 [0,45; 0,66]		
Показатель гетерогенности тромбоцитов, %	14,8 [14,2; 15,2]	15,0 [14,6; 15,3]	14,9 [14,3; 15,2]	16,8 [16,4; 17,4]	17,6 [16,8; 18,8]	16,2 [15,8; 17,1]*	15,1 [14,7; 15,7]	17,6 [16,8; 18,2]		

* различия статистически значимы, $p < 0,05$.

Таблица 2. — Морфофункциональные показатели крови белых крыс, подвергнутых воздействию бисфенола S в 90-дневном эксперименте, Me [25%; 75%]

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровни воздействия бисфенола S									
	VII — опытная, 240 мг/кг	VIII — опытная, 480 мг/кг	IX — опытная, 1920 мг/кг	X — опытная, 240 мг/кг	XI — опытная, 480 мг/кг	XII — опытная, 1920 мг/кг	XIII — контрольная (самки)	XIV — контрольная (самцы)		
Лейкоциты, $\times 10^9$ кл/л	13,3 [11,8; 14,2]	13,5 [11,7; 14,5]	12,6 [12,0; 13,7]	11,3 [10,5; 14,3]	15,6 [14,2; 17,4]*	21,3 [18,3; 29,1]*	14,6 [12,9; 15,7]	13,8 [11,9; 14,9]		
Лимфоциты, $\times 10^9$ кл/л	9,6 [9,3; 10,1]	9,8 [8,8; 10,1]	9,4 [8,3; 9,8]	8,4 [8,1; 8,9]	9,9 [9,2; 11,1]*	12,3 [11,8; 12,8]*	9,9 [9,3; 11,0]	7,8 [6,7; 8,5]		
Моноциты, $\times 10^9$ кл/л	0,6 [0,5; 0,7]	0,7 [0,7; 0,8]	0,7 [0,5; 0,7]	0,9 [0,8; 0,9]	0,7 [0,6; 0,8]	0,6 [0,4; 0,8]*	0,6 [0,6; 0,7]	0,8 [0,7; 1,0]		
Гранулоциты, $\times 10^9$ кл/л	3,8 [3,2; 4,1]	3,3 [2,7; 3,9]	3,6 [2,9; 3,7]	5,5 [4,6; 5,9]	5,2 [4,7; 5,4]	5,0 [4,7; 5,1]	3,1 [2,7; 3,9]	5,2 [4,4; 6,4]		
Эритроциты, $\times 10^{12}$ кл/л	7,4 [7,0; 7,6]	7,3 [7,2; 7,8]	7,1 [7,0; 7,5]	8,2 [8,0; 8,4]	8,2 [8,1; 8,2]	8,0 [7,7; 8,3]	7,4 [7,3; 7,5]	8,0 [7,9; 8,2]		
Концентрация гемоглобина, г/л	148,0 [145; 149]	149,5 [143; 152]	152,5 [152; 158]	153 [151; 154]	152,5 [148; 155]	153 [152; 155]	149 [147; 156]	152,5 [152; 153]		
Гематокрит, л/л	0,36 [0,36; 0,37]	0,37 [0,35; 0,38]	0,38 [0,38; 0,39]	0,39 [0,39; 0,40]	0,40 [0,38; 0,40]	0,39 [0,38; 0,40]	0,38 [0,36; 0,39]	0,39 [0,38; 0,39]		
Средний объем эритроцита, фл	49,5 [48,8; 52,6]	51,3 [49,3; 52,1]	50,1 [49,1; 50,5]	48,0 [47,7; 48,2]	48,2 [47,1; 48,7]	47,9 [47,7; 48,1]	50,2 [49,9; 51,1]	48,1 [47,3; 48,7]		
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	399,5 [398,0; 402,0]	401,0 [400,0; 402,0]	399,0 [398,0; 401,0]	402,5 [399,0; 406,0]	402,0 [394,0; 403,0]	400 [397,0; 406,0]	399,0 [396,0; 400,0]	399,5 [396,0; 402,0]		
Тромбоциты, $\times 10^9$ кл/л	1002,0 [980,0; 1018,0]	956,5 [931,0; 969,0]	995,0 [976,0; 1002,0]	782,0 [714,0; 880,0]	948,5 [934,0; 1002,0]*	997,5 [983,0; 1002,0]*	991,5 [931,0; 10540,0]	883,0 [739,0; 932,0]		
Средний объем тромбоцитов, фл	6,25 [6,10; 6,50]	6,50 [6,20; 6,70]	6,30 [6,10; 6,40]	6,20 [6,00; 6,60]	6,30 [6,10; 6,40]	6,10 [6,00; 6,20]	6,55 [6,40; 6,80]	6,25 [6,10; 6,60]		
Тромбокрит, %	0,61 [0,58; 0,66]	0,59 [0,56; 0,62]	0,63 [0,84; 0,66]	0,52 [0,49; 0,64]	0,69 [0,63; 0,71]*	0,69 [0,64; 0,72]*	0,66 [0,59; 0,69]	0,59 [0,45; 0,66]		
Показатель гетерогенности тромбоцитов, %	15,3 [14,8; 15,7]	14,9 [13,7; 15,7]	14,9 [14,1; 15,3]	17,1 [16,9; 17,5]	18,3 [17,9; 19,0]*	20,3 [19,6; 23,1]*	15,1 [14,7; 15,7]	17,6 [16,8; 18,2]		

* различия статистически значимы, $p < 0,05$.

Таблица 3. — Биохимические показатели сыворотки крови белых крыс, подвергнутых воздействию бисфенола А в 90-дневном эксперименте, Me [25%; 75%]

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровни воздействия бисфенола А									
	I — опытная, 240 мг/кг	II — опытная, 480 мг/кг	III — опытная, 1920 мг/кг	IV — опытная, 240 мг/кг	V — опытная, 480 мг/кг	VI — опытная, 1920 мг/кг	XIII — кон-трольная (самки)	XIV — кон-трольная (самцы)		
Билирубин общий, мкМоль/л	2,25 [1,90; 2,70]	2,15 [2,00; 2,50]	2,00 [1,80; 2,20]	4,65 [4,60; 4,70]	3,00 [2,90; 3,50]*	2,6 [2,50; 3,00]*	1,95 [1,70; 2,20]	4,75 [4,40; 5,00]		
Глюкоза, мМоль/л	5,16 [4,78; 5,23]	5,54 [5,08; 5,80]	5,37 [4,98; 6,07]	4,16 [4,03; 4,54]	4,62 [4,26; 5,09]	3,25 [2,99; 3,79]*	5,09 [4,75; 5,36]	4,48 [4,06; 4,62]		
Фосфор, мМоль/л	1,97 [1,9; 2,1]	2,16 [1,99; 2,22]	2,10 [1,99; 2,21]	2,29 [2,15; 2,37]	2,23 [2,15; 2,27]	1,99 [1,82; 2,31]	2,04 [1,92; 2,08]	2,22 [2,08; 2,40]		
Мочевина, мкМоль/л	14,69 [14,31; 14,85]	14,57 [14,01; 14,73]	14,67 [14,28; 14,88]	29,61 [29,17; 29,87]	29,46 [28,95; 29,84]	30,00 [29,26; 30,60]	14,50 [14,42; 14,55]	29,80 [29,17; 30,14]		
Магний, мМоль/л	0,33 [0,31; 0,34]	0,32 [0,32; 0,32]	0,32 [0,32; 0,33]	0,33 [0,32; 0,33]	0,31 [0,29; 0,32]*	0,31 [0,29; 0,31]*	0,32 [0,32; 0,32]	0,33 [0,31; 0,34]		
Общий белок, мМоль/л	48,55 [46,8; 53,5]	52,70 [48,90; 55,30]*	58,95 [55,80; 61,50]*	48,25 [46,2; 52,4]	58,45 [54,8; 58,7]*	58,15 [54,8; 58,7]*	47,55 [43,2; 52,7]	49,2 [46,5; 57,1]		
Креатинин, мкМоль/л	25,42 [23,67; 26,19]	28,03 [27,26; 31,10]*	28,91 [27,16; 32,16]*	19,19 [17,96; 20,37]	18,89 [18,35; 19,74]	20,28 [19,30; 21,12]	25,31 [23,39; 28,45]	20,13 [19,41; 21,02]		
Альбумин, г/л	48,5 [43,8; 54,4]	49,2 [47,9; 54,5]	50,8 [48,0; 51,5]	29,1 [26,7; 30,3]	27,9 [23,2; 31,7]	28,5 [27,1; 31,0]	47,5 [36,8; 51,2]	30,9 [28,3; 33,2]		
Холестерин, мМоль/л	0,95 [0,9; 1,0]	1,05 [1,0; 1,1]	1,05 [0,9; 1,1]	0,80 [0,80; 0,90]	0,65 [0,5; 0,7]*	0,45 [0,4; 0,6]*	0,95 [0,8; 1,0]	0,95 [0,8; 1,1]		
АЛАТ, мккат/л	80,95 [78,2; 81,9]	79,5 [75,2; 81,1]	78,9 [69,9; 83,7]	89,2 [85,8; 98,1]	91,5 [82,4; 98,2]	82,0 [80,7; 83,5]	82,65 [80,6; 84,4]	84,4 [83,0; 89,6]		
АСАТ, мккат/л	144,1 [139,9; 149,7]	148,6 [143,8; 156,1]	140,4 [129,6; 164,4]	164,9 [157,3; 178,9]	137,7 [122,8; 154,8]*	150,0 [144,9; 152,2]*	144,1 [139,9; 149,7]	172,2 [151,4; 181,3]		
ЛДГ, Ед/л	1638,2 [1340,3; 1875,2]	1434,2 [1314,7; 1638,5]*	1408,1 [1315,7; 1555,5]*	2104,9 [1459,7; 1812,4]	1721,5 [1459,7; 1812,4]*	1383,9 [1317,7; 1454,5]*	1926,3 [1866,7; 2011,7]	2199,1 [2124,1; 2283,7]		
Железо, мкМоль/л	36,65 [36,00; 38,60]	38,15 [35,80; 40,70]	38,55 [35,10; 41,70]	16,65 [16,10; 17,60]	16,80 [15,80; 17,40]	13,35 [13,10; 14,50]*	36,45 [34,20; 38,90]	16,70 [16,00; 17,10]		

* различия статистически значимы, p < 0,05.

Таблица 4. — Биохимические показатели сыворотки крови белых крыс, подвергнутых воздействию бисфенола S в 90-дневном эксперименте, Ме [25%; 75%]

Показатели, единицы измерения	Группы сравнения, уровни воздействия бисфенола S									
	VII — опытная, 240 мг/кг	VIII — опытная, 480 мг/кг	IX — опытная, 1920 мг/кг	X — опытная, 240 мг/кг	XI — опытная, 480 мг/кг	XII — опытная, 1920 мг/кг	XIII — кон- трольная (самки)	XIV — кон- трольная (самцы)		
Билирубин общий, мкМоль/л	2,05 [1,80; 2,20]	1,75 [1,5; 2,00]	1,75 [1,50; 2,00]	4,75 [4,40; 4,90]	4,5 [4,10; 4,80]	4,9 [4,40; 5,20]	1,95 [1,70; 2,20]	4,75 [4,40; 5,00]		
Глюкоза, мМоль/л	5,15 [4,67; 5,47]	4,16 [3,878; 4,89]*	5,88 [5,52; 6,13]*	4,58 [4,36; 5,02]	4,12 [3,71; 5,23]	4,25 [4,08; 4,51]	5,09 [4,75; 5,36]	4,48 [4,06; 4,62]		
Фосфор, мМоль/л	2,12 [1,99; 2,21]	1,96 [1,82; 2,07]	1,84 [1,70; 2,01]	2,21 [2,05; 2,37]	2,10 [2,04; 2,17]	2,28 [2,10; 2,56]	2,04 [1,92; 2,08]	2,22 [2,08; 2,40]		
Мочевина, мкМоль/л	14,44 [14,00; 14,84]	15,15 [15,04; 15,39]*	15,38 [15,18; 15,57]*	29,69 [29,25; 29,86]	30,71 [30,39; 31,19]*	31,24 [30,25; 31,64]*	14,50 [14,42; 14,55]	29,80 [29,17; 30,14]		
Магний, мМоль/л	0,32 [0,31; 0,32]	0,31 [0,30; 0,31]*	0,29 [0,28; 0,31]*	0,33 [0,32; 0,34]	0,31 [0,30; 0,32]*	0,31 [0,30; 0,32]*	0,32 [0,32; 0,32]	0,33 [0,31; 0,34]		
Общий белок, мМоль/л	51,45 [42,5; 52,8]	50,50 [47,00; 52,30]	59,00 [54,40; 61,80]*	50,45 [46,6; 53,9]	51,00 [47,5; 53,8]	60,0 [55,7; 68,3]*	47,55 [43,2; 52,7]	49,2 [46,5; 57,1]		
Креатинин, мкМоль/л	25,56 [24,68; 26,56]	29,04 [26,82; 29,4]*	28,55 [28,14; 29,60]*	20,16 [19,85; 21,36]	24,68 [23,41; 26,80]*	22,51 [22,05; 22,96]*	25,31 [23,39; 28,45]	20,13 [19,41; 21,02]		
Альбумин, г/л	40,6 [38,8; 42,1]	42,9 [39,6; 47,6]	47,8 [46,0; 49,9]	31,6 [30,3; 35,1]	33,9 [30,1 36,4]	30,3 [26,6; 33,0]	47,5 [36,8; 51,2]	30,9 [28,3; 33,2]		
Холестерин, мМоль/л	0,80 [0,8; 1,0]	1,00 [0,9; 1,1]	0,9 [0,9; 1,0]	1,05 [0,90; 1,1]	1,0 [0,9; 1,1]	1,35 [1,2; 1,4]*	0,95 [0,8; 1,0]	0,95 [0,8; 1,1]		
АЛАТ, мккат/л	81,1 [80,0; 84,3]	79,5 [77,7; 82,7]	80,7 [77,9; 82,4]	82,4 [79,2; 84,8]	90,6 [88,2; 95,5]	68,3 [64,5; 74,3]*	82,65 [80,6; 84,4]	84,4 [83,0; 89,6]		
АСАТ, мккат/л	143,0 [123,9; 147,7]	148,3 [131,1; 156,6]	149,4 [124,9; 157,9]	174,2 [146,6; 183,6]	159,0 [122,9; 178,9]	140,5 [136,0; 144,4]*	144,1 [139,9; 149,7]	172,2 [151,4; 181,3]		
ЛДГ, Ед/л	1889,9 [1418,5; 2083,5]	1356,6 [1093,6; 1591,7]*	1214,5 [1144,9; 1478,8]*	2143,5 [2025,2; 2211,4]	1460,9 [1265,3; 1593,6]*	1307,2 [1171,1; 1489,7]*	1926,3 [1866,7; 2011,7]	2199,1 [2124,1; 2283,7]		
Железо, мкМоль/л	36,35 [34,30; 37,00]	36,65 [36,00; 38,80]	36,45 [34,40; 38,30]	16,30 [16,10; 16,70]	16,70 [16,40; 17,20]	16,95 [16,30; 17,70]	36,45 [34,20; 38,90]	16,70 [16,00; 17,10]		

* различия статистически значимы, $p < 0,05$.

мечено снижение содержания магния и железа. Доза 240 мг/кг — не установлены статистически значимые изменения показателей.

Установлены статистически значимые изменения следующих показателей при введении бисфенола S: доза 1 920 мг/кг — ОКМ печени, почек, селезенки, тимуса, яичников и придатков, содержания лейкоцитов, лимфоцитов, тромбоцитов, тромбокриты, общего белка, мочевины, холестерина, креатинина, глюкозы, ЛДГ, активности АЛАТ и АСАТ; доза 480 мг/кг — ОКМ печени, тимуса, селезенки, почек, надпочечников, содержания лейкоцитов, лимфоцитов, тромбоцитов, тромбокриты, мочевины, креатинина, глюкозы, ЛДГ, магния. Доза 240 мг/кг — не установлены статистически значимые изменения показателей.

Результаты эксперимента позволили установить, что для бисфенолов А и S характерно дозозависимое общетоксическое действие с критическим органом-мишенью (печень) и основными биохимическими маркерами токсического эффекта (содержание билирубина, холестерина, железа, магния, креатинина, активность АСАТ и АЛАТ в сыворотке крови). Максимальная недействующая доза (NOAEL) установлена на уровне 240 мг/кг как для бисфенола А, так и для бисфенола S.

Литература

1. Nuclear receptor profiling of bisphenol-A and its halogenated analogues / V. Delfosse [et al.] // *Vitam Horm.* — 2014. — Vol. 94. — P. 229–251.
2. Bisphenol a exposure causes meiotic aneuploidy in the female mouse / P. A. Hunt [et al.] // *Curr Biol.* — 2003. — Vol. 13, № 7. — P. 546–553.
3. Vom Saal, F. S. Update on the health effects of Bisphenol A: Overwhelming evidence of harm / F. S. Vom Saal, L. N. Vandenberg // *Endocrinology.* — 2021. — Vol. 162, № 3. — Art. bqaa171.
4. Васильева, М. М. Экспериментальное изучение токсических эффектов бисфенолов А и S в условиях однократного внутрижелудочного воздействия / М. М. Васильева // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье и окружающая среда» (19–20 ноября 2020 г., Минск) / М-во здравоохранения Респ. Беларусь; Науч.-практ. центр гигиены; редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.). — Минск: Изд. центр БГУ, 2021. — С. 345–349.
5. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs [Electronic resource] / EFSA CEF Panel (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids). — 2015. — Mode of access: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2015.3978>. — Date of access: 10.09.2021.
6. Substance evaluation conclusion as required by REACH Article 48 and evaluation report for 4,4'-Isopropylidenediphenol (EC No 201-245-8, CAS No 80-05-7) [Electronic resource] // European Chemicals Agency (ECHA). — 2017. — Mode of access: <https://echa.europa.eu/documents/10162/2e8ac666-fae6-2e54-f0eb-ef4a5da819ed>. — Date of access: 10.09.2021.
7. Определение токсичности химической продукции (химических веществ и их смесей) при повторном и хроническом внутрижелудочном поступлении: инструкция по применению, рег. № 052–1215: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь / разработ.: Е. С. Юркевич [и др.]. — Минск, 2015. — 24 с.
8. ГОСТ 33044–2014. Принципы надлежащей лабораторной практики. — М.: Стандартинформ, 2019.

Vasilyeva M. M., Sychyk S. I., Iiukova I. I., Hrynychak V. A., Anisovich M. V.

FEATURES OF CUMULATIVE PROPERTIES OF BISPHENOLS A AND S IN EXPERIMENT ON WHITE RATS

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The toxic properties of bisphenols A and S were studied in a subchronic 90-day experiment when administered orally to female and male white rats in three doses: 1 920, 480 and 240 mg/kg. During the 3-month experiment, the death of animals and external manifestations of intoxication were absent, the increase in body weight did not differ from the control. Bisphenols A and S are characterized by a dose-dependent general toxic effect with critical target organs: kidneys and liver, and the main biochemical markers of the toxic effect — a decrease in bilirubin, cholesterol, iron, ASAT, ALAT, creatinine. The maximum inactive dose (NOAEL) is set at 240 mg/kg for both bisphenol A and bisphenol S.

Keywords: bisphenol A, bisphenol S, subchronic toxicity, peripheral blood parameters, blood biochemical parameters.

References

1. Delfosse V., Grimaldi M., le Maire A. et al. Nuclear receptor profiling of bisphenol-A and its halogenated analogues // *Vitam Horm.* — 2014. — Vol. 94. — P. 229–51.
2. Hunt P.A., Koehler K.E., Susiarjo M. et al. Bisphenol a exposure causes meiotic aneuploidy in the female mouse. *Curr Biol.* — 2003. — Vol. 13, № 7. — P. 546–53.
3. Vom Saal F. S., Vandenberg L. N. Update on the health effects of Bisphenol A: Overwhelming evidence of harm // *Endocrinology.* — 2021. — Vol. 162, № 3. — Art. bqa171.
4. Васильева, М. М. Экспериментальное изучение токсических эффектов бисфенолов А и S в условиях однократного внутрижелудочного воздействия / М. М. Васильева // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье и окружающая среда» (19–20 ноября 2020 г., Минск) / М-во здравоохранения Респ. Беларусь; Науч.-практ. центр гигиены; редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.). — Минск: Изд. центр БГУ, 2021. — С. 345–349.
5. European Food Safety Authority (EFSA). 2015. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. European Food Safety Authority (EFSA) Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings Processing Aids (CEF) [Electronic resource]. — Mode of access: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2015.3978>. — Date of access: 10.09.21.
6. European Chemicals Agency (ECHA). 2017. Substance evaluation conclusion as required by REACH Article 48 and evaluation report for 4,4'-Isopropylidenediphenol (EC No 201–245–8, CAS No 80–05–7) [Electronic resource]. — Mode of access: <https://echa.europa.eu/documents/10162/2e8ac666-fae6-2e54-f0eb-ef4a5da819ed>. — Date of access: 10.09.21.
7. Determination of the toxicity of chemical products (chemicals and their mixtures) with repeated and chronic intragastric intake: instructions for use No 046–1215. — Minsk, 2016 (in Russian).
8. ГОСТ 33044–2014. Принципы надлежащей лабораторной практики. — М.: Стандартинформ, 2019.

e-mail для переписки: vasmm11@gmail.com

Поступила 12.11.2021

УДК 615.9+612.821.6+612.017.1+[616.348–008.87–078:519.24]

Орленкович Л. Н.

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОИНСЕКТИЦИДА ЭНТОМОФТОРИНА НА ОРГАНИЗМ КРЫС В ХРОНИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ДИНАМИКЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕХ СИСТЕМ

ООО «Медицина труда» кафедры медицины труда и здоровья окружающей среды
Рижского университета Страдыня, г. Рига, Латвия

Аннотация. При хроническом ингаляционном поступлении биоинсектицида энтомофторина изучена динамика взаимосвязей между показателями иммунной системы, микробиоты кишечника, поведенческими и вегетативными реакциями крыс, установившая тесное взаимодействие между системами. Анализ динамики взаимосвязей между показателями трех систем выявил особенности развития адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций экспериментальных животных по мере увеличения уровней и сроков воздействия препарата. В результате токсической нагрузки на организм изменилась структура взаимосвязей между изученными системами.

Ключевые слова: биоинсектицид энтомофторин, ингаляционное воздействие, белые беспородные крысы, показатели иммунной системы, микрофлоры кишечника, поведенческих и вегетативных реакций крыс, динамика межсистемных корреляций.

Введение. Загрязнение окружающей среды из-за интенсивного использования химических пестицидов для защиты сельскохозяйственных культур от насекомых-вредителей и, как негативное последствие, снижение уровня здоровья населения требуют разработки и внедрения эффективных

биоинсектицидов. Применение этих препаратов, сохраняя высокие урожаи сельскохозяйственной продукции, улучшило неблагоприятную экологическую ситуацию, обусловив значительный интерес к их разработке и использованию. Однако производство и применение биоинсектицидов требуют детального анализа их воздействия на теплокровный организм в условиях эксперимента с целью разработки гигиенических регламентов.

Анализ динамики межсистемных корреляций специфических и интегральных показателей в хроническом эксперименте дает возможность более корректной оценки состояния организма с выявлением механизмов защиты гомеостаза от воздействия антигенов микробного происхождения. Оценка механизма действия биоинсектицидов в хроническом опыте на разных уровнях воздействия на отдельные системы и гомеостаз организма в целом необходима для установления адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций регуляторных систем вне антигенной нагрузки и при воздействии биопрепарата.

Цель работы — выявление особенностей дозо-время-зависимого влияния биоинсектицида энтомофторина на иммунную систему, микробиоту кишечника, поведенческие и вегетативные реакции крыс в тесте «открытое поле» путем исследования динамики корреляций между показателями данных систем при хроническом ингаляционном воздействии биопрепарата.

Материалы и методы. Объектом исследования явился биоинсектицид энтомофторин, созданный на основе гриба *Entomophthora thaxteriana*. Титр препарата — $2,5 \times 10^7$ – 5×10^7 микробных тел в грамме. В экспериментах при повторном четырехмесячном ингаляционном поступлении биопрепарата на уровне недействующей, пороговой, действующей концентраций использовались белые беспородные крысы-самцы массой 180–220 г, содержащиеся в стандартных условиях вивария на стандартном пищевом рационе. Статистическая группа состояла из 16 особей. Исследования выполнены согласно методическим рекомендациям [1] с соблюдением принципов биоэтики Европейской конвенции по защите позвоночных животных (Страсбург, 1986). Перед началом эксперимента методом «открытое поле» [2] исключили из контрольных и подопытных групп животных с пассивным типом поведения. Изучение поведенческих и вегетативных реакций проводилось в течение 10 минут с соблюдением правила поочередного тестирования крыс из контрольной и экспериментальной групп. В микробиоте кишечника определяли количество анаэробов, аэробов, бифидобактерий, лактобацилл, бактериоидов, *E. coli*, стафилококков, протеев, грибов рода *Candida* [3]. Для оценки состояния иммунной системы использовали реакцию ауторозеткообразования (далее — ауто-РОК) на тимоцитах, спленоцитах и лимфоцитах крови; определяли фагоцитарную реакцию нейтрофилов крови; в сыворотке крови выявляли титр антител, активность комплемента, содержание лизоцима, α_1 -, α_2 -глобулинов (белков острой фазы или провоспаления), γ -глобулина [4]. Регистрацию показателей проводили через 1, 2, 3, 4 месяца опыта. Парные корреляции между показателями устанавливали, используя пакет прикладных программ Statistica 10. Исходя из количества животных в группе выявляли сильные ($0,7 \leq R \leq 1,0$) и средние ($0,497 \leq R \leq 0,699$) парные корреляции ($P < 0,05$), оценивая их достоверность с помощью χ^2 -теста (Pearson Correlation, SPSS for Windows 16).

Результаты и их обсуждение. Анализ динамики парных корреляций показателей трех систем показал, что они функционируют в тесном взаимодействии между собой.

Не установлено наличие взаимосвязей трех систем у интактных крыс в первый месяц исследования (таблица 1).

Через два месяца эксперимента выявлены прямые корреляции: лактобацилл с ауто-РОК в тимусе (далее — АРТ), Vc_3 -лимфоцитами селезенки (далее — Vc_3 -лимфоциты) и количеством эпизодов неподвижности (далее — КЭН); аэробов с ауто-РОК в селезенке (далее — АРС) и КЭН; лактобацилл и анаэробов с содержанием лизоцима в сыворотке крови (далее — СЛСК) и КЭН; анаэробов с γ -глобулином и КЭН, а также разнонаправленные корреляции анаэробов с α_2 -глобулином, КЭН (таблица 1). Обратные корреляции установлены у протеев с α_1 -глобулином и вертикальной двигательной активностью (далее — ВДА). Это свидетельствует о нарастании возбуждения в центральной нервной системе (далее — ЦНС), вызванного страхом незнакомой обстановки, которое сопровождалось однонаправленными сдвигами в Т-, В-системах иммунитета, неспецифических гуморальных факторах защиты организма и микробиоте кишечника, а также нарастанием белков провоспаления и снижением защитных форм протеев. Через три месяца опыта выявлены прямые взаимосвязи защитной анаэробной микрофлоры (бифидобактерий, лактобацилл, анаэробов) с АРТ и КЭН; бифидобактерий с АРС и КЭН; анаэробов, лактобацилл, *E. coli* с Vc_3 -лимфоцитами и КЭН; лактобацилл с СЛСК и КЭН, а также разнонаправленные корреляции анаэробов, *E. coli* с активностью комплемента в сыворотке крови (далее — АК), α_2 -глобулином и КЭН. Полученные изменения указывают на однонаправленные сдвиги в Т- и В-системах иммунитета, неспецифических гуморальных факторах за-

Новые корреляции показателей		Сроки воздействия (в месяцах)							
		1		2		3		4	
ВДА	<i>E. coli</i>	ТА	-0,58	0,63					
ВДА	<i>E. coli</i>	АРТ	-0,58	0,51					
ВДА	стафилококки	АРТ	0,53	-0,69					
ЭР	аэробы	ТА	0,55	0,7					
ЭР	аэробы	ТА	0,55	0,7					
КЭН	аэробы	ТА	-0,69	0,7					
ВДА	<i>E. coli</i>	лиз.			-0,54	0,58			
ЭР	бифидобактерии	ТА					-0,54	0,68	
ЭР	бифидобактерии	лиз.							-0,54
ЭР	бифидобактерии	α_2 -глобулин							-0,52
Грумминг	стафилококки	α_2 -глобулин							0,53
КЭН	стафилококки	α_2 -глобулин							0,57

Примечания:

- 1) О.П. — показатели поведенческих и вегетативных реакций крыс в тесте «открытое поле»;
- 2) микрофлора — показатели микрофлоры кишечника;
- 3) имм. — показатели иммунной системы;
- 4) О — М — парные корреляции показателей поведенческих и вегетативных реакций крыс в тесте «открытое поле» и микрофлоры кишечника;
- 5) М — И — парные корреляции показателей микрофлоры кишечника и иммунной системы;
- 6) КЭН — количество эпизодов неподвижности;
- 7) ГДА — горизонтальная двигательная активность;
- 8) ВДА — вертикальная двигательная активность;
- 9) ЭР — эмоциональная реактивность;
- 10) АРТ — ауто-РОК в тимусе;
- 11) АРС — ауто-РОК в селезенке;
- 12) В_{с3} — В_{с3}-лимфоциты селезенки;
- 13) ТА — титр антител;
- 14) АК — активность комплемента;
- 15) лиз. — содержание лизоцима в сыворотке крови;
- 16) сильные ($0,7 \leq R \leq 1,0$) и средние ($0,497 \leq R \leq 0,699$) парные корреляции, $P < 0,05$;
- 17) «-» — исчезновение парных корреляций.

щиты организма и аутофлоре кишечника, а также на активацию механизмов алергизации по комплементзависимому типу с проявлением процессов воспаления в организме в ответ на возбуждение в ЦНС. В конце опыта выявлены прямые взаимосвязи анаэробов, бифидобактерий с АРТ и их обратные корреляции с КЭН; прямые взаимосвязи бифидобактерий, лактобацилл с APC, Vc_3 -лимфоцитами и их обратные связи с КЭН; прямые взаимосвязи бактериоидов с Vc_3 -лимфоцитами, АРТ и горизонтальной двигательной активностью (далее — ГДА). В этот же срок исследования выявлены разнонаправленные корреляции лактобацилл с АК и КЭН, а также обратные корреляции анаэробов, лактобацилл с АК и α_1 -, α_2 -глобулинами и КЭН, что свидетельствует о торможении в ЦНС, связанном с адаптационной перестройкой организма по мере его старения [5, 6], сопровождавшемся однонаправленными сдвигами в иммунной системе и микробиоте кишечника, появлением алергизации и воспаления в организме в отсутствие экзогенной антигенной нагрузки.

Таким образом, у интактных крыс нарастание возбуждения в ЦНС сопровождалось однонаправленными сдвигами в Т- и В-системах иммунитета, неспецифических гуморальных факторах защиты организма и защитной микрофлоры кишечника, а также нарастанием процессов воспаления и алергизации организма. Это свидетельствует о тесном взаимодействии трех систем с активацией защитных реакций в организме вне экзогенной антигенной нагрузки с преобладанием внутрисистемных адаптационных реакций над системными [5, 6].

Недействующая концентрация энтомофторина вызывала исчезновение более половины корреляций трех систем в разные сроки эксперимента по сравнению с группой параллельного контроля (таблица 1). У интактных животных через месяц опыта не наблюдалось взаимосвязей трех систем. При поступлении биопрепарата установлены новые прямые корреляции аэробов с ТА и эмоциональной реактивностью (далее — ЭР), *E. coli* с АРТ, ТА и их же обратные связи с ВДА и КЭН; разнонаправленные корреляции аэробов с ТА и КЭН. Это указывает на нарастание возбуждения в ЦНС, негативной эмоциональности под воздействием препарата и из-за страха незнакомой обстановки, сопровождавшееся активацией Т-системы иммунитета, антителогенеза и нарастанием защитной аэробной микробиоты. Через два месяца исследования выявлено сохранение прямой взаимосвязи аэробов с APC и КЭН; появление новой разнонаправленной корреляции *E. coli* с СЛСК и ВДА. Это свидетельствует о возникновении реакций защитного торможения в ЦНС с активацией В-системы иммунитета, неспецифических факторов гуморальной защиты организма и нарастанием защитной микрофлоры кишечника. Через три месяца воздействия препарата отмечено сохранение прямых взаимосвязей лактобацилл, бифидобактерий с АРТ, APC, Vc_3 -лимфоцитами и КЭН; лактобацилл с СЛСК и КЭН; выявлены разнонаправленные новые корреляции бифидобактерий с ТА, СЛСК и ЭР, что указывает на нарастание процессов торможения в ЦНС и вегетативной нервной системе, сопровождавшееся активацией Т-, В-систем иммунитета, гуморального иммунитета, неспецифических гуморальных факторов защиты организма и нарастанием защитной микробиоты кишечника. В конце исследования сохранение разнонаправленных взаимосвязей лактобацилл с Vc_3 -лимфоцитами, α_1 -глобулином и КЭН, возникновение прямых корреляций стафилококков и α_2 -глобулина с грумингом и КЭН указывает на торможение в ЦНС, увеличение состояния тревожности, сопровождавшееся снижением активности В-системы иммунитета, проявлением воспаления в организме, снижением защитной и нарастанием условно-патогенной микрофлоры кишечника.

Таким образом, воздействие препарата в минимальной концентрации вызывало активацию Т-, В-систем иммунитета, антителогенеза, факторов гуморальной неспецифической защиты организма, сопровождавшихся возбуждением и торможением в ЦНС, торможением в вегетативной нервной системе и нарастанием защитной аутофлоры кишечника. В конце опыта снижение активности антиоксидантного иммунитета, появление воспаления в организме сопровождались защитным торможением в ЦНС, состоянием тревожности, снижением защитной и нарастанием условно-патогенной микробиоты. Отмеченные изменения указывают на формирование адаптационных перестроек в организме крыс в ответ на воздействие минимальной дозы антигена.

Воздействие пороговой концентрации препарата через месяц вызывало появление разнонаправленных корреляций анаэробов с γ -глобулином и ЭР; прямых взаимосвязей аэробов с Vc_3 -лимфоцитами и грумингом (таблица 2).

Это свидетельствует об активации В-системы иммунитета, снижении гуморальных факторов неспецифической защиты организма, сопровождавшихся возбуждением в вегетативной нервной системе, нарастанием состояния тревожности, снижением анаэробной и нарастанием аэробной микрофлоры. Через два месяца исследования появление разнонаправленных корреляций бифидобактерий и *E. coli* с Vc_3 -лимфоцитами, α_1 -глобулином, ТА и грумингом указывает на снижение активности В-системы иммунитета, антителогенеза, на нарастание воспаления, сопровождавшиеся со-

Таблица 2. — Взаимосвязи показателей иммунной системы, микрофлоры кишечника, поведенческих и вегетативных реакций крыс при воздействии пороговой концентрации ($3,0 \pm 0,25 \text{ мг/м}^3$) энтомофторина

Парные корреляции показателей		Сроки воздействия (в месяцах)																						
		2				3				4														
		Контроль		М – И		О – М		М – И		О – М		М – И		О – М		М – И								
О.П.	микрофлора	имм.																						
КЭН	бифидобактерии	АРТ	0,7				0,73					0,77					0,55						0,7	
КЭН	бифидобактерии	АРС															0,66						-0,53	
КЭН	лактобациллы	АРТ	0,54	0,62																			-0,53	
КЭН	лактобациллы	Вс ₃	0,54	0,63				0,84									0,51						-0,5	
КЭН	лактобациллы	АК	0,54																				-0,5	
КЭН	лактобациллы	α_1 -глобулин	0,54																				-0,5	
КЭН	лактобациллы	α_2 -глобулин	0,54																				-0,52	
КЭН	лактобациллы	лиз.	0,54	0,54				0,53									0,52						-0,5	
КЭН	анаэробы	АРТ	0,59														0,7						0,67	
КЭН	анаэробы	Вс ₃															0,7						-	
КЭН	анаэробы	АК																					-0,53	
КЭН	анаэробы	лиз.	0,59	0,52				0,62															-	
КЭН	анаэробы	γ -глобулин	0,59	0,53																			-	
КЭН	анаэробы	α_1 -глобулин	0,59	-0,53				-0,58															-	
КЭН	<i>E. coli</i>	Вс ₃		0,58				0,67									0,59						0,53	
КЭН	<i>E. coli</i>	α_2 -глобулин															-0,52						-	
КЭН	аэробы	АРС	0,62	0,59				0,74															0,77	
Новые корреляции показателей		Сроки воздействия (в месяцах)																						
		1				2				3				4										
О.П.	микрофлора	имм.																						
ГДА	бактероиды	АРТ																						
ГДА	бактероиды	Вс ₃																						
ВДА	протеи	α_1 -глобулин	-0,52	-0,53																				
Грум.	аэробы	Вс ₃	0,5	0,63																				
ЭР	анаэробы	γ -глобулин	-0,5	0,54																				
Грумминг	бифидобактерии	Вс ₃																						
Грумминг	<i>E. coli</i>	ТА																						
Грумминг	<i>E. coli</i>	α_1 -глобулин																						
КЭН	стафилококки	АК																						
КЭН	стафилококки	α_1 -глобулин																						
КЭН	стафилококки	γ -глобулин																						
Грум.	протеи	АРТ																						
Примечания см. таблицу 1.																								

стоянием тревожности и снижением защитной аутофлоры. Через три месяца эксперимента сохранение прямой корреляции бифидобактерий с АРТ и КЭН, возникновение разнонаправленных взаимосвязей стафилококков с АК, α_2 - и γ -глобулином указывают на снижение активности Т-системы иммунитета, антителиогенеза, свидетельствуют о появлении алергизации и воспаления в организме, сопровождавшихся возбуждением в ЦНС, снижением защитной и нарастанием условно-патогенной микрофлоры. В конце опыта сохранение обратной взаимосвязи лактобацилл с α_2 -глобулином и КЭН, а также новая разнонаправленная корреляция протеев с АРТ и грумингом указывают на снижение активности Т-системы иммунитета, наличие воспаления в организме, сопровождавшихся торможением в ЦНС, состоянием конфликта и снижением защитной микробиоты.

Таким образом, воздействие биопрепарата в пороговой концентрации в начале эксперимента вызывало активацию антитоксического иммунитета, снижение гуморальных факторов неспецифической защиты организма, состояние тревожности, возбуждение в вегетативной нервной системе, снижение анаэробной и нарастание аэробной аутофлоры. В оставшиеся сроки опыта иммуномодулирующее действие препарата на Т- и В-системы иммунитета сопровождалось снижением антителиогенеза, алергизацией организма, нарастанием белков острой фазы, а также возбуждением и торможением в ЦНС, состоянием конфликта, снижением защитной и нарастанием условно-патогенной аутофлоры. Полученные изменения указывают на напряжение регуляторных механизмов специфической и неспецифической защиты организма, не выходящих за пределы его компенсаторных возможностей.

Действующая концентрация препарата вызывала исчезновение взаимосвязей трех систем по сравнению с группой параллельного контроля с заменой их новыми корреляциями (таблица 3).

Иммунотоксическое действие биопрепарата на Т- и В-системы иммунитета, гуморальный иммунитет, неспецифические гуморальные факторы защиты организма, выявленное в начале опыта, сопровождалось существенным возбуждением в ЦНС, на которое аутофлора кишечника отреагировала значительным снижением защитной и нарастанием условно-патогенной микробиоты. Иммунотоксическое действие препарата на В-систему иммунитета, гуморальный иммунитет, клеточные факторы неспецифической защиты организма, выявленное через два месяца воздействия, сопровождалось нарастанием белков провоспаления, защитным торможением в ЦНС, состоянием тревожности, снижением ориентировочно-исследовательской активности, а также значительным снижением защитной и нарастанием условно-патогенной микробиоты. Через три месяца опыта иммунотоксическое действие препарата на Т- и В-системы иммунитета, гуморальный иммунитет сопровождалось нарастанием белков острой фазы, выраженным состоянием конфликта с поведением смещенной активности, а также существенным снижением защитной микрофлоры, увеличением условно-патогенных стафилококков и грибов рода *Candida*. В конце опыта отмечено появление только одной взаимосвязи, указывающей на снижение антитоксического иммунитета, защитных форм протеев и нарастание торможения в ЦНС. Минимальное количество межсистемных интеграций в конце исследования свидетельствует о преобладании внутрисистемных реакций над системными, что подтвердилось появлением большого числа сильных внутрисистемных взаимосвязей в микробиоте кишечника [6], указывающих на тотальную мобилизацию защитных сил организма в ответ на воздействие токсической дозы препарата.

Таким образом, действующая концентрация энтомофторина выявила его иммунотоксическое действие на Т- и В-системы иммунитета, гуморальный иммунитет, клеточные и гуморальные факторы неспецифической защиты организма, что сопровождалось существенным возбуждением в ЦНС в начале эксперимента, значительным торможением в ЦНС через два месяца исследования, выраженным состоянием конфликта с поведением смещенной активности через три месяца опыта, а также значительным снижением защитной и нарастанием условно-патогенной аутофлоры кишечника в вышеуказанные сроки исследования. Данные изменения свидетельствуют о напряжении регуляторных механизмов специфической и неспецифической защиты организма, выходящих за пределы его компенсаторных возможностей.

Заключение. Анализ динамики межсистемных корреляций между показателями иммунной системы, аутофлорой кишечника, поведенческими и вегетативными реакциями крыс при хроническом ингаляционном воздействии энтомофторина позволил выявить особенности его дозо-время-зависимого влияния на организм подопытных животных. Установлено тесное взаимодействие трех систем с выявлением особенностей развития адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций животных по мере увеличения уровней и сроков воздействия препарата.

С увеличением токсической нагрузки выявлены изменения во взаимосвязях систем, скоординированное взаимодействие которых направлено на элиминацию токсического воздействия био-

Таблица 3. — Взаимосвязи показателей иммунной системы, микрофлоры кишечника, поведенческих и вегетативных реакций крыс при воздействии действующей концентрации (20,0 ± 1,4 мг/м³) энтомофторина

Новые парные корреляции показателей		Сроки воздействия (в месяцах)											
		1			2			3			4		
О.П.	имм.	О — М	М — И	О — М	М — И	О — М	М — И	О — М	М — И	О — М	М — И	О — М	М — И
КЭН	микрофлора												
КЭН	бифидобактерии	0,65	0,68										
КЭН	бифидобактерии	0,65	0,74	-0,79	0,57								
КЭН	анаэробы	0,56	0,54										
КЭН	аэробы	0,61	0,52										
КЭН	аэробы	0,61	0,75										
КЭН	<i>E. coli</i>	0,56	0,55										
КЭН	стафилококки	-0,7	-0,55										
КЭН	стафилококки	-0,7	-0,63	0,6	-0,59								
КЭН	стафилококки	-0,7	0,76										
ВДА	протеи			0,53	0,74								
Грумминг	протеи			-0,6	0,74								
ЭР	протеи			-0,6	0,74								
КЭН	бифидобактерии			-0,79	-0,62								
КЭН	лактобациллы			-0,68	0,64								
КЭН	<i>E. coli</i>			-0,67	0,51								
КЭН	<i>E. coli</i>			-0,67	-0,51								
КЭН	бифидобактерии			-0,79	0,55								
КЭН	протеи			-0,79	0,74					-0,58			0,72
Грумминг	<i>E. coli</i>					-0,5	0,54						
Грумминг	стафилококки					0,54	-0,52						
Грумминг	грибы рода <i>Candida</i>					0,6	-0,56						
Грумминг	<i>E. coli</i>					-0,5	0,55						
Грумминг	бифидобактерии					-0,65	0,66						
Грумминг	протеи					-0,5	0,76						
Грумминг	стафилококки					0,54	-0,75						
Грумминг	грибы рода <i>Candida</i>					0,6	-0,55						
Грумминг	протеи					-0,5	-0,64						
Грумминг	грибы рода <i>Candida</i>					0,6	0,58						

Примечания см. таблицу 1.

препарата для сохранения гомеостаза организма. Данные нашего эксперимента подтверждаются выводами исследователей, показавших, что «увеличение числа межсистемных связей и смена их направленности связаны с адаптационной стратегией организма, направленной на сохранение структурной целостности организма как функциональной системы» [5].

На основании результатов исследований можно сделать следующие выводы.

1. Анализ динамики межсистемных корреляций показателей иммунной системы, микробиоты кишечника, поведенческих и вегетативных реакций крыс показал, что три системы функционируют в тесном взаимодействии друг с другом.

2. Установлены особенности развития адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций подопытных животных по мере увеличения уровней и сроков воздействия препарата.

Дальнейшее проведение анализа внутрисистемных и межсистемных корреляций интегральных и специфических показателей, полученных в хроническом эксперименте, является целесообразным для выявления механизма действия биоинсектицидов на организм интактных и подопытных животных.

Литература

1. Методические рекомендации по токсикометрии / под ред. И. В. Саноцкого. — М.: Секретариат СЭВ, 1987. — 162 с.

2. Маркель, А. Л. Метод комплексной регистрации поведенческих и вегетативных реакций у крыс при проведении теста «открытого поля» / А. Л. Маркель, Р. А. Хусаинов // Журн. высш. нервной деятельности. — 1976. — Т. 26, № 6. — С. 1314–1318.

3. Микельсаар, М. Э. Методика определения количественного состава микрофлоры кала / М. Э. Микельсаар, А. А. Ленцнер, Л. А. Гольянова // Лабораторное дело. — 1972. — № 1. — С. 41–45.

4. Кишкун, А. А. Руководство по лабораторным методам диагностики / А. А. Кишкун. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. — 800 с.

5. Виткина, Т. И. Роль межсистемных интеграций в формировании адаптационных перестроек организма при физиологическом старении / Т. И. Виткина, О. Ю. Кытикова, Т. А. Гвозденко // Системный анализ в медицине (САМ 2013): сб. материалов VII междунар. конф., 24–25 сент. 2013 г. / под общ. ред. В. П. Колосова. — Благовещенск, 2013. — С. 22–25.

6. Орленкович, Л. Н. Анализ взаимосвязей показателей иммунной системы и микрофлоры кишечника крыс при хроническом ингаляционном воздействии биоинсектицида энтомофторина / Л. Н. Орленкович // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.), Г. Е. Косяченко (зам. гл. ред.) [и др.]. — Минск: Изд. центр БГУ, 2020. — Вып. 30. — С. 203–211.

Orlenkovich L. N.

BIOINSECTICIDE ENTOMOPHTHORIN ACTION ANALYSIS AT THE RATS ORGANISM IN THE CHRONIC EXPERIMENT BY INTERSYSTEM CORRELATIONS DYNAMICS OF THREE SYSTEMS INDICES

*LLC «Occupational Medicine», Department of Occupational and Environmental Medicine,
Riga Stradins University, Riga, Latvia*

The bioinsecticide entomophthorin influence on rats' immune system, bowels microbiota, behavioral and autonomic reactions has been studied in chronic inhalation exposure conditions, which revealed a close interaction between systems. Analysis of three systems indices correlations dynamics revealed the features of experimental animals adaptive and compensated reactions developing at the increasing of levels and terms of preparation exposure. The interaction of the systems in connection with the toxic load on the organism has changed the structure of the correlations.

Keywords: bioinsecticide entomophthorin, inhalation exposure, white not purebred rats, indices of rats' immune system, bowels microbiota, behavioral and autonomic reactions of rats, intersystem correlations dynamics.

References

1. Sanotskiy I.V., ed. Methodical recommendations in toxicometry. Moscow: Sekretariat SEV, 1987. (in Russian)
2. Markel A.L., Khusainov R. A. Method of complex recording of rats behavioral and autonomic reactions in the «open field» test. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti [I. P. Pavlov Journal of higher nervous activity]*. 1976; 26(6): 1314–1318. (in Russian)
3. Mikel'saar M. E., Lentsner A. A., Gol'yanova L. A. Method of fecal microbiota quantitative composition definition // *Laboratornoye delo*. 1972; 1: 41–45. (in Russian)
4. Kischkun A. A. Guidelines for laboratorial methods of diagnostics. Moscow: GEOTAR-Media, 2007. (in Russian)
5. Vitkina T.I., Kytikova O. Yu., Gvozdenko T. A. The role of inter-system integration in the formation of adaptive rebuilding of an organism at the physiological aging. In: Kolosov V. P., ed. Systems analysis in medicine (SAM 2013): Proceedings of the VII international conference. Blagoveshchensk; 2013: 22–25. (in Russian)
6. Orlenkovich L. N. Analysis of correlations indices of the immune system and intestinal microbiota in the chronic exposition to bioinsecticide entomophthorin. In: Sychik S. I., chief ed., *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Health and environment]*: Collection of scientific papers of the Scientific Practical Centre of Hygiene. Iss. 30. Minsk; 2020: 203–211. (in Russian)
e-mail для переписки: lilyorlenkovich@mail.ru

Поступила 11.11.2021

Раздел VII

САНИТАРНАЯ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 613.2+621.798.08+620.1+543.423.1

Кузовкова А. А., Велентей Ю. Н., Плешкова А. А., Добыши В. А.¹, Коктыш Н. В.¹

УРОВНИ МИГРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИЛАКТИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ ДОБАВОК И С ЛИГНИНОМ В МОДЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ, ИМИТИРУЮЩИЕ ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь,*

*¹Государственное научное учреждение «Институт химии новых материалов
Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследована миграция токсичных элементов (свинца, мышьяка, кадмия, хрома, бария, селена, цинка, олова, меди, никеля, титана, алюминия, железа, марганца, молибдена) из белорусских пленочных полилактидных материалов (далее — ПЛ-материалы) толщиной 90 мкм без добавок и композиционного с 1 % лигнина в модельные среды, имитирующие пищевые продукты (дистиллированная вода; 0,3%-ный раствор молочной кислоты; 3%-ный раствор молочной кислоты; 2%-ный раствор уксусной кислоты с 2 % поваренной соли; 2%-ный раствор лимонной кислоты) при продолжительности контакта трое суток и комнатной температуре. Показано отсутствие значимой миграции всех исследуемых элементов из ПЛ-материала без добавок в представленные модельные среды. Из композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина установлена миграция в 2%-ный раствор лимонной кислоты свинца и цинка, в 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащий 2 % поваренной соли, — свинца и алюминия. Предполагается, что контаминация свинцом, цинком и алюминием композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина произошла за счет используемой добавки растительного происхождения — лигнина.

Ключевые слова: пленочный полилактидный материал, лигнин, токсичные элементы, уровни миграции, модельные среды.

Введение. В настоящее время одним из наиболее перспективных полимеров, предлагаемых для производства биоразлагаемой упаковки, является полилактид (далее — ПЛ), получаемый из стереоизомеров молочной кислоты.

Современные технологии производства ПЛ опираются на химический синтез. ПЛ получают путем прямой полимеризации (поликонденсации) молочной кислоты в растворе и расплаве и путем полимеризации с раскрытием кольца, причем последний способ является предпочтительным. При таком методе ПЛ получают в вакууме или в инертной атмосфере с использованием катализатора. В частности, применяют катализаторы на основе органических солей меди и октоата олова. Катализаторы на основе тяжелых металлов могут привести к загрязнению продукта, что усложняет очистку полученного ПЛ, а также ограничивает применение ПЛ в области упаковки пищевых продуктов и биомедицины [1]. Чтобы решить потенциальные проблемы загрязнения ПЛ, вызванные катализаторами на основе солей меди и олова, был разработан ряд менее токсичных катализаторов на основе магния, цинка [2], кальция [3], лития [4] и алюминия [4, 5]. Различные производные редкоземельных элементов обладают высокой реактивностью, что дает им право быть очень многообещающими инициаторами полимеризации путем раскрытия кольца лактида [6].

Основными недостатками ПЛ, ограничивающими его применение, являются его слабая химическая модифицируемость, плохая механическая пластичность, медленный профиль разложения и высокая гидрофильность. Существуют химические и физические способы модификации ПЛ. К физической модификации относятся смешивание, пластификация и вариации состава [1].

Вариация состава ПЛ достигается путем введения в них различных волокон. Волокна служат наполнителями при формировании композитных ПЛ-материалов, обрабатываемых сжатием или

литьем под давлением, чтобы повысить термическую стабильность, сопротивление гидролизу или механические свойства ПЛ. Исследования композитных ПЛ-материалов, приготовленных из натуральных и модифицированных целлюлозных волокон, показали, что их механические свойства зависят от массовой доли добавленных волокон [7]. Оптимизация композитных ПЛ-материалов, армированных натуральными волокнами, с точки зрения механических и других свойств является критически важной для минимизации их стоимости, повышения их биоразлагаемости и расширения области применения. Graupner et al. [8] методом компрессионного формования создали композитные ПЛ-материалы из разных видов природных волокон (хлопка, конопли, кенафа) и модифицированных целлюлозных волокон (лиоцелл) с массой волокнистой фракции 40 %.

Пилотные композиционные пленки на основе экструзии ПЛ (продавливания под давлением однородного расплава через щель формовочной головки экструдера), содержащие органический наполнитель лигнин фракционного состава ≤ 10 мкм, получены в Государственном научном учреждении «Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси» [9]. Лигнин — сложный природный трехмерный полимер, содержащийся в клеточных стенках и межклеточном пространстве сосудистых растений и некоторых водорослей. Это сетчатый сополимер, получающийся в результате поликонденсации монолигнолов — коричных спиртов (паракумарового, конеферилового, синапового). В растениях лигнин находится в виде комплексов с целлюлозой и определяет механическую прочность стволов и стеблей [10].

Очевидно, что ПЛ-материалы, предполагаемые к использованию в виде упаковки для пищевых продуктов, требуют обязательного санитарно-гигиенического контроля вследствие возможной миграции из них токсичных элементов в пищевые продукты.

Цель работы — установить уровни миграции токсичных элементов (свинца, мышьяка, кадмия, хрома, бария, селена, цинка, олова, меди, никеля, титана, алюминия, железа, марганца, молибдена) из отечественных пленочных ПЛ-материалов толщиной 90 мкм без добавок и композиционного с 1 % лигнина в модельные среды, имитирующие пищевые продукты.

Исследования выполнены в рамках НИР «Изучить санитарно-химические показатели гигиенической безопасности образцов отечественных биоразлагаемых материалов на основе полилактидов на этапе разработки технологий их производства», ГПНИ 2 «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия».

Пилотные образцы — однокомпонентный и композиционный (с содержанием 1 % лигнина) пленочный полилактидный материал — были любезно предоставлены Государственным научным учреждением «Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси» для проведения санитарно-химических исследований.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись пленочные полилактидные материалы толщиной 90 мкм: 1) без добавок и 2) композиционный с 1 % лигнина.

В качестве модельных сред, имитирующих пищевые продукты, использовали дистиллированную воду, 0,3%-ный раствор молочной кислоты; 3%-ный раствор молочной кислоты; 2%-ный раствор уксусной кислоты с добавлением 2% поваренной соли; 2%-ный раствор лимонной кислоты.

Моделирование контакта фрагментов ПЛ-материала с модельной средой осуществляли, как описано в Инструкции 2.3.3.10–15–64–2005 «Санитарно-химические исследования изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, контактирующих с пищевыми продуктами» [11]. Фрагменты ПЛ-материала размером 5×10 см помещали в плотно закрывающийся стеклянный сосуд (бюкс) и заливали модельной средой из расчета на 2 см^2 поверхности 1 см^3 модельного раствора комнатной температуры (с учетом площади обеих поверхностей). Продолжительность контакта ПЛ-материала с модельной средой при комнатной температуре составляла трое суток.

Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в модельные среды устанавливали с помощью оптической атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой по ГОСТ 31870–2012, п. 5 [12].

Результаты и их обсуждение. В Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» [13] (далее — ТР ТС 005/2011) не прописаны требования к миграции токсичных элементов в модельные среды из упаковки, изготовленной из ПЛ-материалов. Нами в санитарно-химических исследованиях миграции токсичных элементов из ПЛ-материала в модельные среды в качестве оценочных параметров были использованы предельно допустимые концентрации (далее — ПДК) или допустимые количества миграции (далее — ДКМ) элементов (свинец, кадмий, мышьяк, хром, барий, цинк, титан, алюминий), выделяющихся из биоразлагаемой упаковки (бумага, бумага парафинированная, картон, картон мелованный, картон макулатурный,

пергамент растительный, подпергамент (бумага с добавками, имитирующими свойства пергамента растительного), контактирующей с пищевыми продуктами, указанные в приложении 1 к ТР ТС 005/2011 [13]. Дополнительно в качестве оценочных параметров использовали ДКМ элементов (олово, медь, никель, железо, марганец, молибден), выделяющихся из небiorазлагаемой упаковки (поливинилхлоридные пластики, стекло, фаянс, фарфор, металл), контактирующей с пищевыми продуктами (приложение 1 к ТР ТС 005/2011 [13]), а также уровни миграции селена, оцениваемого в биоразлагаемой упаковке согласно ГОСТ 34030.1–2016 [14] и ГОСТ EN 13432–2015 [15].

Полученные значения уровней миграции токсичных элементов из отечественных пленочных ПЛ-материалов толщиной 90 мкм без добавок и композиционного с 1 % лигнина в модельные среды, имитирующие пищевые продукты, при инкубации в течение трех суток при комнатной температуре представлены в таблицах 1–5.

Таблица 1. — Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в дистиллированную воду в течение трех суток контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами в течение 2–48 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
Дистиллированная вода / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01
	Мышьяк	менее 0,005	менее 0,005
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001
	Хром	менее 0,01	менее 0,01
	Барий	менее 0,05	менее 0,05
	Селен	менее 0,005	менее 0,005
	Цинк	менее 0,05	менее 0,05
	Олово	менее 0,5	менее 0,5
	Медь	менее 0,001	менее 0,001
	Никель	менее 0,01	менее 0,01
	Титан	менее 0,05	менее 0,05
	Алюминий	менее 0,05	менее 0,05
	Железо	менее 0,05	менее 0,05
	Марганец	менее 0,001	менее 0,001
Молибден	0,05 ± 0,01	менее 0,05	

Таблица 2. — Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 0,3%-ный раствор молочной кислоты в течение трех суток контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами в течение 2–48 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
0,3%-ный раствор молочной кислоты / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01
	Мышьяк	менее 0,005	менее 0,005
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001
	Хром	менее 0,01	менее 0,01
	Барий	менее 0,05	менее 0,05
	Селен	менее 0,005	менее 0,005
	Цинк	менее 0,05	менее 0,05
	Олово	менее 0,5	менее 0,5
	Медь	менее 0,004	менее 0,001
	Никель	менее 0,01	менее 0,01

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
0,3%-ный раствор молочной кислоты / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Титан	менее 0,05	менее 0,05
	Алюминий	менее 0,05	менее 0,05
	Железо	менее 0,05	менее 0,05
	Марганец	0,0020 ± 0,0006	менее 0,001
	Молибден	0,05 ± 0,01	менее 0,05

Таблица 3. — Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 3%-ный раствор молочной кислоты в течение трех суток контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами в течение 2–48 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
3%-ный раствор молочной кислоты / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	менее 0,01
	Мышьяк	менее 0,005	менее 0,005
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001
	Хром	менее 0,01	менее 0,01
	Барий	0,05 ± 0,01	менее 0,05
	Селен	менее 0,005	менее 0,005
	Цинк	0,059 ± 0,014	0,068 ± 0,016
	Олово	менее 0,5	менее 0,5
	Медь	менее 0,001	менее 0,001
	Никель	менее 0,01	менее 0,01
	Титан	менее 0,05	менее 0,05
	Алюминий	менее 0,05	0,068 ± 0,016
	Железо	менее 0,05	0,072 ± 0,011
	Марганец	0,0020 ± 0,0006	менее 0,001
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	

Таблица 4. — Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 2%-ный раствор лимонной кислоты в течение трех суток контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами в течение 2–48 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
2%-ный раствор лимонной кислоты / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Свинец	0,015 ± 0,004	0,393 ± 0,079
	Мышьяк	0,010 ± 0,004	менее 0,005
	Кадмий	менее 0,0001	0,00020 ± 0,00007
	Хром	менее 0,01	менее 0,01
	Барий	менее 0,05	менее 0,05
	Селен	менее 0,005	менее 0,005
	Цинк	менее 0,05	0,155 ± 0,037
	Олово	менее 0,5	менее 0,5
	Медь	0,0040 ± 0,0017	менее 0,001
	Никель	менее 0,01	менее 0,01

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
2%-ный раствор лимонной кислоты / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Титан	менее 0,05	менее 0,05
	Алюминий	менее 0,05	0,067 ± 0,016
	Железо	менее 0,05	0,103 ± 0,015
	Марганец	менее 0,001	0,0010 ± 0,0003
	Молибден	менее 0,05	менее 0,05

Таблица 5. — Уровни миграции токсичных элементов из ПЛ-материалов в 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащей 2% поваренной соли) в течение трех суток контакта (моделирование контакта пищевых продуктов с ПЛ-материалами в течение 2–48 ч)

Модельная среда / условия моделирования	Токсичный элемент	Уровни миграции (мг/дм ³) из	
		ПЛ-материала без добавок	ПЛ-материала с 1 % лигнина
2%-ный раствор уксусной кислоты + + 2 % поваренной соли / 2 см ² / 1 см ³ , 3 суток, комнатная температура	Свинец	менее 0,01	0,333 ± 0,067
	Мышьяк	менее 0,005	менее 0,005
	Кадмий	менее 0,0001	менее 0,0001
	Хром	менее 0,01	менее 0,01
	Барий	менее 0,05	менее 0,05
	Селен	менее 0,005	менее 0,005
	Цинк	менее 0,05	менее 0,05
	Олово	менее 0,5	менее 0,5
	Медь	0,0020 ± 0,0008	0,013 ± 0,005
	Никель	менее 0,01	менее 0,01
	Титан	менее 0,05	менее 0,05
	Алюминий	менее 0,05	0,453 ± 0,109
	Железо	менее 0,05	менее 0,05
	Марганец	0,004 ± 0,001	менее 0,001
Молибден	менее 0,05	менее 0,05	

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии значимой миграции токсичных элементов из исследуемого ПЛ-материала без добавок в представленные модельные среды.

В то же время наблюдалась миграция свинца из композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина в 2%-ный раствор лимонной кислоты и 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащий 2 % поваренной соли, при заданных условиях моделирования контакта на уровнях (соответственно 0,393 и 0,333 мг/дм³), превышающих более чем в 10 раз норматив 0,03 мг/дм³, установленный требованиями ТР ТС 005/2011 [13] для бумаги, картона, картона макулатурного, пергамента растительного, подпергамента (бумаги с добавками, имитирующими свойства пергамента растительного). Следует отметить, что из композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина в 2%-ный раствор лимонной кислоты при заданных условиях моделирования контакта на значимом уровне 0,155 мг/дм³ (но не превышающем установленный в ТР ТС 005/2011 [13] для биоразлагаемой упаковки норматив 1,0 мг/дм³) мигрировал цинк, а также в 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащий 2 % поваренной соли, мигрировал алюминий на уровне 0,453 мг/дм³, близком к нормативу в ТР ТС 005/2011 [13], установленному для картона мелованного 0,5 мг/дм³.

Поскольку миграция свинца, цинка и алюминия из ПЛ-материала без добавок в указанные модельные среды на таких уровнях не была обнаружена, можно предположить, что именно исполь-

зубаемая композиционная добавка растительного происхождения — лигнин — сильно загрязнена данными токсичными элементами.

Остальные токсичные элементы мигрировали из ПЛ-материала с 1 % лигнина в представленные модельные среды на уровнях или ниже пределов обнаружения, установленных для используемого метода и составляющих максимум 50 % от ПДК и ДКМ элементов, выделяющихся из упаковки, или на незначимых уровнях.

Заключение. Таким образом, исследована миграция токсичных элементов (свинца, мышьяка, кадмия, хрома, бария, селена, цинка, олова, меди, никеля, титана, алюминия, железа, марганца, молибдена) из отечественных пленочных ПЛ-материалов толщиной 90 мкм без добавок и композиционного с 1 % лигнина в модельные среды, имитирующие пищевые продукты (дистиллированную воду; 0,3%-ный раствор молочной кислоты; 3%-ный раствор молочной кислоты; 2%-ный раствор уксусной кислоты с 2 % поваренной соли; 2%-ный раствор лимонной кислоты) при продолжительности контакта трое суток и комнатной температуре. В данных условиях показано отсутствие значимой миграции всех исследуемых токсичных элементов из ПЛ-материала без добавок в представленные модельные среды. Установлена миграция свинца из композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина в 2%-ный раствор лимонной кислоты и 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащий 2 % поваренной соли, на уровнях (соответственно 0,393 и 0,333 мг/дм³), превышающих более чем в 10 раз норматив 0,03 мг/дм³, установленный требованиями ТР ТС 005/2011 [13] для бумаги, картона, картона макулатурного, пергамента растительного, подпергамента (бумаги с добавками, имитирующими свойства пергамента растительного). Также из композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина обнаружена миграция цинка в 2%-ный раствор лимонной кислоты на значимом уровне 0,155 мг/дм³ (но не превышающем установленный в ТР ТС 005/2011 [13] для биоразлагаемой упаковки норматив 1,0 мг/дм³) и миграция алюминия в 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащий 2 % поваренной соли, на уровне 0,453 мг/дм³, близком к нормативу в ТР ТС 005/2011 [13], установленному для картона мелованного 0,5 мг/дм³.

Предполагается, что контаминация свинцом, цинком и алюминием композиционного ПЛ-материала с 1 % лигнина произошла за счет используемой композиционной добавки растительного происхождения — лигнина.

Литература

1. Poly (Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications / L. Xiao [et al.] // Biomedical Science, Engineering and Technology / ed.: D. N. Ghista. — [S. L.], 2012. — Chapter 11. — P. 247–282.
2. Sarazin, Y. Novel zinc and magnesium alkyl and amido cations for ring-opening polymerization reactions / Y. Sarazin, M. Schormann, M. Bochmann // Organometallics. — 2004. — Vol. 23, № 13. — P. 3296–3302.
3. Single-site calcium initiators for the controlled ring-opening polymerization of lactides and lactones / Z. Zhong [et al.] // Polymer Bulletin. — 2003. — Vol. 51, № 3. — P. 175–182.
4. Binolate complexes of lithium, zinc, aluminium, and titanium; preparations, structures, and studies of lactide polymerization / M. H. Chisholm [et al.] // Dalton Transactions. — 2004. — № 3. — P. 406–412.
5. Stereoselective ring-opening polymerization of racemic lactide using aluminum-achiral ligand complexes: Exploration of a chain-end control mechanism / N. Nomura [et al.] // Journal of the American Chemical Society. — 2002. — Vol. 124, № 21. — P. 5938–5939.
6. Rare earth metal initiated ring-opening polymerization of lactones / S. K. Agrawal [et al.] // Macromolecular Rapid Communications. — 2000. — Vol. 21, № 5. — P. 195–212.
7. Mathew, A. P. Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC) / A. P. Mathew, K. Oksman, M. Sain // Journal of applied polymer science. — 2005. — Vol. 97, № 5. — P. 2014–2025.
8. Graupner, N. Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly (lactic acid) (PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas / N. Graupner, A. S. Herrmann, J. Müssig // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. — 2009. — Vol. 40, № 6–7. — P. 810–821.
9. Агабеков, В. Пластиковая экспансия / В. Агабеков, В. Тарасевич // Наука и инновации. — 2019. — № 11 (201). — С. 17–22.
10. Смирнова, А. И. Прикладная химия природных соединений: учеб. пособие / А. И. Смирнова, В. С. Антонова. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. — 94 с.

11. Санитарно-химические исследования изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, контактирующих с пищевыми продуктами: инструкция 2.3.3.10–15–64–2005: утв. постановлением Гл. гос. санитар. врача Респ. Беларусь 21 нояб. 2005 № 184. — Введ. 01.03.2006. — Минск, 2005. — 98 с.

12. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии: ГОСТ 31870–2012, п. 5. — Введ. РБ 01.01.2015. — Минск: Госстандарт, 2013. — 19 с.

13. О безопасности упаковки [Электронный ресурс]: ТР ТС 005/2011: принят 16.08.2011: вступ. в силу 01.07.2012 / Евраз. экон. комис. // КонсультантПлюс. Беларусь. — Минск, 2021.

14. Упаковка. Требования к определению и контролю содержания в материале упаковки тяжелых металлов и других опасных веществ и их выделения в окружающую среду. Часть 1. Требования к определению и контролю содержания в материале упаковки четырех тяжелых металлов: ГОСТ 34030.1–2016. — Введ. 01.11.2019. — Минск: Госстандарт, 2019. — 20 с.

15. Упаковка. Требования к использованию упаковки посредством компостирования и биологического разложения. Проверочная схема и критерии оценки для распределения упаковок по категориям: ГОСТ EN 13432–2015. — Введ. 01.04.2018. — Минск: Госстандарт, 2017. — 23 с.

Kuzovkova A. A., Velentey Yu. N., Pleshkova A. A., Dobysch V. A.¹, Koktysh N. V.¹

MIGRATION LEVELS OF TOXIC ELEMENTS FROM FILM POLYLACTIDE MATERIALS WITHOUT ADDITIVES AND WITH LIGNIN INTO MODEL MEDIA IMITATING FOOD PRODUCTS

*Republican Unitary Enterprise «Scientific Practical Centre of Hygiene», Minsk, Belarus,
¹State Scientific Institution «Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus*

The migration of toxic elements (lead, arsenic, cadmium, chromium, barium, selenium, zinc, tin, copper, nickel, titanium, aluminum, iron, manganese, molybdenum) from Belarusian film polylactide materials (PL-materials) 90 microns thick without additives and with 1 % lignin into model media imitating food products (distilled water; 0,3 % lactic acid solution; 3 % lactic acid solution; 2 % acetic acid solution with 2 % sodium chloride; 2 % citric acid solution) with a contact duration of 3 days at room temperature has been investigated. The absence of significant migration of all investigated elements from the PL-material without additives into the presented model media is shown. The migration of lead and zinc into a 2 % citric acid solution and the migration of lead and aluminum into a 2 % acetic acid solution containing 2 % sodium chloride from the composite PL-material with 1 % lignin has been established. It is assumed that the contamination of the composite PL-material with 1 % lignin with lead, zinc and aluminum occurred due to the used plant origin additive – lignin.

Keywords: film polylactide material, lignin, toxic elements, migration levels, model media.

References

1. Xiao L., Wang B., Yang G., Gauthier M. Poly (Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications // Biomedical Science, Engineering and Technology. — Chap. 11. — 2012. — P. 247–282.

2. Sarazin Y., Schormann M., Bochmann M. Novel zinc and magnesium alkyl and amido cations for ring-opening polymerization reactions // Organometallics. — 2004. — Vol. 23, № 13. — P. 3296–3302.

3. Zhong Z., Schneiderbauer S., Dijkstra P.J., Westerhausen M. et al. Single-site calcium initiators for the controlled ring-opening polymerization of lactides and lactones // Polymer Bulletin. — 2003. — Vol. 51, № 3. — P. 175–182.

4. Chisholm M. H., Lin C.-C., Gallucci J. C., Ko B.-T. Binolate complexes of lithium, zinc, aluminium, and titanium; preparations, structures, and studies of lactide polymerization // Dalton Transactions. — 2004. — Vol. 3. — P. 406–412.

5. Nomura N., Ishii R., Akakura M., Aoi K. Stereoselective ring-opening polymerization of racemic lactide using aluminum-achiral ligand complexes: Exploration of a chain-end control mechanism // Journal of the American Chemical Society. — 2002. — Vol. 124, № 21. — P. 5938–5939.

6. Agarwal S., Mast C., Dehnicke K., Greiner A. Rare earth metal initiated ring-opening polymerization of lactones // Macromolecular Rapid Communications. — 2000. — Vol. 21, № 5. — P. 195–212.

7. *Mathew A. P., Oksman K., Sain M.* Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC) // *Journal of applied polymer science*.— 2005.— Vol. 97, № 5.— P. 2014–2025.
8. *Graupner N., Herrmann A. S., Müssig J.* Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly (lactic acid) (PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*.— 2009.— Vol. 40, № 6–7.— P. 810–821.
9. *Agabekov V., Tarasevich V.* Plastic expansion // *Nauka i innovacii*. 2019.— Vol. 11, № 201.— P. 17–22. (in Russian)
10. *Smirnova A. I., Antonova V. S.* Applied chemistry of natural compounds: educational allowance.— St. Petersburg: VSHTe SPbGUPTD, 2020. (in Russian)
11. Instruction 2.3.3.10–15–64–2005. Sanitary-chemical researches of polymer and other synthetic materials contacting with food.— Minsk, 2005. (in Russian)
12. State Standard 31870–2012. Drinking water. Determination of the elements content by atomic spectrometry methods.— Minsk: Gosstandart, 2013. (in Russian)
13. Technical regulations of the Customs Union TR CU 005/201. About the package safety. Available at: Konsul'tantPlyus.— Belarus, 2021. (in Russian)
14. State Standard 34030.1–2016. Package. Requirements for the determination and control of the heavy metals and other hazardous substances content in the packaging material and their release into the environment. Part 1. Requirements for the determination and control of the four heavy metals content in the packaging material.— Minsk: Gosstandart, 2019. (in Russian)
15. State Standard EN 13432–2015. Package. Requirements for the use of packaging through composting and biodegradation. Verification chart and evaluation criteria for categorizing packages.— Minsk: Gosstandart, 2017. (in Russian)

Поступила 11.11.2021

Раздел VIII

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

УДК 614.2:579

Миклис Н. И., Бурак И. И., Изопольская Ж. Г.¹

МИКРОФЛОРА ПАЦИЕНТОВ МНОГОПРОФИЛЬНОГО СТАЦИОНАРА И ЕЕ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ

Учреждение образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов
медицинский университет», г. Витебск, Республика Беларусь,

¹Учреждение здравоохранения «Витебская областная клиническая больница»,
г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. Микрофлора пациентов, находившихся на стационарном лечении в Витебской областной клинической больнице, на 96,8 % представлена *K. pneumoniae* (20 %), *S. aureus* (16 %), *P. aeruginosa* (15 %), *A. baumannii* (9 %), *E. coli* (9 %), *C. albicans* (9 %), *E. faecalis* (7 %), *S. epidermidis* (6 %). В эпидзначимых отделениях реанимации и анестезиологии, реанимации нейрохирургии и гнойной хирургии преимущественно обнаруживались клинические изоляты *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* и *S. aureus*. Из крови, гнойного экссудата, раневого экссудата, бронхиального аспирата, мочи и мокроты пациентов чаще всего выделялись клинические изоляты *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* и *S. aureus*. В структуре находившихся на лечении пациентов с микрофлорой 36,2 % составили пациенты с гнойно-септическими инфекциями.

Высокую активность в отношении грамотрицательных микроорганизмов проявили колистин, тигециклин и ампициллин / сульбактам. Грамположительные стафилококки в основном оказались чувствительны к гликопептидам, аминогликозидам, клиндамицину, энтерококки — к гликопептидам, линезолиду и фосфомицину.

Ключевые слова: стационар, микрофлора, клинические изоляты, эпидемиологический анализ, антибиотикорезистентность.

Введение. Экзогенные и эндогенные инфекционные заболевания пациентов и медицинских работников, заражение которыми произошло в больничных, амбулаторно-поликлинических и других организациях здравоохранения, а также при оказании медицинской помощи во внебольничных условиях, являются инфекциями, связанными с оказанием медицинской помощи (далее — ИСМП) [1].

Чаще всего возбудителями ИСМП являются *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium difficile*, *Acinetobacter baumannii*, а также представители *Enterobacteriaceae* и *Enterococcus*. Наслаиваясь на основное заболевание, ИСМП увеличивают длительность пребывания пациентов в стационаре, ведут к удлинению сроков лечения, хронизации процесса, а в наиболее тяжелых случаях — к летальному исходу [2].

Высокому риску возникновения ИСМП подвергаются тяжелые пациенты отделений реанимации и интенсивной терапии. В структуре заболеваемости пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии инфекционного стационара преобладают кишечные инфекции и пневмонии. Чаще всего при бактериологическом исследовании кала, промывных вод, мокроты и слизи из зева высеваются *S. aureus* и *Klebsiellae pneumoniae* [3].

За последние 50 лет вследствие увеличения частоты хирургических вмешательств и инвазивности процедур произошло увеличение группы риска гнойно-септических инфекций за счет пациентов хирургических отделений [4].

Одним из основных направлений деятельности по разделу профилактики ИСМП является анализ циркулирующей в отделениях организаций здравоохранения микрофлоры и ее чувствительности к антибиотикам. В связи с развитием устойчивости и снижением чувствительности микрофлоры к антибиотикам специалистами Всемирной организации здравоохранения составлен список приоритетных возбудителей заболеваний для создания новых антибиотиков, включающих критически высокий, высокий и средний уровень приоритетности [5].

Закономерности развития эпидемического процесса обычно носят устойчивый характер и позволяют экстраполировать полученные данные на последующий период, поэтому актуальным является проведение ретроспективного анализа [6]. Особый интерес в этом плане вызывает ретроспективный анализ микрофлоры пациентов в многопрофильных стационарах областных центров.

Цель работы — провести ретроспективный анализ микрофлоры и ее антибиотикорезистентности у пациентов УЗ «Витебская областная клиническая больница».

Материалы и методы. Витебская областная клиническая больница (далее — ВОКБ) рассчитана на 1 290 коек, в том числе 705 хирургического и 585 терапевтического профиля, оказывает высококвалифицированную экстренную и плановую медицинскую помощь населению, проводит своевременное и качественное обследование, лечение и реабилитацию пациентов в стационарных условиях, а также оказывает экстренную и плановую консультативную помощь населению Витебской области и является клинической базой ряда кафедр Витебского государственного медицинского университета.

В больнице функционирует 11 лечебных отделений хирургического и 15 — терапевтического профиля, 14 диагностических и вспомогательных отделений, медицинская помощь оказывается по 34 врачевым специальностям. Больница специализируется по кардиологии, кардиохирургии, неврологии, нейрохирургии, офтальмологии, оториноларингологии, травматологии, урологии, нефрологии и другим направлениям.

Поступающие в ВОКБ больные обследуются согласно утвержденным клиническим протоколам диагностики и лечения пациентов при оказании медицинской помощи, результаты бактериологического исследования заносятся в журнал микробиологических исследований клинко-диагностической лаборатории, а также в базу данных локального микробиологического мониторинга с использованием компьютерной программы WHONET.

Из указанных журнала и базы данных копировали сведения о выделенной микрофлоре у поступивших в стационар пациентов, микрофлоре пациентов отделения реанимации и анестезиологии № 1 (далее — РАО), отделения реанимации и анестезиологии для нейрохирургических пациентов (далее — РАН) и отделения гнойной хирургии (далее — ОГХ), микрофлоре пациентов, выделенной из раневого экссудата, мокроты, мочи, крови, бронхиального аспирата и гнойного экссудата, микрофлоре пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями, а также о чувствительности и устойчивости выделенной микрофлоры к антибактериальным препаратам.

Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием программ Microsoft Excel 2013 и Statistica v6.0. Определяли среднюю величину показателей, медиану, верхний и нижний квартили. Для сравнения двух независимых переменных использовали критерий Манна—Уитни. Существенность различий средних значений оценивалась по коэффициенту Стьюдента (t). Различия цифровых показателей считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Работа выполнена в рамках НИР «Разработка и совершенствование методов диагностики, лечения и профилактики инфекционных болезней человека» № ГР 20191502. Авторы выражают благодарность главному врачу УЗ «Витебская областная клиническая больница» А. В. Андрюшкину за предоставленную возможность проведения исследований.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования выделенной микрофлоры в целом по больнице показали, что за анализируемый период при бактериологическом обследовании 14 159 поступивших пациентов в ВОКБ у 7 224 (51 %) пациентов были выделены 33 микроорганизма, из которых 10 (*S. aureus*, *P. aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans*, *Staphylococcus epidermidis*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *Enterococcus faecium*, *Proteus mirabilis*) были выделены у 6 992 (96,8 %) пациентов, а другие 23 (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida glabrata*, *Candida guilliermondii*, *Candida krusei*, *Candida lusitanae*, *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella oxytoca*, *Morganella morganii*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus equi*, *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus viridians*, *Enterobacter amnigenus*) — у остальных 232 (3,2 %) пациентов.

Среди доминирующей микрофлоры клинические изоляты *K. pneumoniae* были выделены у 20 %, *S. aureus* — 16 %, *P. aeruginosa* — 15 %, *A. baumannii* — 9 %, *E. coli* — 9 %, *C. albicans* — 9 %, *E. faecalis* — 7 %, *S. epidermidis* — 6 %, *E. faecium* — 3 %, *P. mirabilis* — 3 % пациентов. Следует отметить, что выделенные у пациентов *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *P. mirabilis* относятся к возбудителям критически высокого уровня приоритетности, *S. aureus*, *E. faecium* — к возбудителям высокого уровня приоритетности [5].

Полученные результаты позволяют заключить, что у поступивших в ВОКБ пациентов в общей структуре клинических изолятов преобладающими были *K. pneumoniae*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*. Доминирование *S. aureus* в выделенной микрофлоре ВОКБ также отмечали другие авторы [7].

При изучении микрофлоры пациентов эпидзначимых отделений установлено, что из 7 224 пациентов ВОКБ с выделенными микроорганизмами 2 229 (30,9 %) пациентов находились на лечении в отделении реанимации и анестезиологии № 1, отделении реанимации и анестезиологии для нейрохирургических пациентов и отделении гнойной хирургии. У пациентов указанных отделений чаще всего обнаруживались клинические изоляты *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *P. mirabilis* и *E. faecalis*. Так, положительных анализов на указанные изоляты у пациентов РАО было 946 (42,4 %), РАН — 442 (19,8 %), ОГХ — 841 (37,7 %). В отделениях реанимации и гнойной хирургии *S. aureus* был выделен у 410 (18,4 %), *P. aeruginosa* — 507 (22,7 %), *A. baumannii* — 505 (22,7 %), *K. pneumoniae* — 599 (26,9 %), *E. coli* — 66 (3,0 %), *P. mirabilis* — 94 (4,2 %), *E. faecalis* — 48 (2,2 %) пациентов.

Следует отметить, что изоляты *A. baumannii* были выделены у 12,8 % пациентов РАО, 5,6 % пациентов РАН и 4,3 % пациентов ОГХ, *P. aeruginosa* — у 9,1 %, 5,5 % и 8,1 %, *K. pneumoniae* — у 14,6 %, 6,1 % и 6,2 %, *P. mirabilis* — у 1,8 %, 0,9 % и 1,5 %, *S. aureus* — у 2,8 %, 1,3 % и 14,6 %, *E. faecalis* — у 0,6 %, 0,3 % и 1,3 %, *E. coli* — у 0,8 %, 0,2 % и 2,0 % пациентов соответственно.

В целом у пациентов РАО чаще всего обнаруживались клинические изоляты *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* (14,6–9,1 %), РАН — *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* (6,1–5,5 %), ОГХ — *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* (14,6–6,2 %). В РАО изоляты *P. mirabilis*, *E. faecalis*, *E. coli* обнаружены у 1,8–0,6 %, РАН — 0,9–0,2 %, ОГХ — 1,5–2,0 % пациентов.

Полученные результаты о преобладании у пациентов отделений реанимации и анестезиологии грамотрицательной микрофлоры (*A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *P. mirabilis*) подтверждаются исследованиями других авторов [7]. В отделении гнойной хирургии у пациентов преобладает грамположительная флора, а именно *S. aureus*.

Результаты исследования выделенной из биоматериала микрофлоры показали, что у пациентов больницы за анализируемый период из раневого экссудата, мокроты, мочи, крови, бронхиального аспирата и гнойного экссудата чаще всего выделялись *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*. Данные клинические изоляты были обнаружены у 3 568 пациентов, в том числе из раневого экссудата у 1 323 (37,1 %), мокроты — 1 268 (35,5 %), мочи — 774 (21,7 %), крови — 116 (3,3 %), бронхиального аспирата — 64 (1,8 %), гнойного экссудата — 23 (0,6 %). Следует отметить, что клинические изоляты *A. baumannii* были выделены из крови, гнойного экссудата, раневого экссудата, бронхиального аспирата, мочи и мокроты у 1,1 %, 0,1 %, 5,3 %, 0,4 %, 0,4 % и 9,3 %, *P. aeruginosa* — у 0,4 %, 0,03 %, 8,6 %, 0,3 %, 8,0 % и 7,3 %, *S. aureus* — у 0,5 %, 0,4 %, 14,4 %, 0,2 %, 0,8 % и 6,2 %, *K. pneumoniae* — у 1,3 %, 0,1 %, 8,8 %, 0,8 %, 12,4 % и 12,8 % пациентов соответственно.

Клинические изоляты *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* и *K. pneumoniae* были выделены из раневого экссудата у 5,3 %, 8,6 %, 14,4 % и 8,8 %, мокроты — у 9,3 %, 7,3 %, 6,2 % и 12,8 %, мочи — у 0,4 %, 8,0 %, 0,8 % и 12,4 %, крови — 1,1 %, 0,4 %, 0,5 % и 1,3 %, бронхиального аспирата — у 0,4 %, 0,3 %, 0,2 % и 0,8 %, гнойного экссудата — у 0,1 %, 0,03 %, 0,4 % и 0,1 % пациентов соответственно.

Полученные результаты позволяют заключить, что у пациентов ВОКБ, находившихся на стационарном лечении, в крови, гнойном экссудате, раневом экссудате, бронхиальном аспирате, моче и мокроте чаще всего были обнаружены клинические изоляты *K. pneumoniae* (36,2 %). В раневом экссудате и мокроте чаще выделялись *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* и *K. pneumoniae* в 37,1 % и 35,5 % соответственно. Схожие данные также получены и другими авторами [8].

Результаты исследования микрофлоры пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями показали, что среди 6 992 пациентов ВОКБ с изолятами *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *C. albicans* был 2531 (36,2 %) пациент с абсцессами, гнойными ранами, артритом и артрозами, гангреной, желчекаменной болезнью (далее — ЖКБ), мочекаменной болезнью (далее — МКБ), остеомиелитом, панкреатитом и панкреонекрозом, перитонитом, заболеваниями нижних дыхательных путей, включая пневмонию, плеврит, пневмоторакс (далее — ЗНДП), сепсисом, трофической язвой, флегмоной, хронической обструктивной болезнью легких (далее — ХОБЛ), хронической почечной недостаточностью (далее — ХПН).

Так, клинические изоляты *K. pneumoniae* выделены у 14,7 % пациентов с абсцессами, 15 % с гнойными ранами, 14 % с артритом и артрозами, 10,8 % с гангреной, 58 % с ЖКБ, 15 % с МКБ, 30,4 % с панкреатитом и панкреонекрозом (далее — ПП), 39 % с перитонитом, 20,9 % с ЗНДП, 23,9 % с сепсисом, 12,7 % с флегмоной, 36,1 % с ХОБЛ, 31,7 % с ХПН. У пациентов с трофической язвой и остеомиелитом *K. pneumoniae* обнаружена в 4,8 и 6,6 % случаев соответственно.

Клинические изоляты *A. baumannii* выделены у 18,9 % пациентов с гангреной, 20,5 % с ПП, 24,4 % с перитонитом, 11,9 % с ЗНДП, 15,5 % с сепсисом, 14,9 % с флегмоной, у 1,8–8,4 % пациентов с абсцессами, гнойными ранами, остеомиелитом, трофической язвой, ХОБЛ, ХПН, а у пациентов с артритами и артрозами, ЖКБ и МКБ не были обнаружены.

Изоляты *P. aeruginosa* выделены у 28,8 % пациентов с гнойными ранами, 29,7 % с гангреной, 16,1 % с ЖКБ, 11 % с МКБ, 13,2 % с остеомиелитом, 30 % с ПП, 10,9 % с перитонитом, 13,4 % с ЗНДП, 35,9 % с сепсисом, 19,3 % с трофической язвой, 10,9 % с ХОБЛ, 14,5 % с ХПН, у 5,28,4 % пациентов с абсцессами, артритами и артрозами, флегмоной.

Клинические изоляты *S. aureus* обнаружены у 24,6 % пациентов с абсцессами, 26,1 % с гнойными ранами, 18,7 % с артритами и артрозами, 10,8 % с гангреной, 51,3 % с остеомиелитом, 44,6 % с трофической язвой, 20,1 % с флегмоной, 11,6 % с ХОБЛ, у 1,1–7,6 % пациентов с МКБ, ЖКБ, ПП, перитонитом, сепсисом, ХПН, ЗНДП.

Изоляты *S. epidermidis* обнаружены у 32,4 % пациентов с абсцессами и 32 % с флегмоной. У пациентов с ХПН, гангреной, остеомиелитом, ПП, перитонитом, сепсисом, трофической язвой, гнойными ранами *S. epidermidis* выделен в 0,6–8,8 % случаев, а у пациентов с артритами и артрозами, ЖКБ, МКБ, ЗНДП, ХОБЛ не обнаруживался.

Изоляты *E. coli* были выделены у 31,8 % пациентов с артритами и артрозами, 25,7 % с МКБ, 11 % с ХПН, у 0,6–7,2 % пациентов с ХОБЛ, абсцессами, гнойными ранами, ЖКБ, остеомиелитом, ПП, перитонитом, ЗНДП, флегмоной, трофической язвой, а у пациентов с гангреной, сепсисом не обнаружены.

Клинические изоляты *E. faecalis* выделены у 13,1 % пациентов с артритами и артрозами, 30,1 % с МКБ, 17,8 % с ХПН, у 0,7–6,4 % пациентов с абсцессами, гнойными ранами, гангреной, остеомиелитом, ПП, перитонитом, ЗНДП, флегмоной, трофической язвой, ХОБЛ, ЖКБ, а у пациентов с сепсисом не были обнаружены.

E. faecium выделены у 16,1 % с ЖКБ, у 0,6–7,3 % пациентов с ХОБЛ, абсцессами, гнойными ранами, МКБ, остеомиелитом, ПП, ЗНДП, сепсисом, флегмоной, ХПН, перитонитом, а у пациентов с артритами и артрозами, гангреной, трофической язвой не обнаружены.

C. albicans выделена у 13,5 % пациентов с гангреной, 19,3 % с ЖКБ, 39 % с ЗНДП, 23,9 % с ХОБЛ, у 2,1–8,5 % пациентов с сепсисом, абсцессами, гнойными ранами, артритами и артрозами, МКБ, ПП, перитонитом, флегмоной, ХПН, а у пациентов с трофической язвой не обнаружена.

Следует отметить, что у пациентов с артритами и артрозами не обнаружены *A. baumannii*, *S. epidermidis*, *E. faecium*, с гангреной — *E. coli*, *E. faecium*, ЖКБ и МКБ — *A. baumannii*, *S. epidermidis*, ЗНДП — *S. epidermidis*, сепсисом — *E. coli*, *E. faecalis*, трофической язвой — *E. faecium*, *C. albicans*, ХОБЛ — *S. epidermidis*.

Полученные результаты позволяют заключить, что у пациентов с абсцессами, гнойными ранами, артритами и артрозами, гангреной, желчнокаменной болезнью, мочекаменной болезнью, остеомиелитом, панкреатитом и панкреонекрозом, перитонитом, заболеваниями нижних дыхательных путей (пневмония, плеврит, пневмоторакс), сепсисом, трофической язвой, флегмоной, хронической обструктивной болезнью легких, хронической почечной недостаточностью чаще всего были выделены клинические изоляты *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *C. albicans*.

Результаты исследования устойчивости и чувствительности к антибактериальным препаратам выделенной от пациентов ВОКБ микрофлоры показали, что 99 % клинических изолятов *A. baumannii* были резистентны к цефалоспорином III поколения, 92,4 % — карбапенемам, 88,8 % — аминогликозидам. 99,4 % клинических штаммов *A. baumannii* проявили чувствительность к ампициллину / сульбактаму. Колистин проявил высокую активность в отношении 22 исследованных изолятов *A. baumannii*, тигециклин — в отношении 10. Высокая устойчивость ацинетобактера к карбапенемам, цефалоспорином и аминогликозидам подтверждена другими авторами [9].

80 % клинических изолятов *K. pneumoniae* были устойчивы к фторхинолонам, 72 % — к карбапенемам, 68 %, 82 % и 76 % — к цефалоспорином II, III и IV поколения соответственно. Высокую активность в отношении 895 исследованных штаммов *K. pneumoniae* проявил тигециклин (100 %), 172 штаммов — колистин (100 %). 47,7 % из всех исследуемых штаммов были чувствительны к амикацину. Полученные нами данные о чувствительности и устойчивости к антибиотикам *K. pneumoniae* подтверждаются результатами других исследователей [10].

75 % исследованных изолятов *P. aeruginosa* проявили резистентность к карбапенемам (дорипенем, имипенем, меропенем), 73 % — к фторхинолонам (левофлоксацин, ципрофлоксацин, норфлоксацин, офлоксацин). Более половины штаммов *P. aeruginosa* были нечувствительны к антисинегной-

ным цефалоспорином (цефепиму — 64,3 % и цефтазидиму — 51,6 %). 912 штаммов синегнойных палочек, исследованных на чувствительность к колистину, проявили к нему высокую активность. Из исследованных 387 изолятов на чувствительность к пиперациллину / тазобактаму только 48,6 % проявили к нему высокую активность. Чувствительность-устойчивость к амикацину составила по 46 %. Схожие данные получены исследователями в рамках многоцентрового эпидемиологического исследования антибиотикорезистентности возбудителей нозокомиальных инфекций (МАРАФОН) в 63 стационарах 22 городов России [11].

Из клинических изолятов *E. coli* 22 % были устойчивы к цефалоспорином II, III и IV поколений, 20 % — к фторхинолонам. Высокую активность к штаммам кишечной палочки проявили карбапенемы (100 %), фосфомицин (100 %), амоксициллин / клавуланат (91,2 %), нитрофурантоин (99 %) и амикацин (99,2 %). Полученные нами данные по чувствительности *E. coli* к карбапенемам и фосфомицину подтверждены другими авторами [12].

Из клинических изолятов золотистого стафилококка 30 % были устойчивы к цефокситину, и не было выявлено штаммов, устойчивых к ванкомицину, что указывает на их принадлежность к метициллинрезистентным штаммам. 543 изолята *S. aureus* были высокочувствительны к гликопептидам (ванкомицин и тейкопланин), 289 — клинезолиду. Достаточно высокую чувствительность штаммы *S. aureus* проявили к клиндамицину (81,4 %). В среднем 62,5 % изолятов были чувствительны к фторхинолонам (79,4 % — к цiproфлоксацину, 74,7 % — к офлоксацину). Похожие результаты получены и другими исследователями [7, 13].

56 % штаммов *S. epidermidis* были нечувствительны к цефалоспорином I и II поколения. 93,2 % изолятов эпидермального стафилококка были чувствительны к аминогликозидам, 82,8 % — к клиндамицину. 150 изученных штаммов на чувствительность к ванкомицину проявили к нему высокую активность. 59 изученных штаммов на чувствительность к линезолиду проявили к нему 100 % чувствительность. В среднем 49 % штаммов были чувствительны к фторхинолонам (из них 90 % к моксифлоксацину, 70 % к цiproфлоксацину).

У представителей рода *Enterococcus*, выделенных у пациентов ВОКБ в 2018 г., выявлена высокая устойчивость к фторхинолонам (в среднем 93 % у изолятов *E. faecium* и 62,6 % у изолятов *E. faecalis*). К ампициллину были резистентны все 211 изученных штаммов *E. faecium* и чувствительны все 537 штаммов *E. faecalis*. Полученные нами данные по устойчивости микроорганизмов рода *Enterococcus* к фторхинолонам схожи с результатами других ученых [14].

Отмечена высокая чувствительность рода *Enterococcus* к группе гликопептидов, линезолиду и фосфомицину. Так, все клинические изоляты *E. faecalis* были высоко чувствительны к ванкомицину и тейкопланину, а штаммы *E. faecium* в значениях 72,5 % и 93 % соответственно. Фосфомицин и линезолид проявили высокую чувствительность ко всем исследованным изолятам рода *Enterococcus*. 42 штамма *E. faecalis* и 81 *E. faecium* проявили 100 % чувствительность к тигециклину.

В целом грамотрицательная флора пациентов, находившихся на стационарном лечении в ВОКБ, была высокоустойчива к цефалоспорином, карбапенемам и фторхинолонам. Грамположительные энтерококки были резистентны к фторхинолонам. Высокую активность к грамотрицательным микроорганизмам проявили колистин, тигециклин, ампициллин / сульбактам и амикацин. Грамположительные стафилококки в основном были чувствительны к гликопептидам, аминогликозидам, клиндамицину, энтерококки — к гликопептидам, линезолиду и фосфомицину.

Заключение. Результаты исследования позволяют заключить, что у пациентов Витебской областной клинической больницы за анализируемый период в 51 % случаев выделено 33 различных микроорганизма, в том числе в 96,7 % *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *C. albicans*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *A. baumannii*, *E. faecium*, *P. mirabilis*. Наиболее часто, в 10–19 % случаев, выделены *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*.

В эпидемически значимых отделениях реанимации и гнойной хирургии наиболее часто выделялись *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae* (21,7–24,5 %), нечасто — *E. coli*, *P. mirabilis*, *E. faecalis* (2,2–3,4 %). Положительных результатов на указанные микроорганизмы у пациентов отделения реанимации и анестезиологии было 44 %, отделения реанимации нейрохирургии — 18,3 %, отделения гнойной хирургии — 37,7 %.

У пациентов наиболее контаминированными биоматериалами были раневой экссудат, мокрота, моча, кровь, бронхиальный аспират и гнойный экссудат, а доминирующими выделенными из них микроорганизмами — *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*. Перечисленная микрофлора выделена из раневого экссудата в 37,9 %, мокроты — 36,9 %, мочи — 18,7 %, крови — 3,7 %, бронхиального аспирата — 1,8 %, гнойного экссудата — 1,1 %.

В ВОКБ среди находившихся на стационарном лечении с выделенными микроорганизмами в 36,2 % случаев были пациенты с гнойно-септическими инфекциями — абсцессами, гнойными ранами, артритом и артрозами, гангреной, желчнокаменной болезнью, мочекаменной болезнью, остеомиелитом, панкреатитом и панкреонекрозом, перитонитом, заболеваниями нижних дыхательных путей, сепсисом, трофической язвой, флегмоной, хронической обструктивной болезнью легких, хронической почечной недостаточностью, у которых чаще всего были выделены клинические изоляты *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *C. albicans*.

Выделенная грамотрицательная микрофлора у находившихся на стационарном лечении в ВОКБ пациентов была высокоустойчива к цефалоспорином, карбапенемам и фторхинолонам и чувствительна к колистину, тигециклину, ампициллину / сульбактаму и амикацину. Грамположительные стафилококки проявили чувствительность к гликопептидам, аминогликозидам, клиндамицину. Грамположительные энтерококки были резистентны к фторхинолонам и чувствительны к гликопептидам, линезолиду и фосфомицину.

Полученные нами ретроспективные данные по распространению в многопрофильном стационаре микрофлоры и устойчивости ее к известным антибиотикам у пациентов ВОКБ подтверждают целесообразность создания новых антибиотиков, а также антисептиков и дезинфектантов для борьбы с приоритетными возбудителями инфекционных заболеваний в соответствии со списком ВОЗ [5].

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Ретроспективный анализ микрофлоры, выделенной от пациентов Витебской областной клинической больницы, позволил выявить доминирующие микроорганизмы в стационаре, эпидемически значимых отделениях, биологических жидкостях, которыми являются *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*.

Выделенные от пациентов грамотрицательные микроорганизмы оказались высокочувствительными к колистину, тигециклину и ампициллину / сульбактаму, грамположительные стафилококки — к гликопептидам, аминогликозидам, клиндамицину, энтерококки — к гликопептидам, линезолиду и фосфомицину.

2. Выявленные ретроспективно у пациентов приоритетные микроорганизмы и активные в отношении них известные антибиотики позволяют оптимизировать схемы этиотропной терапии и целенаправленно проводить поиск эффективных антибиотиков, а также разрабатывать антисептики и дезинфектанты профилактического направления для борьбы и предупреждения инфекционных заболеваний, в том числе связанных с оказанием медицинской помощи.

Литература

1. Карпов, И. А. Внутрибольничная инфекция: современное состояние проблемы (первая часть) / И. А. Карпов, Н. В. Соловей, Ю. Л. Горбич // Клиническая инфектология и паразитология. — 2013. — № 2 (05). — С. 4–16.

2. Report of the Burden of Endemic Health Care-Associated Infection Worldwide: a systematic review of the literature. — Geneva: WHO, 2011. — 34 p.

3. Миклис, Н. И. Анализ микрофлоры пациентов отделения реанимации инфекционной больницы г. Витебска / Н. И. Миклис, Е. Л. Небосько // Студенческая медицинская наука XXI века: материалы XVIII междунар. конф. студентов и молодых ученых, Витебск, Беларусь, 14–15 ноября 2018 г. — Витебск: ВГМУ, 2018. — С. 572–575.

4. Bromwen, H. G. Surgical Site Infections: An Update / H. G. Bromwen, D. J. Anderson // Infectious Disease Clinics of North America. — 2016. — Vol. 30, № 4. — P. 909–929.

5. WHO Publishes List of Bacteria for Which New Antibiotics are Urgently Needed [Electronic resource]. — 2017. — Mode of access: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/bacteria-antibiotics-needed/en>. — Date of access: 21.10.2021.

6. Зуева, Л. П. Эпидемиологическая диагностика / Л. П. Зуева, Р. Х. Яфаев, С. Р. Еремин. — СПб.: ГОУВПО СПбГМА им. И. И. Мечникова Минздрава России, 2003. — 264 с.

7. Земко, В. Ю. Мониторинг антибиотикорезистентности микроорганизмов в отделении реанимации и интенсивной терапии многопрофильного стационара / В. Ю. Земко, В. К. Окулич, А. М. Дзядзько // Трансплантология. — 2018. — № 10. — С. 284–297.

8. Маркелова, Н. Н. Мониторинг возбудителей инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (*Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Stenotrophomonas*

maltophilia) в стационаре / Н. Н. Маркелова, Е. Ф. Семёнов, А. В. Тутельян // Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. — 2019. — Т. 9, № 2. — С. 68–74.

9. Тапальский, Д. В. *Acinetobacter baumannii*: распространенность, спектр и динамика антибиотикорезистентности, чувствительность к комбинациям антибиотиков / Д. В. Тапальский, Н. А. Бонда // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. — 2018. — Т. 16, № 3. — С. 286–291.

10. Козлова, Н. С. Чувствительность к антибиотикам штаммов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных в многопрофильном стационаре / Н. С. Козлова, Н. Е. Баранцевич, Е. П. Баранцевич // Инфекция и иммунитет. — 2018. — Т. 8, № 1. — С. 79–84.

11. Антибиотикорезистентность нозокомиальных штаммов *Pseudomonas aeruginosa* в стационарах России: результаты многоцентрового эпидемиологического исследования «МАРАФОН» 2013–2014 / М. В. Эйдельштейн [и др.] // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. — 2017. — Т. 19, № 1. — С. 37–41.

12. Козлова, Н. С. Антибиотикорезистентность возбудителей гнойно-септических инфекций в многопрофильном стационаре / Н. С. Козлова, Н. Е. Баранцевич, Е. П. Баранцевич // Проблемы медицинской микологии. — 2018. — Т. 20, № 1. — С. 40–48.

13. Чувствительность к антибактериальным препаратам стафилококков, циркулирующих в многопрофильном стационаре / Н. С. Козлова [и др.] // Проблемы медицинской микологии. — 2015. — Т. 17, № 4. — С. 58–62.

14. Полирезистентная микрофлора в структуре микроорганизмов, выделенных из крови пациентов многопрофильного стационара / А. В. Козлов [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. — 2018. — Т. 63, № 9. — С. 574–578.

Miklis N. I., Burak I. I., Izopolskaya Zh. G.¹

MICROFLORA OF MULTIDISCIPLINARY HOSPITAL PATIENTS AND ITS ANTIBIOTIC RESISTANCE

Educational institution «Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University»,
Vitebsk, Belarus,

¹Healthcare organization «Vitebsk Regional Clinical Hospital», Vitebsk, Belarus

The microflora of patients in inpatient care at the Vitebsk Regional Clinical Hospital is represented on the 96.8 % by *K. pneumoniae* (20 %), *S. aureus* (16 %), *P. aeruginosa* (15 %), *A. baumannii* (9 %), *E. coli* (9 %), *C. albicans* (9 %), *E. faecalis* (7 %), *S. epidermidis* (6 %). Clinical isolates of *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* and *S. aureus* were predominantly found in epidemiological departments of intensive care and anesthesiology, intensive care of neurosurgery and purulent surgery. Clinical isolates of *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* and *S. aureus* were most often secreted from blood, purulent exudate, wound exudate, bronchial aspirate, urine and sputum of patients. In the structure of treated patients with microflora, 36.2 % were patients with purulent-septic infections.

Colistin, tigecycline and ampicillin / sulbactam showed high activity against gram-negative microorganisms. Gram-positive staphylococci were mainly sensitive to glycopeptides, aminoglycosides, clindamycin, enterococci — to glycopeptides, linezolid and fosfomycin.

Keywords: in-patient care, microflora, clinical isolates, epidemiological analysis, antibiotic resistance.

References

1. Karpov I. A., Solovey N. V., Gorbich Y. L. Nosocomial infection: current state of the problem (first part) // *Clinical Infectology and Parasitology*. — 2013. — Vol. 2 (05). — P. 4–16. (in Russian)
2. WHO. Report of the Burden of Endemic Health Care-Associated Infection Worldwide: a systematic review of the literature. Geneva, 2011.
3. Miklis N. I., Nebosko E. L. Analysis of the microflora of patients of the intensive care unit of the infectious diseases hospital in Vitebsk // *Student medical science of the XXI century: Proceedings of the XVIII international conference of students and young scientists*. — 2018, Nov. 14–15; Vitebsk; Belarus. — Vitebsk: VGMU, 2018. P. 572–575. (in Russian)
4. Bromwen H. G., Anderson D. J. Surgical Site Infections: An Update // *Infectious Disease Clinics of North America*. — 2016. — Vol. 30(4). — P. 909–929.

5. WHO Publishes List of Bacteria for Which New Antibiotics are Urgently Needed; 2017 [Electronic resource].— Mode of access: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/bacteria-antibiotics-needed/en/>.— Date of access: 21.10.2021.

6. Zueva L. P., Yafaev R. Kh., Eremin S. R. Epidemiological diagnostics. Saint Petersburg: North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov of the Ministry of Health of Russia, 2003. (in Russian)

7. Zemko V. Yu., Okulich V. K., Dzyadz'ko A. M. Monitoring the antibiotic resistance in the intensive care unit of a multidisciplinary hospital. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2018; 10(4): 284–97. (in Russian)

8. Markelova N. N., Semenov E. F., Tutelyan A. V. Monitoring the pathogens (*Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Stenotrophomonas maltophilia*) of healthcare-associated infections in a hospital // *Èpidemiologiâ i infekcionnye bolezni. Aktual'nye voprosy [Epidemiology and Infectious Diseases. Current Items]*.— 2019.— Vol. 9 (2).— P. 68–74. (in Russian)

9. Tapalski D. V., Bonda N. A. *Acinetobacter baumannii*: prevalence, spectrum and dynamics of antimicrobial resistance, susceptibility to antibiotic combinations // *Journal of the Grodno State Medical University*.— 2018.— Vol. 16 (3).— P. 286–291. (in Russian)

10. Kozlova N. S., Barantsevich N. E., Barantsevich E. P. Susceptibility to antibiotics in *Klebsiella pneumoniae* strains isolated in a multidisciplinary medical centre // *Infektsiya i immunitet [Russian Journal of Infection and Immunity]*.— 2018.— Vol. 8 (1).— P. 79–84. (in Russian)

11. Edelstein M. V., Sukhorukova M. V., Skleenova E. Yu. et al. Antimicrobial resistance of nosocomial *Pseudomonas aeruginosa* isolates in Russia: results of multicenter epidemiological study «MARATHON» 2013–2014 // *Klinicheskaa Mikrobiologia i Antimikrobnaya Himioterapiya [Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy]*.— 2017.— Vol. 19 (1).— P. 37–41. (in Russian)

12. Kozlova N. S., Barantsevich N. E., Barantsevich E. P. Antibiotic resistance in agents of nosocomial infections in a multidisciplinary medical centre // *Problems in medical mycology*.— 2018.— Vol. 20 (1).— P. 40–8. (in Russian)

13. Kozlova N. S., Barantsevich N. E., Ivanova L. V. et al. Susceptibility to antibiotics in nosocomial staphylococci from multidisciplinary hospital // *Problems in medical mycology*.— 2015.— Vol. 17 (4).— P. 58–62. (in Russian)

14. Kozlov A. V., Gussyakova O. A., Lyamin A. V. et al. Polyresistant microflora in the structure of microorganisms divided from blood of patients of the general hospital // *Klinicheskaja laboratornaia diagnostika [Russian Clinical Laboratory Diagnostics]*.— 2018.— Vol. 63 (9).— P. 574–578. (in Russian)

Поступила 03.11.2021

УДК 616.9:615.28

Миклис Н. И., Семенов В. М.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННЫХ ДЕЗИНФЕКТАНТОВ И АНТИСЕПТИКОВ В ИНФЕКЦИОННОЙ БОЛЬНИЦЕ

Учреждение образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов
медицинский университет», г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. У пациентов отделения анестезиологии и реанимации областной клинической инфекционной больницы из биоматериала наиболее часто выделялись *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*. При бактериологическом исследовании кала и промывных вод положительные результаты отмечались в 42,5 %, мокроты и слизи из зева — в 41 % случаев. В биоматериале в 53 % случаев было обнаружено по одному микроорганизму. Только 41,5 % исследованных проб биоматериала представляли интерес для разработки дальнейшей тактики ведения пациентов. В структуре заболеваний пациентов приоритетными были кишечные инфекции и пневмонии.

Дезинфектант «Анолит нейтральный» и антисептики «Витасепт» обладают высокой активностью в отношении изученных клинических штаммов микроорганизмов.

Аэрозольная дезинфекция анолитом нейтральным загрязненного биоаэрозолем *S. aureus* воздуха приводит к достоверному снижению количества микроорганизмов спустя 30 минут на 64,6 % по сравнению с исходным значением.

Инновационные средства «Витасепт» и «Анолит нейтральный» можно рекомендовать для изучения и проведения профилактической дезинфекции и антисептики в условиях инфекционного стационара.

Ключевые слова: микрофлора биоматериала, нозокомиальные изоляты, этиология, инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи, профилактическая дезинфекция и антисептика, анолит нейтральный, «Витасепт».

Введение. Пациенты отделений реанимации и интенсивной терапии больничной организации подвержены высокому риску возникновения инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (далее — ИСМП). В указанных отделениях источником ИСМП в 40–60 % случаев является эндогенная микрофлора пациентов, в 20–40 % — перекрестное инфицирование через руки персонала, в 20–25 % — антибиотик-вызванные изменения микрофлоры, 20 % — другие причины, включая контаминацию окружения [1]. Особенно часто развитие ИСМП в отделениях реанимации и интенсивной терапии обуславливают внутрибольничные экочакры условно-патогенных бактерий [2].

Для эффективного прогнозирования развития и характера инфекции, определения адекватных мер медикаментозного воздействия важное значение имеет знание количественного и качественного состава микрофлоры отделения [3]. В выявлении возбудителя и источника инфекции ведущее значение принадлежит микробиологическим лабораториям, которые проводят выделение и идентификацию возбудителей, определяют их устойчивость к антибиотикам и антисептикам, а также создают базы данных микрофлоры и ее чувствительности к антимикробным средствам [4].

Особый интерес вызывает выявление возбудителей заболеваний в крупной инфекционной больнице. В Витебской области в областной клинической инфекционной больнице функционирует 156 коек, в том числе 75 взрослых инфекционных, 75 детских инфекционных и 6 реанимационных. В больнице имеются приемное отделение, палатные отделения: инфекционное боксированное на 20 коек, инфекционное взрослое диагностическое на 45 коек, инфекционное детское респираторное на 32 койки, кишечное на 53 койки, а также отделение анестезиологии и реанимации. Лечебно-диагностическое подразделение включает кабинет функциональной диагностики, клинко-диагностическую лабораторию, кабинет ультразвуковой диагностики, рентгенологический и физиотерапевтический кабинеты, центральную стерилизационную, аптеку, организационно-методический кабинет, консультативный и консультативно-диспансерный кабинет ВИЧ/СПИД.

В отделении анестезиологии и реанимации оказывается реанимационная помощь пациентам с нарушением витальных функций, проводится интенсивная терапия состояний, осложняющих течение острых инфекционных заболеваний, в том числе различных форм нейроинфекций, менингококцемии, гепатитов, респираторных инфекций, коклюша, особо опасных инфекций, а также госпитализируются дети в возрасте от одного месяца и взрослые. В отделении развернуто 6 реанимационных коек, в том числе 3 взрослых, 3 детских, имеется 4 мельцеровских бокса и 1 палата на первом этаже второго лечебного корпуса. Все боксы и палата обеспечены централизованной подачей кислорода, оборудованы бактерицидными лампами, имеются функциональная кровать, кровать для детей раннего возраста, а также другое необходимое оборудование. В отделении используются аппараты искусственной вентиляции легких высокого класса, а также необходимая следящая аппаратура. В работе отделения непосредственно участвуют трансфузиологическая служба и клинко-диагностическая лаборатория, имеющая биохимический, клинический, серологический и бактериологический отделы с ПЦР-лабораторией.

Пациенты, поступающие в отделение реанимации, обследуются согласно утвержденным протоколам диагностики и лечения заболеваний. Клинико-диагностическая лаборатория выполняет за год более 200 бактериологических исследований различного биоматериала пациентов отделения, включая мочу, слизь из зева, мокроту, промывные воды желудка, кал, кровь, асцитную, плевральную и спинномозговую жидкости. Патогенная и условно-патогенная микрофлора из биоматериала высеивается примерно в половине анализов. При исследовании мочи отмечено 28 % положительных результатов, слизи из зева — 95 %, мокроты — 78 %, кала — 71 %, промывных вод желудка — 15 % [4].

Выявленные в процессе микробиологического контроля этиологические агенты инфекции и их антибиотикочувствительность в дальнейшем используются при выборе антибиотика для эффективного лечения каждого пациента, а также для разработки программ эмпирической антибактериальной терапии конкретного стационара. Поскольку этиологические микроорганизмы пациентов могут быть причиной или следствием ИСМП, то и профилактические мероприятия технологической,

планировочной, санитарно-технической, организационной и дезинфекционно-стерилизационной направленности в стационаре следует проводить с учетом нозокомиальных изолятов. Особое внимание при этом уделяется профилактической антисептике эффективными и безопасными препаратами и профилактической и очаговой дезинфекции физическими и химическими методами [5].

Эффективными профилактическими дезинфектантами на сегодняшний день являются разработанные нами инновационные электрохимически активированные водно-солевые растворы, в частности, анолит нейтральный (далее — АН), обладающий выраженной антимикробной активностью в отношении стандартных тест-культур микроорганизмов [6]. Для профилактической антисептики широко используются спиртосодержащие препараты, в том числе предложенные нами средства «Витасепт» с фактором редукции более 4 lg в отношении стандартных тест-культур микроорганизмов [7].

Однако углубленное изучение этиологии заболеваний пациентов отделения анестезиологии реанимации УЗ «Витебская областная клиническая инфекционная больница» (ВОКИБ), чувствительности выделенных возбудителей к дезинфицирующим и антисептическим средствам, а также эффективности профилактической дезинфекции помещений не проводилось.

Цель работы — определить чувствительность наиболее часто выделяемых микроорганизмов у пациентов отделения анестезиологии и реанимации УЗ «Витебская областная клиническая инфекционная больница» к инновационным дезинфектантам и антисептикам и эффективность профилактической дезинфекции воздуха помещений.

Материалы и методы. За анализируемый период было отобрано 45 пациентов отделения анестезиологии и реанимации ВОКИБ с 85 положительными результатами анализов, представляющими интерес в качестве нозокомиальных изолятов внутренней среды отделения (41,5 % от всех выполненных лабораторией исследований). На каждого пациента составлялась выкопировочная карта, в которую из медицинской карты стационарного пациента вносили данные об их возрасте и половой принадлежности, анамнезе, возбудителях инфекции, клиническом течении, диагнозе, схемах антибиотикотерапии, а также результатах бактериологического исследования биологического материала, включая кровь, мочу, мокроту, слизь из зева, кал, промывные воды желудка, спинномозговую жидкость, плевральную жидкость, асцитную жидкость, выделения из уретры. Рассчитывали частоту встречаемости конкретных возбудителей и микробных ассоциаций в биоматериале, определяли группу преобладающих микроорганизмов, а также вызываемые микроорганизмами нозологические формы, их удельный вес, половозрастную структуру и продолжительность госпитализации пациентов.

Чувствительность выделенных от пациентов штаммов *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii* определяли диско-диффузионным методом [8]. На поверхность чашки Петри 100 мм с питательной средой для подсчета микроорганизмов наносили стандартный инокулюм микроорганизмов в объеме 1 см³ (1,5 × 10⁸ колониеобразующих единиц/см³) пипеткой, равномерно распределяли и подсушивали. Чашку делили на шесть равных частей и в каждую часть через 10–15 минут после инокуляции помещали по одному диску диаметром 6 мм. Контрольные диски пропитывали стерильным раствором 0,9 % раствора натрия хлорида, опытные — дезинфектантами анолитом нейтральным (АН 1) с рН 6,95 и содержанием активного хлора 199 мг/дм³ и анолитом нейтральным (АН 2) с рН 7,0 и содержанием активного хлора 270 мг/дм³, антисептиками «Витасепт-СКЗ» 0,001 %, «Витасепт-СКИ» 0,25 %, «Витасепт-СКО» 0,1 %. Непосредственно после аппликации дисков чашки Петри помещали в термостат кверху дном, инкубировали при температуре 35 °С в течение 18–24 ч и измеряли диаметр зон задержки роста с точностью до 1 мм.

Микробиологическую эффективность аэрозольной обработки воздуха определяли в вытяжном шкафу научной лаборатории. Для этого создавали биоаэрозоль путем мелкокапельного диспергирования 2 см³ взвеси суточной культуры *S. aureus*, содержащей 2 × 10⁴ колониеобразующих единиц. Затем проводили аэрозольную обработку воздуха вытяжного шкафа 5,6 см³ электрохимически активированным дезинфицирующим средством «Анолит нейтральный» с рН 7,2 и содержанием активного хлора 202 мг/дм³ из баллончика с насадкой для диспергации ароматических веществ и парфюмерно-косметических средств в гигиенических целях. После аэрозольной обработки дезинфектантом и спустя 10, 20 и 30 минут после нее отбирали по 200 дм³ воздуха аспирационным методом с помощью аппарата Кротова (скорость протягивания воздуха 20 дм³/мин в течение 10 минут) [9]. После инкубации посевов при 37 °С на плотной питательной среде в течение 24 ч и 24 ч при комнатной температуре производили подсчет общего числа выросших колоний и расчет числа колониеобразующих единиц, содержащихся в 1 м³ воздуха.

Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием программ Microsoft Excel и Statistica. Определяли среднюю величину показателей, медиану, верхний и нижний квартили. Существенность различий средних значений оценивалась по коэффициенту Стьюдента (t). Достоверность сдвигов учитывали при $p \leq 0,05$. Работа выполнена в рамках НИР «Разработка и совершенствование методов диагностики, лечения и профилактики инфекционных болезней человека» № ГР 20191502. Авторы выражают благодарность главному врачу УЗ «Витебская областная клиническая инфекционная больница» Т. А. Ковалевой за предоставленную возможность проведения исследований.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования показали, что за анализируемый период микробный пейзаж биоматериала у отобранных 45 пациентов был представлен 14 микроорганизмами, в том числе *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Enterobacter cloacae*, *Salmonella typhimurium*, *Haemophilus influenzae*, *Clostridium difficile*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Candida albicans*, *Citrobacter freundii*.

У 56 % пациентов было выделено по одному микроорганизму, у 13 % — по два, у 18 % — по три, у 7 % — по четыре, у одного пациента — шесть микроорганизмов. Следует подчеркнуть, что ассоциации микроорганизмов были выделены у 36,5 % пациентов, в том числе при исследовании мочи у 50 % пациентов из 4, исследовании кала — у 27 % из 22 пациентов, исследовании мокроты — у 27 % из 11 пациентов, исследовании мазков из зева — у 30,8 % из 13 пациентов, исследовании крови — у 14 % из 7 пациентов. У 24 % пациентов микроорганизмы были выявлены в посевах разных биологических жидкостей.

Из всей выделенной микрофлоры наибольший удельный вес составили *S. aureus* (23,5 %) и *K. pneumoniae* (20 %). *S. pneumoniae* была обнаружена в 4,7 % случаев, *P. aeruginosa* и *A. baumannii* — по 3,5 % случаев. *S. aureus* чаще был выделен при исследовании мазков из зева (75 %) и кала (37,5 %), *K. pneumoniae* — кала (56,3 %), *P. aeruginosa* — промывных вод желудка (40 %), *A. baumannii* — мокроты (22,2 %).

Во всем биоматериале *C. albicans* была выделена в 16,5 % случаев, *E. cloacae* — в 5,9 % случаев, *E. faecalis* и *S. saprophyticus* — по 3,5 % случаев, *S. typhimurium* — в 2,4 % случаев, *H. influenzae*, *C. difficile*, *P. vulgaris*, *C. freundii* — по 1,2 % случаев.

У 9 % пациентов с положительными результатами бактериологических анализов крови доля *S. aureus* и *S. saprophyticus* составила 75 % и 25 % соответственно. У 15,6 % пациентов в мокроте удельный вес *S. aureus* составил 17 % случаев, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *S. pyogenes*, *S. pneumoniae* и *C. albicans* — по 8,3 % случаев. В мазках из зева у 22 % пациентов *S. aureus* обнаружен в 42 %, *C. albicans* — в 25 % случаев, *S. pyogenes*, *E. cloacae* и *S. pneumoniae* — по 8,3 % случаев. У одного пациента в спинномозговой жидкости был выделен *H. influenzae*.

У 40 % пациентов с положительными результатами бактериологических анализов кала в 35 % случаев микрофлора была представлена *S. aureus*, в 24 % — *K. pneumoniae*, в 18 % — *C. albicans*, в 12 % — *S. typhimurium*, а *E. cloacae*, *C. difficile*, *P. aeruginosa*, *P. vulgaris* и *C. freundii* — по 6 %. В промывных водах у 6,3 % пациентов *S. aureus* и *P. aeruginosa* были в 17,6 % и 6 % случаев соответственно.

В целом в одном биоматериале *S. aureus* был обнаружен в 17,6 %, *K. pneumoniae* — в 12,5 %, *S. pneumoniae* — в 3,5 %, *P. aeruginosa* — в 2,4 %, *A. baumannii* — в 1,2 % случаев. Моноинфекция, вызванная *S. aureus*, выявлена у 28,9 % пациентов, *K. pneumoniae* — у 6,7 % пациентов, *S. pneumoniae* и *A. baumannii* — у единичных пациентов.

Микробные ассоциации были обнаружены у 15,6 % пациентов в 43 % случаев в мокроте и моче, в 43 % — в мокроте и кале, в 14 % — в крови и мокроте. В двух случаях ассоциации были выделены в посевах мокроты, слизи из зева, промывных водах и кале, в единичных случаях — в крови, мокроте, кале, и в крови, моче, зеве и кале. Так, у некоторых пациентов с *S. aureus* ассоциации с *S. typhimurium*, *C. albicans*, *E. cloacae*, *P. vulgaris*, *K. pneumoniae* были обнаружены в посевах кала, слизи из зева, мочи, промывных вод. У отдельных пациентов с *K. pneumoniae* отмечались ассоциации с *C. difficile*, *S. pyogenes*, *S. pneumoniae*, *E. faecalis*, *S. aureus*, *P. vulgaris*, *E. cloacae*, *C. albicans* в посевах кала, мокроты, крови, мочи, промывных вод желудка, слизи из зева.

При анализе моноинфекции, вызванной *S. aureus* у 28,8 % пациентов, было установлено, что возраст заболевших варьировал от 3,5 месяца до 46 лет (медиана 34, верхний квартиль 23, нижний квартиль 40). До госпитализации в среднем пациенты болели 2,8 дня. Никто из них не отмечал контактов с больными и перенесенных заболеваний.

В структуре заболеваний стафилококковой природы у 30,8 % пациентов отмечались кишечные инфекции, 23 % — пневмонии, 23 % — вирусные инфекции, 15,4 % — сепсис, 7,7 % — ОРВИ. Выявленная нами нозологическая структура заболеваний пациентов совпадает с результатами других авто-

ров [10, 11]. У 53,8 % пациентов была обнаружена сопутствующая патология (анемия, ВИЧ, поливалентная аллергия, герпетическая инфекция, хронический вирусный гепатит С), у 23 % — осложнения основного заболевания (фебрильные судороги, дыхательная недостаточность, менингоэнцефалит). Продолжительность госпитализации пациентов, инфицированных *S. aureus*, составила в среднем 10,9 суток (медиана 4, нижний и верхний квартили соответственно 3 и 18,25).

Возраст пациентов с моноинфекцией, вызванной *K. pneumoniae*, варьировал от 1 месяца до 77 лет (медиана 57, верхний квартиль 28,5, нижний квартиль 62). До госпитализации в среднем пациенты болели 5 дней. Никто из них не отмечал контактов с больными и перенесенных заболеваний. Все пациенты этой группы находились на лечении по поводу кишечных инфекций. В большинстве случаев заболевания протекали с сопутствующей патологией (сахарный диабет, артериальная гипертензия, деформирующий остеоартрит, гипотиреоз, анемия), в трети случаев — с осложнениями (острая почечная недостаточность). Продолжительность госпитализации пациентов составила в среднем 6 суток (медиана 7, нижний и верхний квартили соответственно 5,5 и 7).

Возраст пациентов с микстинфекцией, вызванной *K. pneumoniae* с другими микроорганизмами, варьировал от 2 до 79 лет (медиана 52,5, верхний квартиль 43,25, нижний квартиль 69,5). До госпитализации в среднем пациенты болели 6 дней. Никто из них не отмечал контактов с больными и перенесенных заболеваний. Два пациента были переведены из других организаций здравоохранения и изначально лечились по поводу другого заболевания.

В структуре заболеваемости, вызванной *K. pneumoniae*, у 27,2 % пациентов отмечались нейроинфекции и пневмонии, у 18,2 % — кишечные инфекции, у 9,1 % — вирусные инфекции, сепсис или холангит. 29 % заболеваний протекали с осложнениями, 90 % — с сопутствующей патологией. Продолжительность госпитализации пациентов с микстинфекцией *K. pneumoniae* составила в среднем 17,9 суток (медиана 18, нижний и верхний квартили соответственно 5 и 23,75).

Результаты исследования чувствительности наиболее часто выделяемых у пациентов отделения анестезиологии и реанимации *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* показали, что в контроле зона задержки роста указанных микроорганизмов отсутствовала.

Дезинфектант АН 1 обусловил зону задержки роста *A. baumannii* на 44 %, *K. pneumoniae* — 35 %, *S. aureus* — 38 %, *P. aeruginosa* — 33 % от зоны полного подавления видимого роста диаметром 25 мм. Зона задержки роста *A. baumannii* дезинфектантом АН 2 составила 48 %, *K. pneumoniae* — 46 %, *S. aureus* — 44 %, *P. aeruginosa* — 40 % от зоны полного подавления роста.

Антисептик «Витасепт-СКО» привел к задержке роста *A. baumannii* на 72 %, *K. pneumoniae* — на 75,2 %, *S. aureus* — на 95,2 %, *P. aeruginosa* — на 83,2 % от зоны полного подавления видимого роста. Задержка роста антисептиком «Витасепт-СКЗ» у *A. baumannii* отмечалась в зоне размером 54 %, *K. pneumoniae* — 65,6 %, *S. aureus* — 64 %, *P. aeruginosa* — 63,6 % от полного подавления роста. Зона задержки роста антисептиком «Витасепт-СКИ» составила у *A. baumannii* 64,8 %, *K. pneumoniae* — 65,2 %, *S. aureus* — 76,4 % и *P. aeruginosa* — 62,4 % от зоны полного подавления видимого роста.

Полученные результаты свидетельствуют, что выделенные от пациентов отделения анестезиологии и реанимации штаммы *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* чувствительны к электрохимически активированному дезинфицирующему средству «Анолит нейтральный» с содержанием активного хлора 199 мг/м³. Из указанных микроорганизмов более чувствительным к дезинфектанту является *A. baumannii*, менее чувствительны *P. aeruginosa* и *K. pneumoniae*, *S. aureus* занимает промежуточное положение. Повышение содержания активного хлора в анолите до 270 мг/м³ снижает резистентность изученных возбудителей. На высокую активность АН в отношении стандартных тест-культур микробов указывали в своих исследованиях и другие авторы [6].

Спиртосодержащие антисептики «Витасепт-СКЗ», «Витасепт-СКИ» и «Витасепт-СКО» в исследуемых концентрациях обладают высокой биоцидной активностью в отношении выделенных штаммов бактерий. Наиболее эффективным из них является «Витасепт-СКО», обусловивший задержку роста *A. baumannii* на 72 %, *K. pneumoniae* — на 75,2 %, *S. aureus* — на 95,2 %, *P. aeruginosa* — на 83,2 % от зоны полного подавления видимого роста. О высокой эффективности разработанных нами антисептиков «Витасепт» свидетельствуют также другие результаты [7, 12].

Результаты исследования микробиологической эффективности аэрозольной обработки воздуха показали, что в вытяжном шкафу после диспергирования взвеси *S. aureus* его содержание в воздухе составило $183,3 \pm 31$ КОЕ/м³. Спустя 10 минут после аэрозольной обработки воздуха АН содержание микроорганизмов было достоверно снижено на 18,2 %, через 20 минут — на 35,5 % и через 30 минут — на 64,6 % по сравнению с исходным значением. На приоритетность хлорсодержащих дезсредств при проведении дезинфекции также указывает ВОЗ [13].

Заключение. Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что в отделении анестезиологии и реанимации УЗ «Витебская областная клиническая инфекционная больница» в биоматериале пациентов из выделенных 14 микроорганизмов наиболее часто встречались клинические штаммы *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*. Наибольшее количество выделенной микрофлоры из биоматериала приходилось на *S. aureus* (23,5 %) и *K. pneumoniae* (20 %).

В целом 42,5 % положительных результатов было отмечено при бактериологическом исследовании кала и промывных вод, 41 % — мокроты и слизи из зева. При микробиологическом исследовании крови, мочи, мокроты, слизи из зева, кала, промывных вод желудка, спинномозговой жидкости в 53 % случаев было выделено по одному микроорганизму. У 24 % пациентов микроорганизмы были выделены из разных биологических жидкостей. Ассоциации микроорганизмов чаще обнаруживались в мокроте и моче.

В структуре заболеваемости пациентов преобладали кишечные инфекции и пневмонии. Продолжительность госпитализации пациентов составила в среднем 7 дней. У пациентов с микстинфекциями отмечалась тенденция увеличения длительности нахождения в отделении и продолжительности лечения антибиотиками по сравнению с моноинфекцией.

Инновационное электрохимически активированное хлорсодержащее дезинфицирующее средство «Анолит нейтральный» обладает высокой активностью в отношении выделенных от пациентов отделения анестезиологии и реанимации клинических штаммов *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*.

Спиртосодержащие средства «Витасепт» являются эффективными антисептиками по отношению к изученным штаммам микроорганизмов. Более высокая биоцидная активность, в среднем на уровне 81,4 %, отмечена у «Витасепт-СКО».

Аэрозольная дезинфекция анолитом нейтральным загрязненного биоаэрозоля *S. aureus* воздуха приводит к достоверному снижению содержания микроорганизмов спустя 30 минут на 64,6 % по сравнению с исходным значением.

Целесообразно изучение эффективности разработанных нами дезинфектантов и антисептиков для профилактики инфекционных заболеваний, в том числе связанных с оказанием медицинской помощи, и проведения профилактической дезинфекции и антисептики в инфекционном стационаре.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В биоматериале пациентов отделения анестезиологии и реанимации УЗ «Витебская областная клиническая инфекционная больница» наиболее часто, в 55,2 % случаев, были выделены клинические штаммы *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, в том числе *S. aureus* и *K. pneumoniae* в 23,5 % и 20 % случаев соответственно.

2. Клинические штаммы *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa* и *A. baumannii* чувствительны к хлорсодержащим электрохимически активированным дезинфектантам и спиртосодержащим антисептикам.

3. Инновационные антисептики «Витасепт» и дезинфектант «Анолит нейтральный» можно рекомендовать для изучения и проведения профилактической дезинфекции и антисептики в условиях инфекционного стационара.

Литература

1. Внешняя среда хирургической клиники и внутрибольничные инфекции (состояние вопроса) / Н. И. Габриэлян [и др.] // Медицинский алфавит. — 2015. — Т. 1, № 6. — С. 7–12.
2. Миклис, Н. И. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи: классификация, этиология, эпидемиологические особенности, структура (обзор литературы) / Н. И. Миклис, В. М. Семенов, А. А. Оладько // Клиническая инфектология и паразитология. — 2018. — Т. 7, № 2. — С. 193–204.
3. Эшматов, А. Р. Методика контроля внутрибольничной инфекции [Электронный ресурс] / А. Р. Эшматов // Universum: медицина и фармакология. — 2016. — № 9 (31). — Режим доступа: <https://7universum.com/ru/med/archive/item/3623>. — Дата доступа: 07.09.2021.
4. Миклис, Н. И. Анализ микрофлоры пациентов отделения реанимации инфекционной больницы г. Витебска / Н. И. Миклис, Е. Л. Небосько // Студенческая медицинская наука XXI века: материалы XVIII междунар. конф. студентов и молодых ученых, Витебск, Беларусь, 14–15 ноября 2018 г. — Витебск: ВГМУ, 2018. — С. 572–575.
5. Практическое руководство по применению средств дезинфекции и стерилизации в лечебно-профилактических учреждениях / А. В. Авчинников [и др.]. — 5-е изд., испр. и доп. — Смоленск: СГМА, 2005. — 250 с.

6. Гигиеническая оценка дезинфицирующего средства «Анолит нейтральный» / И. И. Бурак [и др.] // Вестн. Витеб. гос. мед. ун-та. — 2014. — Т. 13, № 5. — С. 105–112.

7. Адаменко, Г. В. Гигиеническая оценка комбинированных спиртосодержащих антисептиков / Г. В. Адаменко, И. И. Бурак, Н. И. Миклис // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик. — Минск, 2014. — Вып. 24. — С. 151–154.

8. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам: метод. указ. № 4.2.1890–04 / Н. А. Семина [и др.]. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России 2004. — 53 с.

9. Методы микробиологического контроля санитарно-гигиенического состояния помещений в организациях здравоохранения и стерильности изделий медицинского назначения: инструкция 4.2.10–22–1–2006: утв. постановлением Гл. гос. санитар. врача Респ. Беларусь 28 янв. 2006 г. № 7. — Минск, 2006. — 19 с.

10. Инфекции в ОРИТ России: результаты национального многоцентрового исследования / В. А. Руднов [и др.] // Клин. микроб. и антимикроб. химиотерапия. — 2011. — № 13 (4). — С. 294–304.

11. International Study of the Prevalence and Outcomes of Infection in Intensive Care Units [Electronic resource] / J.-L. Vincent [et al.] // JAMA. — 2009. — № 302 (21). — P. 2323–2329. — Mode of access: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/184963/>. — Date of access: 18.09.2021.

12. Новый подход к предотвращению экзогенного инфицирования ран / А. В. Фролова [и др.] // Вестник Витебского государственного медицинского университета. — 2014. — Т. 13, № 3. — С. 59–67.

13. Уборка и дезинфекция помещений и поверхностей в контексте COVID-19: временные рекомендации 15 мая 2020 г. [Электронный ресурс] / ВОЗ. — Режим доступа: <https://www.euro.who.int/ru/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/publications-and-technical-guidance/infection-prevention-and-control/cleaning-and-disinfection-of-environmental-surfaces-in-the-context-of-covid-19-interim-guidance,-15-may-2020>. — Дата доступа: 22.10.2021.

Miklis N. I., Semenov V. M.

MICROBIOLOGICAL EFFICIENCY OF INNOVATIVE DISINFECTANTS AND ANTISEPTICS IN INFECTIOUS HOSPITAL

*Educational institution «Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University»,
Vitebsk, Belarus*

S. aureus, *K. pneumoniae*, *S. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii* were most often isolated from biomaterials in patients of the department of anesthesiology and intensive care of the regional clinical infectious diseases hospital. Bacteriological examination of feces and washings showed positive results in 42.5 %, sputum and mucus from the pharynx — in 41 % of cases. In the biomaterial in 53 % of cases, one microorganism was found. Only 41.5 % of the studied biomaterial samples were of interest for the further tactics of patient management. In the structure of patients' diseases, the priority was given to intestinal infections and pneumonia.

Disinfectant «Anolyte neutral» and antiseptics «Vitasept» are highly active against the studied clinical strains of microorganisms.

Aerosol disinfection with neutral anolyte of the air contaminated with bioaerosol of *S. aureus* leads to a significant decrease in the number of microorganisms after 30 minutes by 64.6 % compared to the initial value.

Innovative medicaments «Vitasept» and «Anolyte neutral» can be recommended for studying and carrying out of preventive disinfection and antiseptics in an infectious hospital.

Keywords: biomaterial microflora, nosocomial isolates, etiology, health care associated infections, preventive disinfection and antiseptics, neutral anolyte, «Vitasept».

References

1. Gabrielyan N. I., Gorskaya E. M., Romanova N. I., Saitgareev R. Sh. External environment of surgical clinic and nosocomial infections // *Meditinskiy alfavit [Medical alphabet]*. — 2015; 1(6): 7–12. (in Russian)

2. Miklis N. I., Semenov V. M., Oladko A. A. Healthcare associated infections: classification, etiology, epidemiological features, structure (the literature review) // *Klinicheskaa mikrobiologiya i antimikrobnaya*

himioterapia [Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy]. — 2018. — Vol. 7(2). — P. 193–204. (in Russian)

3. *Eshmatov A. R.* Control procedure of the hospital-acquired infection [Electronic resource] // *Universum: meditsina i farmakologiya.* — 2016. — Vol. 9 (31) [Electronic resource]. — Mode of access: <https://7universum.com/ru/med/archive/item/3623>. — Date of access: 07.09.2021. (in Russian)

4. *Miklis N. I., Nebosko E. L.* Analysis of the microflora of patients of the intensive care unit of the infectious diseases hospital in Vitebsk // *Student medical science of the XXI century: Proceeding of the XVIII international conference of students and young scientists, 2018, Nov. 14–15; Vitebsk; Belarus.* — Vitebsk: VGMU, 2018. — P. 572–575. (in Russian)

5. *Avchinnikov A. V., Krutilin V. E., Mokrousov I. V.* et al. Practical guide to disinfection and sterilization in treatment and prevention facilities. 5th ed. — Smolensk: Smolensk state medical university, 2005. (in Russian)

6. *Burak I. I., Miklis N. I., Shiryakova T. A.* et al. Hygienic estimation of disinfectant solution «Neutral anolyte» // *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta [Vestnik of Vitebsk state medical university].* — 2014. — Vol. 13 (5). — P. 105–112. (in Russian)

7. *Adamenko G. V., Burak I. I., Miklis N. I.* Hygienic estimation of combined alcohol-containing antiseptics. In: *Sychik S. I., chief ed. // Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Health and environment]: Collection of scientific papers of the Scientific Practical Centre of Hygiene. Iss. 24.* — Minsk, 2014. — P. 151–154. (in Russian)

8. *Semina O. N., Sidorenko S. V., Rezvan S. P.* et al. Determination of the sensitivity of microorganisms to antibacterial drugs: guidelines No. 4.2.1890–04. — Moscow: Russian Federation, 2004. (in Russian)

9. Methods of microbiological control of the sanitary and hygienic condition of premises in health care organizations and the sterility of medical products: instruction 4.2.10–22–1–2006. — Minsk, 2006. (in Russian)

10. *Rudnov V. A., Belskiy D. V., Dechnich A. V., RIORITA Study Group.* Infections in Russian ICUs: Results of the Nationwide Multicenter Study // *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya himioterapia [Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy].* — 2011. — Vol. 13 (4). — P. 294–304. (in Russian)

11. *Vincent J.-L., Rello J., Marshall J.* et al. International Study of the Prevalence and Outcomes of Infection in Intensive Care Units // *JAMA.* — 2009. — Vol. 302 (21). — P. 2323–2329.

12. *Frolova A. V., Kosinets A. N., Burak I. I., Denisenko V. L.* New approach to the prevention of exogenous wound infecting // *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta [Vestnik of Vitebsk state medical university].* — 2014. — Vol. 13 (3). — P. 59–67. (in Russian)

13. WHO. Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19 [Electronic resource]: Interim guidance; 15 May 2020 [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.euro.who.int/ru/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/publications-and-technical-guidance/infection-prevention-and-control/cleaning-and-disinfection-of-environmental-surfaces-in-the-context-of-covid-19-interim-guidance,-15-may-2020>. — Date of access: 22.10.2021.

Поступила 11.11.2021

УДК [613/614+615.9]:001.89(476)

Сычик С. И., Дроздова Е. В., Федоренко Е. В., Итнаева-Людчик С. Л., Ивко Н. А.

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ»:
ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 2020 ГОДА, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье представлены основные результаты научной, научно-технической, инновационной, образовательной деятельности республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» за 2020 г., работы по подготовке кадров, изобретательской, рационализаторской и международной деятельности, а также основные перспективные направления научных исследований.

Ключевые слова: республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены», гигиена, токсикология, профилактическая медицина.

Введение. Деятельность республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» (далее — Центр) как ведущей в республике научной медицинской организации в области гигиены, медицинской экологии и профилактической токсикологии формируется на основе приоритетов, обозначенных в национальных и международных стратегических документах, в частности, в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года; Стратегии «Наука и технологии: 2018–2040», принятой на II Съезде ученых Республики Беларусь в декабре 2017 г.; Стратегии научно-технического и инновационного развития здравоохранения Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г.; определяется приоритетными направлениями научно-технической деятельности в Республике Беларусь, утвержденными Указом Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166 «4. Медицина, фармацевция, медицинская техника» (поднаправление «гигиеническая оценка и нормирование факторов среды обитания, минимизация рисков для здоровья человека»).

Результаты и их обсуждение. В 2020 г. деятельность Центра традиционно была направлена на создание доказательной базы для научного обоснования государственных мер по созданию условий, обеспечивающих гигиеническую безопасность жизнедеятельности, профилактику ассоциированной с влиянием среды обитания человека заболеваемости, совершенствование нормативной базы для риск-ориентированного надзора и обоснования управленческих решений по устранению или минимизации ассоциированных с ними негативных воздействий на здоровье, развитие международного сотрудничества и др. Научные исследования были реализованы в 145 научно-исследовательских работах, в рамках которых изучалось влияние новых и малоизученных факторов среды обитания и технологий на здоровье человека в современных условиях проживания (светодиодные источники, мелкодисперсная пыль, вещества, обладающие повреждающим эндокринную систему действием, и т. д.), осуществлялась разработка высокоточных и высокочувствительных методов и моделей для изучения и оценки влияния факторов среды обитания на организм.

Центр является головной организацией-исполнителем отраслевой научно-технической программы ОНТП «Гигиеническая безопасность», по которой в 2020 г. выполнялись 36 научно-исследовательских работ. Специалисты Центра также участвовали в выполнении заданий государственных научно-технических программ («Промышленные био- и нанотехнологии — 2020», «Защита от чрезвычайных ситуаций — 2020»), Государственной программы развития фармацевтической промышленности РБ на 2016–2020 гг., государственных программ и государственных программ научных исследований, проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, работ, выполняемых для официального использования ЕЭК (международная организация «Евразийская экономическая комиссия») и др.

В 2020 г. продолжены научные исследования по следующим направлениям.

1. Совершенствование гигиенических критериев оценки воздействия факторов среды обитания человека на основании комплекса экспериментальных, натуральных и эпидемиологических исследований и анализа риска с целью профилактики неинфекционных заболеваний, а также обеспечения социально-гигиенического мониторинга:

— проведены исследования по научному обоснованию алгоритмов комплексной гигиенической оценки планировочных мероприятий для защиты территорий от химического загрязнения и прогнозирования состояния здоровья населения, проживающего на административных территориях, с учетом интегрального социально-гигиенического индекса; научно обоснован алгоритм санитарно-гигиенической оценки проектных решений по установлению (корректировке) границ санитарно-защитных зон объектов;

— разработаны метод оценки риска здоровью, ассоциированного с остаточным содержанием антибиотиков в пищевой продукции, метод оценки риска здоровью населения, ассоциированного с комплексным поступлением эндокринных разрушителей (парабенов) в организм, обоснованы методологические подходы к гигиенической оценке летучих химических веществ в питьевой воде с учетом множественности путей поступления;

— разработаны метод отбора образцов ненормированной промышленной пыли для лабораторных исследований и критерии оценки ее потенциальной аллергенной опасности для этиологической диагностики у работника предполагаемой профессиональной аллергопатологии;

— продолжены научные исследования по изучению заболеваемости населения по группам болезней чувствительных к электромагнитным полям тока промышленной частоты 50 Гц систем организма.

2. Разработка методов и тест-моделей для выявления направленности, количественной оценки, экспериментального моделирования биологического действия факторов среды обитания человека различной природы, в том числе с использованием биомаркеров воздействия и эффекта, обеспечивающих их гигиеническое регламентирование и лабораторный контроль:

— проведены разработка модели реконструированного эпидермиса для тестирования раздражающего действия *in vitro* парфюмерно-косметической продукции в 3D-культуре реконструированного эпидермиса кожи, новых *in silico*, *in vitro*, *in vivo* методик исследования химических веществ с предполагаемым гормоноподобным действием, оценка эффективности применения клеточных тест-моделей на основе первичных культур различного происхождения для оценки канцерогенной активности химических соединений;

— проведена оценка генотипических и фенотипических параметров микробиоты объектов среды обитания, обоснованы прогностические биомаркеры как инструменты оценки патогенного потенциала с учетом антропогенной нагрузки на микробиоту;

— разработаны и внедрены новые метрологически аттестованные методики измерения концентраций загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны (далее — ВРЗ), воде, пищевых продуктах и непродовольственных товарах.

3. Разработка и внедрение комплекса мероприятий по профилактике негативного воздействия факторов высокого риска формирования профессиональной и производственно обусловленной патологии:

— изучено влияние световой среды помещений, формируемой искусственными источниками света с разным спектральным составом, на психофизиологическое состояние человека и физиологические реакции лабораторных животных с целью разработки гигиенических показателей безопасности спектрального состава световой среды для работающих;

— изучено влияние интермиттирующего микроклимата на состояние здоровья работающих;

— изучены условия труда отдельных категорий медицинских работников для разработки режимов и условий использования изделий медицинского назначения для защиты органов дыхания;

— внедрена в практику гармонизированная с международными подходами методология гигиенической оценки загрязнения ВРЗ аэрозолями природных и искусственных минеральных волокон;

— изучено влияние постоянного магнитного поля на функциональное состояние нервной и сердечно-сосудистой систем медицинского персонала, работающего в кабинетах магнитно-резонансной томографии.

4. Научное обоснование и разработка здоровьесберегающих мер по оптимизации среды обитания, в том числе образовательной и жилой среды:

— разработан алгоритм лабораторного контроля и изучено содержание приоритетных аллергенов в отдельных видах специализированной пищевой продукции и технологическом окружении предприятий по ее производству, определены основные ингредиенты и пищевые вещества, избыточное или недостаточное потребление которых формирует риск неинфекционных заболеваний; разработаны рекомендуемые среднесуточные наборы пищевых продуктов с учетом их состава, пищевой ценности, потенциального влияния на здоровье для различных возрастных групп населения;

— изучены гигиенические параметры факторов спелеосреды подземных отделений спелеостационара и регенеративные процессы восстановления спелеосреды при различных режимах эксплуатации;

— дана гигиеническая оценка оборудования учебных кабинетов учреждений общего среднего образования ученической мебелью, изучены антропометрические показатели учащихся начальной школы, проведена оценка распространенности соответствия функциональных размеров ученической мебели росту-возрастным характеристикам учащихся начальных классов; внедрены современные технологии анализа рисков здоровью детей с обоснованием профилактических мероприятий.

5. Разработка методов и критериев оценки радиационной защиты персонала и населения при использовании источников ионизирующего излучения и объектов атомной энергии:

— научно обоснованы критерии выписки пациентов, прошедших терапевтические радиологические процедуры с использованием открытых источников ионизирующего излучения, разрабатываются методы определения радиологического риска здоровью персонала и населения для использования в режиме оптимизации радиационной защиты при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС, методические основы планирования и проведения аварийного радиационного мониторинга продуктов питания, питьевой воды и мест обитания населения в первый период после аварии для 100-километровой зоны Белорусской, Ровенской и Смоленской АЭС;

- проведен радиационно-гигиенический мониторинг в населенных пунктах в зоне наблюдения БелаЭС;
- разрабатывается метод оценки доз облучения для участников пожаротушения и населения в результате ингаляционного поступления радионуклидов при чрезвычайных ситуациях (лесных пожарах) на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения;
- выполняются исследования по оценке доз облучения населения от радона в воздухе жилых помещений.

6. Развитие актуальных направлений профилактической, экологической и промышленной токсикологии и химической безопасности:

- проведено экспериментальное изучение токсических, генотоксических (цитотоксических), аллергенных и иммунотоксических свойств, закономерностей и механизмов вредного влияния на организм новых и применяемых химических и биологических веществ, материалов и продуктов в зависимости от их структуры, дозы, канцерогенных свойств, экспозиции, путей поступления, метаболизма и биодоступности; обоснована ПДК в ВРЗ пыли сухих молочных продуктов, содержащих СБМ;
- изучены биологические особенности действия наноразмерных объектов и структур металлов и их соединений на примере нанокompозита «пектин-Ag» и коллоидного раствора наночастиц железа;
- разработан метод оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ, выделяющихся в воздух помещений из полимерных и полимерсодержащих строительных материалов;
- проведена сравнительная токсикологическая оценка эндокринных разрушителей, широко используемых в промышленности (бисфенолов);
- проведены исследования с целью разработки и научного обоснования гигиенических нормативов амброксола гидрохлорида, амплодипина бесилата, лизиноприла дигидрата, азитромицина в ВРЗ;
- изучены медико-биологические свойства клатратов циклодекстринов с биологически активными веществами, разработаны мультикомпонентные композиты для нутрицевтивной поддержки медицинской помощи и специализированных пищевых продуктов;
- проведена оценка генотипических и фенотипических параметров микробиоты объектов среды обитания, обоснованы прогностические биомаркеры как инструменты патогенного потенциала с учетом антропогенной нагрузки, что обеспечит на основе количественного определения биомаркеров потенциала патогенности основу для конструктивного интегрирования данных omics в концепцию микробиологического риска в пищевых и водных матрицах.

В контексте реагирования на пандемию COVID-19 Центром сформировано новое актуальное научное направление «научное обоснование режимов и условий эксплуатации, гигиенических показателей безопасности и эффективности изделий медицинского назначения для защиты органов дыхания» и в рамках ОНТП «Гигиеническая безопасность» реализуется пул проектов, направленных в комплексе на научное сопровождение гигиенического аспекта биобезопасности в учреждениях здравоохранения в условиях массового распространения инфекций с воздушным путем передачи. В рамках задания «Разработать и внедрить научно обоснованные гигиенические требования к изделиям медицинского назначения для защиты органов дыхания, используемым в организациях здравоохранения» на основании исследования условий труда определены уровни энерготрат различных категорий медицинских работников с группировкой профессиональных когорт; проведено анкетирование медицинских работников для субъективной оценки условий эксплуатации изделий медицинского назначения для защиты органов дыхания. По результатам НИР планируется обоснование показателей безопасности для СИЗ органов дыхания (масок медицинских) и метода анализа рисков здоровью медицинских работников при использовании СИЗ органов дыхания. Проведены поисковые исследования по оценке эффективности новых технологий и режимов дезинфекции (обеззараживания) СИЗ органов дыхания, в частности, по оценке эффективности дезинфекции СИЗ органов дыхания, применяемых в организациях здравоохранения, одноразового использования из различных материалов, сочетающей орошение дезинфектантами с последующей УФ-обработкой. Продемонстрировано снижение микробной нагрузки на изделиях при сочетанной обработке. В рамках задания «Разработать метод дезинфекции средств индивидуальной защиты на основе генерирования аэрозолей кислородоактивных соединений и воздействия физических факторов» проводятся исследования по изучению механизмов и закономерностей сочетанного воздействия факторов химической и физической природы в отношении микроорганизмов различной таксономической

принадлежности, являющихся контаминантами СИЗ. Это позволит выявить и количественно изучить синергические / аддитивные эффекты дезинфицирующих средств на основе кислородоактивных соединений, дополненных последующими циклами дезинфекции с использованием физических факторов, в том числе УФ-дезинфекции и обработки плазменными средами с различными технологическими параметрами.

В целях реализации пункта 9.2 Плана мероприятий, направленных на поэтапное снижение использования полимерной упаковки с ее замещением на экологически безопасную упаковку, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 13 января 2020 г. № 7, в Центре проводятся исследования, направленные в том числе на изучение уровней миграции химических веществ из биоразлагаемой упаковки с учетом области ее применения, определение приоритетных контролируемых показателей, оценку риска. По результатам НИР будет разработана инструкция по применению, содержащая метод гигиенической оценки упаковки и материалов, контактирующих с пищевой продукцией, включая биоразлагаемые, и методика выполнения измерений концентраций токсичных элементов в модельных средах, имитирующих пищевую продукцию, контактирующую с упаковкой, в том числе биоразлагаемой.

Для обеспечения научно-методического сопровождения достижения Целей в области устойчивого развития Республики Беларусь в рамках НИР «Разработать метод оценки воздействия на здоровье населения твердых частиц дисперсностью 10 и 2,5 микрон по критериям риска формирования дополнительных случаев заболеваемости и смертности населения» (ОНТП «Гигиеническая безопасность») разработаны «Метод ранжирования территории населенных пунктов по критериям риска формирования дополнительных случаев заболеваемости и смертности населения», утвержденный директором Центра 16.06.2020, и Инструкция по применению «Метод оценки риска здоровью населения, обусловленного воздействием мелкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе населенных пунктов», регистрационный № 001–1120. Разработанные критерии, методы оценки воздействия и определения вклада мелкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе населенных пунктов на формирование дополнительных случаев заболеваемости и смертности населения были апробированы на примере отдельных территорий населенных пунктов в контрастных функциональных зонах: в зоне влияния выбросов мобильных источников, зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий и «условно чистой» зоне.

Представляют практический интерес три НИР, выполнявшихся для официального использования Евразийской экономической комиссией и направленных на разработку методик определения веществ в модельных средах для осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования требованиям технических регламентов ТС / ЕАЭС (в частности, для бензапирена, е-капролактама, хлорбензола в водных и воздушной средах). Разработана метрологически аттестованная методика выполнения измерений МВИ. МН 6309–2020 «Массовая концентрация хлорбензола, выделяемого из изделий из поликарбоната, в водных и воздушной средах. Методика выполнения измерений методом газовой хроматографии».

В части радиационной безопасности выполнены задания в рамках Программы проведения радиационно-гигиенического мониторинга на период строительства БелАЭС и Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Получены материалы ретроспективного анализа радиационно-гигиенической ситуации в зоне наблюдения Белорусской АЭС при ее сооружении (до пуска в эксплуатацию), оценены условия проживания населения, в том числе потребление продуктов питания и особенности заболеваемости, и «фоновые» уровни загрязнения радионуклидами пищевых продуктов и питьевой воды в зоне наблюдения Белорусской АЭС, даны рекомендации по продолжению наблюдений в рамках радиационно-гигиенического мониторинга в доэксплуатационный период в зоне наблюдения Белорусской АЭС; оценен количественный, изотопный и дисперсный состав радиоактивных аэрозолей на горельниках с использованием данных радиоактивного загрязнения территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и в зоне действия пожарных подразделений по результатам натурального эксперимента.

Результаты научных исследований явились основой для совершенствования нормативно-правовой и инструктивно-методической базы в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. В 2020 г. специалистами Центра разработаны и утверждены 3 инструкции по применению, 11 методик, в том числе 8 методик выполнения измерений, 42 технических нормативных правовых акта, в том числе 3 специфических санитарно-эпидемиологических требования

(далее — СЭТ), 1 изменение в СЭТ, 38 стандартных операционных процедур; введено в действие 4 технических нормативных правовых акта, в том числе 3 СЭТ, 1 дополнение в СЭТ.

На этапе продвижения продукции обеспечиваются ознакомление широкого круга научной общественности с полученными результатами и их обсуждение. Результаты научных исследований были представлены сотрудниками Центра на международных и республиканских конференциях, симпозиумах, съездах, семинарах, учебных курсах и тренингах: сделано 666 докладов, в том числе 261 доклад — на международных мероприятиях за рубежом и в Республике Беларусь. В 2020 г. научные достижения Центра были представлены на трех выставках в Республике Беларусь. Приглашение к участию в научно-практических и образовательных мероприятиях специалистов практической службы, преподавателей, курсантов и студентов образовательных учреждений, заинтересованных производителей различных товаров и продукции полезно для повышения их профессиональной квалификации, с одной стороны, и для практико-ориентированного эффективного внедрения результатов, с другой стороны.

В 2020 г. проводилось освоение 36 научно-технических разработок, в том числе 15 инструкций по применению, 15 методик выполнения измерений, 2 методов, 4 ТНПА, что подтверждено 98 актами о внедрении от учреждений государственного санитарного надзора различных уровней и учреждений образования.

Продолжены работы по направлению «Развитие правовой, нормативной и методической базы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, гармонизация гигиенических требований Таможенного союза, Евразийского экономического сообщества с международными нормативами по медицине труда и охране окружающей среды». В рамках реализации Декрета Президента Республики Беларусь от 23 ноября 2017 № 7 «О развитии предпринимательства» (далее — Декрет № 7) разработаны «Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации объектов агропромышленного комплекса и объектов промышленности, деятельность которых потенциально опасна для населения (глава 19 «Требования к объектам биотехнологической промышленности)», «Специфические санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда работающих», утвержденные соответственно постановлениями Совета Министров Республики Беларусь от 24.01.2020 № 42 и от 01.02.2020 № 66; разработано «Положение о порядке установления и применения граничных доз облучения и референтных уровней» (утверждено приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.08.2020 № 881). Во исполнение поручения Совета Министров Республики Беларусь от 18.09.2020 № 38/9666р в течение 2020 г. специалистами Центра проводилась работа по разработке проекта постановления Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении гигиенических нормативов», подготовленного в соответствии с Декретом № 7.

В области публикационной деятельности Центром проводится работа, направленная на повышение качества научных публикаций, увеличение опубликованности результатов научных исследований в зарубежных изданиях, в том числе в англоязычных, зарегистрированных в наукометрических базах, а также планомерное повышение индекса цитируемости Центра, широкое внедрение наукометрических показателей в оценку деятельности организации и сотрудников.

Интересными в этом контексте представляются рекомендации по улучшению публикационных показателей [1]: расширение международного сотрудничества, увеличивающего как долю международных публикаций, так и возможность публикаций отечественных авторов в рейтинговых международных журналах, его положительное влияние на цитируемость отечественных статей в зарубежных журналах.

За 2020 г. статьи сотрудников Центра были опубликованы в таких зарубежных журналах как *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *Journal of Environmental Radioactivity*, *Journal of Microbiology*, *Biotechnology and Food Sciences*. 71 публикация сотрудников Центра нашла отражение в 26 журналах Республики Беларусь, Российской Федерации, стран дальнего зарубежья, размещенных в базе данных Российского индекса научного цитирования, иных базах данных научной информации, содержащих библиометрические показатели. Общее количество научных публикаций составило 363, из них 3 монографии, 139 статей и 76 тезисов докладов, в том числе 80 — за рубежом, 52 — в изданиях Республики Беларусь, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь (далее — ВАК) для публикации результатов диссертационных исследований, 2 учебно-методических пособия и др. Издан 30-й выпуск сборника научных трудов «Здоровье и окружающая среда», рекомендованного ВАК для публикации результатов диссертационных исследований и включенного в РИНЦ, в который вошли научные материалы ученых Беларуси, Российской Федерации, Украины и Латвии.

Результаты научных исследований легли в основу 3 патентов Республики Беларусь и 6 положительных решений на выдачу патентов на изобретения, полученных в 2020 г., 6 заявок на выдачу патентов Республики Беларусь, поданных в Национальный центр интеллектуальной собственности, а также 24 рационализаторских предложений. Получено свидетельство на товарный знак «Международный образовательный центр «На Академической».

В Центре созданы благоприятные условия для повышения квалификации специалистов и мотивации сотрудников на профессиональный рост, имеется возможность прохождения курсов повышения квалификации, обучения в международных школах, на различных курсах, участия в научных, научно-практических мероприятиях различного уровня в республике и за рубежом, тематических семинарах, проводимых в Центре. Основные положения кадровой стратегии по созданию многоуровневой системы подготовки научных кадров обозначены в 2020 г. в проекте «Формирование научной среды на основе трансфера знаний и идей для устойчивого развития кадрового потенциала НППЦГ» («Научная среда — 2025»). На базовом уровне для впервые принятых на работу в Центр молодых работников формализован и реализуется институт наставничества с целью профессиональной поддержки и сопровождения адаптации в новых социальных, профессиональных и организационных условиях труда работника, а также программа стажировок в структурных подразделениях по профилю деятельности (до полугода). Для эффективного введения молодежи и малостажированных сотрудников в основные направления деятельности Центра, формирования ими системного видения Центра как ведущей в республике научной медицинской организации в области гигиены, медицинской экологии и профилактической токсикологии разработан вводный курс семинаров для молодых специалистов «НППЦГ: трансфер знаний для устойчивого развития», включающий 15 модулей: 6 базовых модулей (для всех сотрудников), 6 профильных (обязательных) модулей (для научных сотрудников и специалистов) и 3 профильных (факультативных) модуля (для научных сотрудников и специалистов). Для формирования навыков научной дискуссии и групповой работы молодежью прорабатывается концепция «Гигиенической академии» (Hygiene Academy), в рамках которой будут проводиться научные дискуссии по наиболее интересным направлениям профилактической медицины, находящимся на стыке различных наук, с привлечением авторитетных экспертов ведущих научных и практических организаций для междисциплинарного обсуждения.

Для подготовки кадров высшей научной квалификации в Центре функционируют аспирантура и докторантура по медицинской и биологической отраслям науки, специальностям 14.02.01 — гигиена, 14.03.04 — токсикология, а также Совет по защите диссертаций Д 03.01.01. В 2020 г. выполняли диссертационные исследования 17 аспирантов и 1 соискатель ученой степени доктора наук, проведена защита 1 диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук; Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь присуждена 1 степень кандидата наук.

Для специалистов биологического, химического профиля имеется возможность обучения в магистратуре учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета», аспирантуре Белорусского государственного университета.

Сотрудниками Центра в 2020 г. организовано и проведено 71 мероприятие различного уровня, в том числе международная научно-практическая конференция «Здоровье и окружающая среда», республиканский научно-практический семинар «Новые методы в практике государственного санитарного надзора», 21 обучающий семинар для сотрудников Центра, ряд мероприятий в рамках деятельности образовательного центра и др.

Пандемия COVID-19 внесла коррективы во многие аспекты деятельности Центра: так, большинство мероприятий было проведено в онлайн-режиме или гибридном формате и сопровождалось видеотрансляцией с синхронным переводом (при необходимости). Такая организация мероприятий позволила обеспечить расширение связей с зарубежными партнерами и поиск новых, привлечение высококвалифицированных спикеров из разных стран, значительно расширить аудиторию слушателей. Так, при помощи Инструмента технической помощи и обмена информацией Европейской комиссии (далее — TAIEH) организованы курс-тренинг по сбору данных о потреблении пищевых продуктов с использованием европейской методологии для стран «Восточного партнерства», Международный семинар по защите населения от шума.

Для обеспечения возможности проведения образовательных программ повышения квалификации руководящих работников и специалистов в заочной форме и получения соответствующего разрешения в 2020 г. внесены дополнения в специальное разрешение (лицензию) Министерства образования Республики Беларусь на право осуществления образовательной деятельности, разра-

ботана учебно-программная документация (учебный план, учебно-тематический план, учебная программа) образовательных программ повышения квалификации для заочной формы обучения.

В рамках деятельности образовательного центра с целью совершенствования системы подготовки специалистов в области гигиены, токсикологии, санитарной химии и профилактической медицины в 2020 г. реализованы три образовательные программы повышения квалификации для специалистов системы здравоохранения (всего прошли обучение 27 слушателей). Также Центром реализуются образовательные программы стажировки руководящих работников (специалистов), обучающихся курсов (тематические семинары, вебинары). В 2020 г. организовано и проведено 22 вебинара и 4 тематических семинара, 9 стажировок. Всего в 2020 г. в рамках образовательного центра прошло обучение 136 слушателей.

Квалификация специалистов Центра обуславливает их широкое привлечение в качестве экспертов на уровне Министерства здравоохранения и в различных межведомственных комиссиях и рабочих группах по актуальным вопросам профилактической медицины. Специалисты Центра являются членами рабочих групп по разработке технических регламентов ЕАЭС / Таможенного союза и внесению изменений в них, членами международной рабочей группы по системе обмена информацией по обращению с радиоактивными отходами реакторов ВВЭР, по гармонизации нормативной правовой и нормативно-технической базы государств — участников СНГ в области мирного использования атомной энергии и др.

Специалистами Центра в 2020 г. подготовлены 911 научных аналитических докладов и записок по вопросам развития народного хозяйства Республики Беларусь, представленных в Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 1 391 инструктивно-методическое и информационное письмо. Проведено рецензирование более 700 проектов нормативных документов (инструкций по применению, СанНиП, межотраслевых, отраслевых правил, ТР ЕАЭС, Технических кодексов установившейся практики, межгосударственных, государственных и национальных стандартов, проектов санитарно-защитных зон и др.), авторефератов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук, научных статей, отчетов о НИР, проектов НИР, учебных программ и др.

В рамках работы по достижению Целей устойчивого развития, а также с целью повышения информированности населения и популяризации здорового образа жизни в 2020 г. сотрудниками Центра опубликовано 22 статьи в периодической печати и интернет-изданиях, в том числе в газетах «Медицинский вестник», «Республика», «СБ. Беларусь сегодня», «Народная газета», журнале «Хозяин», на интернет-портале «Здоровые люди», на официальных сайтах Центра; проведено 20 лекций, 57 бесед, 4 выступления на телевидении.

В рамках международного научно-технического сотрудничества в 2020 г. проводилась работа по реализации 28 договоров о научно-техническом сотрудничестве с ведущими научно-исследовательскими институтами Российской Федерации, Украины, Литвы, Латвии, Казахстана, Узбекистана, Грузии, Армении, Молдовы, Сербии, Албании, Северной Македонии и др. Перезаключены три договора о научно-техническом сотрудничестве с ведущими учреждениями Российской Федерации: федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Северный государственный медицинский университет», ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. Н. Ф. Измерова» Российской академии медицинских наук, ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

Реализовывались 6 международных проектов, в том числе 3 — по вопросам химической безопасности (проект ВОЗ «Создание национальных систем для рационального регулирования химических веществ в отдельных странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии»; проект Специальной программы ЮНЕП «Создать устойчивую национальную инфраструктуру для обеспечения реализации Роттердамской Конвенции в Республике Беларусь», который был выбран лучшим из 42 текущих проектов, финансируемых Специальной программой ЮНЕП; проект «Страновой подход Республики Беларусь к развитию перспективного законодательства по ограничению свинца в лакокрасочных материалах» — проектный компонент Стратегического подхода к международному регулированию химических веществ Глобального экологического фонда, Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде).

Специалистами Центра при поддержке Всемирной организации здравоохранения, Центра по контролю и профилактике заболеваемости (CDC) реализован новый раунд Глобального обследования употребления табака среди детей и молодежи (GYTS 2020), что позволит провести сравнительную оценку потребления табака среди подростков 13–15 лет за период 2004–2020 гг.

Реализованы международные проекты в области радиационной безопасности (проект международной технической помощи МАГАТЭ ВУЕ9/023 «Совершенствование компетенций регулирующего органа и системы его технической поддержки на этапе ввода в эксплуатацию и эксплуатации Белорусской АЭС»), безопасности пищевой продукции (проект международной технической помощи ФАО ТСР/ВУЕ/3702 «Укрепление официальной системы контроля безопасности пищевой продукции и содействие расширению доступа к рынку пищевых продуктов»).

В течение 2020 г. Центром получены гранты Инструмента технической помощи и обмена информацией Европейской комиссии (ТАИЕХ) на проведение курса-тренинга по сбору данных о потреблении пищевых продуктов с использованием европейской методологии для стран «Восточного партнерства» East-ENP Workshop on «International Collaboration and Resources for Promoting Food Safety Risk Assessment in ENP countries», а также серии мероприятий (5) по вопросам укрепления потенциала для эффективного внедрения европейского и международного подходов в области окружающей среды и здоровья «Strengthening Capacities for Effective Implementation of the European and International Approaches in the Field of Environment and Health». Реализованы два гранта COST Action CA18105 Risk-based meat inspection and integrated meat safety assurance (безопасность пищевой продукции) и COST Action CA18218 European Burden of Disease Network (вопросы профилактики).

В 2020 г. Центром обеспечено сопровождение участия республики в ряде международных процессов, в том числе в рамках ЕЭК ООН/ВОЗ-Евро Протокола по проблемам воды и здоровья (сопровождение Председательства Республики Беларусь по Протоколу в 2020–2022 гг. и со-председательства по программной области 2 «Предупреждение и снижение водно-обусловленной заболеваемости» программы работы по Протоколу); членства Центра в Сети ВОЗ по оценке рисков химических веществ и Глобальной сети ВОЗ по химическим веществам и здоровью; участие в заседании Комитета МАГАТЭ по нормам аварийной готовности и реагирования; работа в рамках Контактного центра Комиссии Кодекс Алиментариус и др.

С учетом сложившейся эпидемиологической обстановки в 2020 г. Центром во исполнение поручений Правительства по организации производства в Республике Беларусь масок медицинских и респираторов фильтрующих, с учетом реализуемого комплекса мер, направленных на предупреждение распространения коронавирусной инфекции, а также в связи с введением в действие в качестве государственного стандарта ГОСТ Р 58396–2019 «Маски медицинские. Требования и методы испытаний» и учитывая отсутствие в Республике Беларусь лабораторий, имеющих возможность проведения испытаний, было приобретено и освоено уникальное оборудование, позволяющее определять бактериальную фильтрацию, воздухопроницаемость и брызгоустойчивость изделий медицинского назначения. Расширена область аккредитации по показателям «микробиологическая чистота (бионагрузка)», «биосовместимость», «дифференциальное давление (воздухопроницаемость)», «эффективность бактериальной фильтрации» в соответствии с ГОСТ Р 58396–2019. По поручению Министерства здравоохранения Республики Беларусь Центром налажена оперативная работа с ГУ «Республиканский центр организации медицинского реагирования» по проведению испытаний поступающих в качестве иностранной безвозмездной помощи изделий медицинского назначения, прибывших из стран ближнего и дальнего зарубежья, а также международных организаций, на безвозмездной основе. Установлено тесное взаимодействие, осуществляется оперативное консультирование заинтересованных, в том числе специалистов отдела промышленности Государственного военно-промышленного комитета Республики Беларусь, а также ОАО «Светлогорск Химволокно», НАН Беларуси по вопросам проведения испытаний масок медицинских, фильтрующих материалов, в том числе инновационных.

Научное обеспечение испытания изделий медицинского назначения, в том числе масок медицинских, проводится в рамках деятельности отраслевой токсикологической лаборатории. По поручениям Совета Министров Республики Беларусь, Министерства здравоохранения и по заявкам субъектов хозяйствования проводятся поисковые исследования по оценке эффективности новых технологий, устройств и режимов дезинфекции (обеззараживания). Создана профильная лаборатория прикладной токсикологии и безопасности изделий медицинского назначения, одна из задач которой — координация научного обеспечения и всесторонних испытаний безопасности, эффективности изделий медицинского назначения и материалов, применяемых для их изготовления.

В рамках деятельности образовательного центра «МОЦНА» для освещения актуальных национальных и международных подходов в части требований к маскам медицинским разработана и реализуется учебная программа обучающихся курсов «Средства индивидуальной защиты органов дыхания, используемые в организациях здравоохранения: классификация, требования безопасности,

методы испытаний», а также учебная программа повышения квалификации «Оценка безопасности медицинских изделий в соответствии с требованиями Евразийского экономического союза».

Для комплексного и системного повышения осведомленности белорусских специалистов о действующих международных требованиях к используемым в учреждениях здравоохранения СИЗ органов дыхания (регулирование, испытания, процедуры доступа на рынок) Центром подано проектное предложение на получение технической помощи TAIEХ для проведения семинара на тему «Международные подходы к регулированию СИЗ органов дыхания, используемых в учреждениях здравоохранения: требования и испытания».

Для снижения рисков распространения COVID-19 и сохранения здоровья работников организаций республики, обеспечения безопасности предоставления услуг населению в условиях пандемии специалистами Центра совместно с ГУ «РЦГЭиОЗ» и БелМАПО разработаны «Методические рекомендации по профилактике коронавирусной инфекции (COVID-19) в организациях» [2].

С целью оценки распространенности поведенческих факторов риска инфицирования COVID-19 среди населения Республики Беларусь специалистами Центра разработана анкета, охватывающая основные поведенческие факторы риска инфицирования COVID-19, связанные с соблюдением рекомендаций по физическому и социальному дистанцированию, использованием средств индивидуальной защиты, соблюдением правил личной гигиены; на официальном сайте Центра проведен онлайн-опрос 7 590 респондентов. Полученные результаты, опубликованные в журнале «Анализ риска здоровью», могут быть использованы для проведения информационных кампаний по профилактике COVID-19, а также стать основой для осуществления более углубленных исследований по оценке вклада различных поведенческих факторов в формирование уровня риска инфицирования COVID-19 [3].

Заключение. Полученные результаты позволили Центру на протяжении 2017–2020 гг. оставаться в категории «Научные организации — лидеры» по результатам рейтинговой оценки результативности научно-исследовательских организаций Министерства здравоохранения Республики Беларусь и занимать 1-е место среди 18 республиканских научно-практических центров республики.

Базовые направления и перспективы деятельности Центра до 2025 года были формализованы в проекте подпрограммы «Научно обосновать и разработать комплекс эффективных мер по снижению бремени заболеваний, обусловленных влиянием факторов среды обитания человека различной природы в современных условиях социально-экономического развития» («Безопасность среды обитания человека») государственной научно-технической программы «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг», 2021–2025 гг., головной организацией по которой является Центр. Реализация подпрограммы позволит научно обосновать и разработать комплекс эффективных мер по снижению бремени заболеваний, обусловленных влиянием факторов среды обитания человека различной природы в современных условиях социально-экономического развития. Полученные в ходе программы новшества будут формализованы в виде обязательных к исполнению гигиенических нормативов, утверждаемых Советом Министров, инструкций по применению, утверждаемых Министерством здравоохранения, а также метрологически аттестованных методик измерений, которые потенциально будут востребованы на территории стран ЕАЭС. Внедрение новшеств будет способствовать эффективной профилактике неинфекционных заболеваний, связанных со средой обитания человека в современных условиях, позволит повысить эффективность осуществления государственного санитарного надзора в условиях перехода на риск-ориентированный надзор и научную обоснованность долгосрочных управленческих решений.

Литература

1. Москалева, О. В. Научные публикации как средство коммуникации, анализа и оценки научной деятельности [Электронный ресурс] / О. В. Москалева // Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии / под ред. М. А. Акоева. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — С. 110–163. — Режим доступа: http://wokinfo.com/media/pdf/ru-biblio_handbook_full.pdf. — Дата доступа: 01.11.2021.

2. Методические рекомендации по профилактике коронавирусной инфекции (COVID-19) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/ru/novoe-na-sayte/metodicheskie-rekomendatsii-po-profilaktike-covid-19/>. — Дата доступа: 01.11.2021.

3. Сычик, С. И. Распространенность поведенческих факторов риска инфицирования COVID-19 среди населения Республики Беларусь: результаты кросс-секционного исследования / С. И. Сычик // Анализ риска здоровью. — 2020. — № 4. — С. 4–11.

REPUBLICAN UNITARY ENTERPRISE «SCIENTIFIC PRACTICAL CENTRE OF HYGIENE»: MAIN RESULTS OF 2020, PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Belarus

The article presents the main results of scientific, scientific and technical, innovative, educational activities of the republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene» for 2020, work on training, inventive, rationalization and international activities, as well as the main promising areas of scientific research.

Keywords: republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», hygiene, toxicology, preventive medicine.

References

1. *Moskaleva, O. V.* Research publications as a means of communication, analysis and assessment of research activity [Electronic resource] / M. A. Akoev, V. A. Markusova, O. V. Moskaleva, V. V. Pislyakov // Russian scientometric handbook. — Ekaterinburg, 2014. — P. 110–163. — Mode of access: http://wokinfor.com/media/pdf/ru-biblio_handbook_full.pdf. — Date of access: 01.11.2021. (in Russian)

2. Methodological recommendations for the prevention of coronavirus infection (COVID-19) [Electronic resource]. — Mode of access: <http://minzdrav.gov.by/ru/novoe-na-sayte/metodicheskie-rekomendatsii-po-profilaktike-covid-19/>. — Date of access: 01.11.2021. (in Russian)

3. *Sychik, S. I.* Prevalence of behavioral risk factors that cause contagion with COVID-19 among population in Belarus [Electronic resource]: results obtained via cross-sectional study / S. I. Sychik // Health Risk Analysis. — 2020. — Vol. 4. — P. 4–11. (in Russian)

e-mail для переписки: itpaeva.ludchik@gmail.com

Поступила 15.11.2021

РЕЗОЛЮЦИЯ

международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», посвященной 95-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь, 30 сентября — 1 октября 2021 г.

Международная научно-практическая конференция «Здоровье и окружающая среда», посвященная 95-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь, состоялась 30 сентября — 1 октября 2021 г. в соответствии с приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 02.07.2021 № 792. В работе конференции приняли участие более 500 представителей Республики Беларусь, Российской Федерации, Кыргызстана, Франции.

Обсужденные на конференции вопросы соответствовали основным направлениям деятельности Министерства здравоохранения Республики Беларусь в области гигиены, профилактической токсикологии и клинической профпатологии. Были заслушаны и обсуждены более 220 докладов на пленарных и секционных заседаниях, постерных сессиях, которые отражали совокупность современных научных исследований и их результатов.

Основные направления работы конференции: организация государственного санитарного надзора; общественное здоровье и формирование здорового образа жизни; подготовка кадров санитарно-эпидемиологической службы; здоровье и среда обитания человека, анализ факторов риска здоровью населения; медицина труда и профессиональная патология; гигиена детей и подростков; гигиена питания; профилактическая, экологическая и промышленная токсикология; современные методы аналитического лабораторного контроля; эпидемиология и диагностика инфекционных болезней; современные вопросы микробиологии и иммунологии.

Подводя итоги международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», посвященной 95-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь, участники отметили важность проведения таких научных мероприятий, которые способствуют актуализации научных исследований, обмену опытом среди ученых различных специальностей, препода-

вателей учреждений образования и специалистов практического здравоохранения; отмечены высокий научный уровень и практическая значимость докладов.

В соответствии с положениями резолюции международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда» от 19–20 ноября 2020 г. продолжены научные исследования по следующим направлениям.

1. Совершенствование гигиенических критериев оценки воздействия факторов среды обитания человека на основании комплекса экспериментальных, натуральных и эпидемиологических исследований и анализа риска с целью профилактики неинфекционных заболеваний, а также обеспечения социально-гигиенического мониторинга:

дана оценка уровням суммарных рисков развития канцерогенных и общетоксических эффектов при комплексной экспозиции металлов и их соединений; обоснованы критерии установления и оценки уровней приемлемого риска здоровью при комплексном воздействии металлов и их соединений;

выполнена оценка потенциального риска здоровью, ассоциированного с комплексным поступлением бария в организм; установлены величина экспозиции и приоритетные объекты среды обитания по содержанию бария;

научно обоснованы методические подходы к оценке риска для здоровья населения, обусловленного воздействием химических веществ, определяющих органолептические свойства питьевой воды, при возникновении аварий (чрезвычайных ситуаций) на централизованных системах питьевого водоснабжения;

обоснованы методологические подходы к количественной оценке риска здоровью, ассоциированного с микробиологическим фактором в питьевой воде;

разработан алгоритм прогнозирования состояния здоровья населения, проживающего на административно-территориальных единицах, с учетом интегрального социально-гигиенического индекса;

обоснованы и разработаны методы оценки и управления риском здоровью, ассоциированным с остаточными количествами антибиотиков в пищевой продукции;

разработан алгоритм лабораторного контроля содержания приоритетных аллергенов в пищевой продукции и среде технологического окружения;

обоснованы специфические критерии для оценки риска здоровью населения, ассоциированного с содержанием пищевых добавок — глутаминовой кислоты и ее солей — в рационе питания;

обоснован и разработан метод гигиенического ранжирования пищевых продуктов на основе профилирования нутриентного состава и потенциального влияния на здоровье;

проведена комплексная оценка экспозиции полиароматическими углеводородами на население при алиментарных и ингаляционных путях поступления с учетом сезонности и фактических уровней контаминации и разработан «Алгоритм комплексной оценки экспозиции приоритетными полиароматическими углеводородами с учетом ингаляционного и алиментарного поступления»;

проведена оценка фактических потребностей спортсменов национальных и сборных команд республики по футболу и сложно-координационным видам спорта в основных пищевых веществах и разработаны методические рекомендации по биологически активным добавкам к пище для спортивного питания.

2. Разработка методов и тест-моделей для выявления направленности, количественной оценки, экспериментального моделирования биологического действия факторов среды обитания человека различной природы, в том числе с использованием биомаркеров воздействия и эффекта, обеспечивающих их гигиеническое регламентирование и лабораторный контроль:

с целью обеспечения эффективного мониторинга факторов среды обитания человека различной природы разработаны методики аналитического лабораторного контроля, позволяющие количественно определять содержание сложных органических контаминантов, в т.ч. остатков антимикробных препаратов, консервантов и др., в пищевых матрицах; аэрозолей белоксодержащих продуктов переработки коровьего молока в воздухе рабочей зоны; е-капролактама и бензапирена в водные и воздушные среды из товаров народного потребления, изготовленных из полимерных материалов, а также вулкацита, сульфенамида Ц, ацетофенона, агидола-40 в водные вытяжки из товаров народного потребления; микробных контаминантов, в том числе стафилококков, в воздушной среде помещений организаций здравоохранения;

проведен мониторинг микробной популяции средств индивидуальной защиты после использования персоналом лечебных стационаров, разработана лабораторная технология деконтаминации средств индивидуальной защиты в аггравированных условиях и проведена количественная оценка

ее эффективности. Полученные экспериментальные данные дают материал для изучения феномена модификации фенотипических свойств и использования на этапах выявления и составления профиля опасности и минимизации неопределенности в рамках концепции анализа микробиологического риска;

изучена миграция в модельные среды, имитирующие пищевую продукцию, контактирующую с упаковкой, в том числе биоразлагаемую, токсичных элементов и химических веществ (этилацетата, бутилацетата, фталатов, спиртов) и установлены оптимальные параметры анализа их содержания.

3. Разработка и внедрение комплекса мероприятий по профилактике негативного воздействия факторов высокого риска формирования профессиональной и производственно обусловленной патологии, направленных на снижение заболеваемости работающего населения от неинфекционных заболеваний:

изучено влияние различных видов изделий медицинского назначения для защиты органов дыхания на функциональное и психофизиологическое состояние медицинских работников в зависимости от режимов и условий их эксплуатации;

разработана и внедрена в практику здравоохранения гармонизированная с международными подходами система гигиенического нормирования и оценки содержания аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны;

разработаны и научно обоснованы методические подходы комплексной гигиенической оценки показателей производственного нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии;

изучена динамика и структура показателей заболеваемости злокачественной мезотелиомой населения Республики Беларусь как индикаторной патологией профессиональной экспозиции минеральными волокнами;

продолжено изучение влияния постоянного магнитного поля с учетом дозо-временных нагрузок на функциональное состояние нервной и сердечно-сосудистой систем работников;

изучено психофизиологическое состояние работающих при работе в условиях световой среды, формируемой искусственными источниками света с разным спектральным составом, научно обоснованы показатели безопасности спектрального состава световой среды, формируемой искусственными источниками света, на рабочих местах в помещениях;

экспериментально установлена сильная сенсibiliзирующая способность и чрезвычайная аллергенная опасность (1 класс) полученного растворимого антигенного комплекса казеиновых белков молока (далее — КБМ) и по критерию ведущего вредного аллергического действия КБМ на организм при субхроническом ингаляционном воздействии обоснована ПДК в воздухе рабочей зоны пыли сухих молочных продуктов, содержащих КБМ;

разработаны унифицированные методические подходы к получению из отобранных на производстве образцов не нормированной органической пыли экстрактов с содержанием растворимых белково-антигенных комплексов, достаточным для использования в качестве тест-аллергенов в диагностике профессиональных аллергических заболеваний и в экспериментальных исследованиях по гигиеническому нормированию в воздухе рабочей зоны.

4. Научное обоснование и разработка здоровьесберегающих мер по оптимизации среды обитания, в том числе образовательной и жилой среды:

изучены изменения параметров факторов спелеосреды в зависимости от антропогенной нагрузки, разработаны и научно обоснованы мероприятия по обеспечению устойчивого функционирования подземных отделений спелеостационара ГУ «Республиканская больница спелеолечения»;

научно обоснованы критерии индивидуального подбора мебели с учетом физического развития учащихся младших классов учреждений общего среднего образования с целью снижения риска возникновения школьно-обусловленных заболеваний школьников;

изучены закономерности формирования здоровья детей и подростков в условиях внедрения современной цифровой образовательной среды; ведется мониторинг использования школьниками технических средств информатизации в современных условиях жизнедеятельности с оценкой риска здоровью детей и детей с обоснованием корректирующих и профилактических мероприятий.

5. Разработка методов и критериев оценки радиационной защиты персонала и населения при использовании источников ионизирующего излучения и объектов атомной энергии:

научно обоснованы критерии выписки пациентов, прошедших терапевтические радиологические процедуры с использованием открытых источников ионизирующего излучения, пациентов с имплантированными закрытыми источниками ионизирующего излучения;

разработаны методы определения радиологического риска здоровью и оценки граничной дозы облучения персонала и населения для оптимизации радиационной защиты при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС;

разработаны методы планирования и проведения аварийного радиационного мониторинга продуктов питания, питьевой воды и мест проживания населения для 100-километровой зоны Белорусской, Ровенской и Смоленской АЭС;

выполнен радиационно-гигиенический мониторинг и оценены фоновые уровни радиоактивного загрязнения продуктов питания и питьевой воды в зоне наблюдения БелАЭС;

ведется разработка метода оценки доз облучения для участников пожаротушения и населения в результате ингаляционного поступления радионуклидов при чрезвычайных ситуациях (лесных пожарах) на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения;

выполняются исследования по оценке доз облучения населения от радона в воздухе жилых помещений.

6. Развитие актуальных направлений профилактической, экологической и промышленной токсикологии и химической безопасности:

разработан метод оценки риска здоровью населения при комплексном (пероральном и трансдермальном) пути поступления парабенов в организм;

на моделях *in vitro* и *in vivo* проведены токсикологические исследования и изучена способность к селективному накоплению в опухолевых клетках новых карборанилсодержащих гетероциклических соединений, применяемых для создания препаратов борнейтронзахватной терапии рака;

с учетом актуальных международных требований разработаны критерии для тестирования раздражающего действия *in vitro* различных видов парфюмерно-косметической продукции на модели реконструированного эпидермиса кожи человека;

изучено влияние наночастиц микроэлементов и их композиций на показатели антиоксидантного статуса в клетках лабораторных животных *in vitro*, в крови сельскохозяйственных животных *in vivo* на фоне воздействия стресс-факторов различной природы;

изучены биологические особенности действия наноразмерных объектов и структур металлов и их соединений на примере нанокompозита «пектин-Ag» и коллоидного раствора наночастиц железа;

с учетом актуальных международных требований разработаны единые методические принципы и порядок применения методов токсикологических исследований наноразмерных материалов, объектов и структур с использованием лабораторных животных (тесты *in vivo*) с целью оценки риска и / или классифицирования наноматериалов по опасности для здоровья человека;

разработан метод оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ, выделяющихся в воздух помещений из полимерных и полимерсодержащих строительных материалов;

проведены токсикологические исследования с целью разработки и научного обоснования гигиенических нормативов содержания в воздухе рабочей зоны фармацевтических субстанций: азитромицин, амброксола гидрохлорид, амлодипина бисилат, лизиноприла дигидрат;

проведены токсикологические исследования и идентифицированы опасные свойства с установлением класса опасности более 50 новых видов продукции отечественного производства (удобрений, пестицидов и др.), разработаны и научно обоснованы гигиенические регламенты (ПДК/ОБУВ в воздухе и рабочей зоне, ПДК/ОДК в почве, ПДК/ОДУ в воде водоемов, ДСД, МДУ в продуктах питания) для более чем 10 средств защиты растений отечественного производства;

разработаны критерии приоритизации химических веществ, создана национальная база данных по опасной химической продукции с указанием опасных свойств для здоровья населения и окружающей среды;

разработана дорожная карта для создания системы рационального регулирования химических веществ.

7. Развитие правовой, нормативной и методической базы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, гармонизация гигиенических требований Таможенного союза, Евразийского экономического сообщества с международными нормативами по медицине труда и охране окружающей среды: в рамках реализации Декрета Президента Республики Беларусь от 23 ноября 2017 г. № 7 «О развитии предпринимательства» разработан в 2018–2021 гг. и утвержден 31 гигиенический норматив (постановление Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении гигиенических нормативов» от 25.01.2021 № 37).

8. Совершенствование системы подготовки специалистов в области гигиены, токсикологии, санитарной химии и профилактической медицины: на базе республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» функционирует образовательный центр «МОЦНА» и реализуются образовательные программы повышения квалификации, стажировки, обучающихся

курсов; осуществляется подготовка в заочной форме получения образования. При подготовке и реализации образовательных программ активно используются собственные научные разработки, полученные в ходе выполнения отраслевых и государственных научных программ, а также результаты международного сотрудничества.

В рамках выполнения международных проектов разработаны учебные программы, касающиеся вопросов химической безопасности.

Расширена «география» реализации образовательных программ: осуществлена подготовка специалистов системы здравоохранения Республики Узбекистан, Российской Федерации и Ирака. Разработана и реализована учебная программа обучающихся курсов «Основы профилактической токсикологии» для студентов медицинских, биологических, химических и экологических специальностей.

По проблемам эпидемиологии и диагностики инфекционных болезней, биобезопасности, современным вопросам микробиологии и иммунологии продолжены фундаментальные и прикладные исследования в области происхождения и эволюции вирусов, включая SARS-CoV-2, изучение особенностей формирования гуморального иммунного ответа, оценки эффективности вакцинации против COVID-19, заболеваемости респираторными инфекциями в период коронавирусной пандемии, элиминации кори и краснухи в Республике Беларусь, эпидемиологии COVID-19, вирусных гепатитов, ВИЧ-инфекции, использование рекомбинантных технологий для диагностики вирусных инфекций и получения иммунобиологических препаратов; обсуждены проблемы формирования антибиотикорезистентности в современных стационарах, диагностики тяжелых септических инфекций, инфекций, вызываемых грамотрицательными микроорганизмами, стратегии иммунизации в отношении стрептококков, молекулярной идентификации клещевых патогенов, хламидий и др.

Полученные результаты на основе клинического опыта и современных научных достижений позволяют расширить знания об эпидемическом процессе, оценить масштаб проблемы, а также определить направления совершенствования эпидемиологического слежения за инфекционными заболеваниями в республике.

Таким образом, основные предложения и мероприятия резолюции 2020 года выполнены.

РЕШЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА», ПОСВЯЩЕННОЙ 95-ЛЕТИЮ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

30 сентября — 1 октября 2021 г.

Заслушав и обсудив доклады, участники конференции отметили, что с учетом современных тенденций в медико-биологической науке и векторов социально-экономического развития республики на предстоящий период приоритетными направлениями профилактической медицины являются:

в области гигиены окружающей среды и оценки рисков:

разработка метода оценки уровней риска здоровью при комплексном воздействии металлов и их соединений;

научное обоснование предельно допустимой концентрации бария в питьевой воде с учетом результатов оценки риска здоровью, ассоциированного с комплексным поступлением бария в организм;

научное обоснование и разработка метода интегральной оценки факторов риска здоровью, ассоциированных с водопользованием, уровней и критериев приемлемого интегрального риска здоровью;

изучение содержания цианотоксинов в воде поверхностного источника питьевого водоснабжения, питьевой воде и рекреационных водах, оценка экспозиции населения при различных видах водопользования;

обоснование экспериментальных моделей патологии для оценки рисков воздействия химических факторов среды обитания человека на здоровье чувствительных групп населения;

определение метеорологических показателей, влияющих на условия рассеивания выбросов загрязняющих веществ предприятий, для отработки методических подходов оценки риска здоровью

населения от комбинированного воздействия химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в период неблагоприятных метеорологических условий;

обоснование моделей рассеивания выбросов веществ, обладающих запахом в атмосферном воздухе, для выполнения расчетов рассеивания;

разработка метода измерения электромагнитных полей тока промышленной частоты 50 Гц в условиях населенных мест и метода оценки потенциального риска здоровью населения, обусловленного воздействием электромагнитных полей тока промышленной частоты 50 Гц, внедрение указанных методов в практическую деятельность учреждений государственного санитарного надзора;

проведение исследования акустической обстановки на границах населенных пунктов, находящихся в зоне шумового воздействия крупных транспортных магистралей;

выполнение исследования особенностей распространения общей вибрации, формируемой рельсовым транспортом, в помещениях зданий различного назначения;

разработка допустимых значений параметров факторов спелеосреды и алгоритма управления ими в целях обеспечения устойчивой эксплуатации подземных отделений спелеостационара ГУ «Республиканская больница спелеолечения»;

научное обоснование методических подходов к комплексной оценке потерь здоровья, связанных с качеством среды обитания человека;

научное сопровождение национальных обязательств Республики Беларусь по Протоколу по проблемам воды и здоровья и председательства по региону;

разработка методической базы для оценки базовой ситуации и мониторинга достижения Целей в области устойчивого развития по окружающей среде и здоровью;

в области промышленной, профилактической и экологической токсикологии:

разработка концепции системы биомониторинга в стране с последующим формированием институциональной, технологической, организационной основы, в том числе порядка определения загрязнений и их метаболитов в биологических средах организма, методов биологической оценки уровней экспозиции загрязнителями в организме человека, валидированных / верифицированных методик определения и пр.;

разработка методических подходов к токсиколого-гигиенической оценке эквивалентности технических продуктов пестицидов-дженериков оригинальным действующим веществам;

гигиеническое обоснование групповых ПДК в воздухе рабочей зоны пыли всех видов сухих молочных продуктов, содержащих комплексы сывороточных или казеиновых белков коровьего молока либо их смесь, методики контроля их концентраций в воздухе производственной среды;

установление в экспериментах особенностей определения и оценки показателей раздражающего действия на слизистые оболочки глаз полученных экстрактов из различных изделий медицинского назначения методом *in vitro* с использованием хориоаллантамоисной мембраны;

определение в экспериментах характера и выраженности острой токсичности, раздражающего, кожно-резорбтивного и кумулятивного действия на организм фармацевтических субстанций антибактериальных лекарственных средств;

в рамках экспериментальных исследований по направлению «нанотоксикология» изучение и оценка токсических свойств наночастиц серебра, стабилизированных оболочкой полисахарида;

сравнительные токсикологические исследования влияния химических веществ группы бисфенолов на морфофункциональное состояние лабораторных животных при субхроническом и хроническом воздействии, выявление особенностей токсического действия на эндокринную и репродуктивную системы;

проведение экспериментального моделирования, подбор оптимальных условий и разработка схемы системы искусственного кровотока человека *in vitro* для оценки гемосовместимости изделий медицинского назначения;

разработка подходов к профилактике неинфекционных заболеваний, связанных с воздействием химических токсикантов, обладающих способностью нарушать функции эндокринной системы (эндокринных разрушителей);

создание системы государственной регистрации и нотификации химических веществ и химической продукции, разработка национального реестра химических веществ и смесей; подготовка и обучение специалистов токсикологических лабораторий в соответствии с принципами надлежащей лабораторной практики GLP;

широкое использование международного сотрудничества в области обеспечения химической безопасности путем присоединения Республики Беларусь к Роттердамской конвенции по процедуре

предварительного обоснованного согласия (PIC) в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов и выполнению международных обязательств по Минаматской конвенции;

улучшение информационного обмена между заинтересованными государственными структурами по рациональному регулированию химических веществ и доступа широкой общественности к информационным данным по опасным химическим веществам;

инициирование программы по присоединению Республики Беларусь к Глобальному альянсу по ликвидации свинца в красках и разработки правовых ограничений по содержанию свинца в красках;

в области гигиены труда и профпатологии:

разработка и внедрение научно обоснованных гигиенических требований к изделиям медицинского назначения для защиты органов дыхания, используемым в организациях здравоохранения, обоснование режимов и условий их эксплуатации, обеспечивающих приемлемый уровень риска здоровью медицинских работников в процессе трудовой деятельности;

разработка и внедрение метода управления профессиональным риском здоровью медицинских работников организаций здравоохранения, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях в период эпидемического подъема заболеваемости респираторными инфекциями;

разработка и внедрение метода оценки состояния здоровья работающих на основе анализа заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

разработка и внедрение метода комплексной гигиенической оценки показателей производственного нагревающего микроклимата при интермиттирующем воздействии;

разработка показателей безопасности спектрального состава световой среды, формируемой искусственными источниками света на рабочих местах, и методики выполнения измерений спектрального состава световой среды;

разработка и внедрение в практику методики измерений постоянного магнитного поля на рабочих местах и метода оценки риска здоровью работающих при различных дозо-временных нагрузках воздействия постоянного магнитного поля;

в области гигиены детей и подростков:

изучение закономерностей физического развития современных детей дошкольного и младшего школьного возраста;

научное обоснование критериев оценки соответствия мебели росту-возрастным особенностям воспитанников учреждений дошкольного образования;

изучение причинно-следственных связей изменений в состоянии здоровья детей и подростков;

методическая помощь в работе по гигиеническому воспитанию детей и подростков с целью формирования у них устойчивой мотивации на здоровый образ жизни;

в области гигиены питания:

совершенствование методов оценки риска здоровью, ассоциированного с химической контаминацией пищевой продукции, в том числе для целей гигиенического нормирования;

научное обоснование и разработка методов гигиенической оценки и оценки риска здоровью, ассоциированного с миграцией химических веществ из упаковки и материалов, контактирующих с пищевой продукцией, включая биоразлагаемые;

научное обоснование методических подходов к комплексной оценке потерь здоровья, связанных с несбалансированным питанием;

разработка критериев гигиенической оценки пищевой продукции нового вида;

научное обоснование мер по совершенствованию лечебно-профилактического питания различных групп работающего населения;

обоснование методических подходов по изучению питания населения на основе стандартизованных алгоритмов сбора данных для целей принятия решений в области безопасности пищевой продукции и снижения риска развития заболеваний, ассоциированных с питанием;

изучение масштаба и характера воздействия на детей маркетинга на телевидении пищевой продукции с высоким содержанием насыщенных жиров, соли и (или) сахаров для обоснования соответствующих законодательных мер по регулированию;

совершенствование учебных планов и программ по вопросам безопасности пищевых продуктов и рациональному питанию населения;

в области радиационной защиты населения и персонала:

разработка методов нормирования радиоактивных веществ в выбросах и сбросах при нормальной эксплуатации радиационных объектов для радиационной защиты населения;

разработка методов проведения и оценки результатов радиационно-гигиенического мониторинга в ситуации планируемого облучения вокруг ядерных объектов, расположенных на территории Республики Беларусь и в сопредельных государствах;

усовершенствование существующих подходов проведения радиационно-гигиенического мониторинга для оценки доз облучения населения от проживания на территориях, загрязненных в результате катастрофы на ЧАЭС;

усовершенствование подходов, используемых в Республике Беларусь для оценки эффективности радиационного контроля доз облучения персонала при эксплуатации радиационных объектов;

продолжение разработки метода оценки доз облучения для участников пожаротушения и населения в результате ингаляционного поступления радионуклидов при чрезвычайных ситуациях (лесных пожарах) на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения;

продолжение исследования по оценке доз облучения населения от радона в воздухе жилых помещений и в питьевой воде;

в области санитарной химии и обеспечения микробиологической безопасности — разработка новых метрологически аттестованных высокочувствительных методик:

одновременного измерения концентраций токсичных и эссенциальных элементов в биологически активных добавках к пище и специализированной пищевой продукции для детей на молочной основе, содержания пищевых добавок натамицина, дифенила, орто-фенилфенола для оценки безопасности пищевой продукции, уровней миграции токсичных веществ в водные и воздушные среды из товаров народного потребления, изготовленные из полимерных материалов;

определения содержания фармацевтических субстанций (амброксола гидрохлорид, амлодипина бесилат, лизиноприла дигидрат) в воздухе рабочей зоны предприятий фармацевтической промышленности и атмосферном воздухе;

разработка молекулярно-генетических экспресс-методов микробиологического контроля патогенных микроорганизмов в среде технологического окружения пищевых производств на основе лабораторного моделирования контаминации эмерджентными патогенами в аггравированных условиях;

в области подготовки кадров:

подготовка кадров в формате дистанционного online обучения на основе продвижения современных знаний;

разработка и внедрение образовательных программ обучающих курсов, стажировки, повышения квалификации специалистов в области гигиены, токсикологии, санитарной химии и профилактической медицины;

в области эпидемиологии, диагностики инфекционных болезней, микробиологии и иммунологии:

разработка и внедрение в практическую медицину и систему эпидемиологического слежения за социально значимыми инфекционными заболеваниями технологий, отвечающих следующим требованиям: высокая чувствительность, специфичность, экспрессность, высокая производительность, универсальность, безопасность для исполнителей, возможность автоматизации процесса.

Резолюция обсуждена и единогласно одобрена участниками международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», посвященной 95-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь.

Содержание

Раздел I. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ГИГИЕНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	3
<hr/>	
<i>Дроздова Е. В., Грынчак В. А., Рябцева С. Н.</i> РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ХРОНИЧЕСКОЙ ГЕНТАМИЦИНОВОЙ НЕФРОПАТИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ БАРИЯ И ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ)	3
<i>Дроздова Е. В., Суравец Т. З., Грынчак В. А., Фираго А. В.</i> ВЛИЯНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И МОЧИ КРЫС ПРИ ДОЛГОСРОЧНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ	14
<i>Дроздова Е. В., Цимберова Е. И., Фираго А. В., Дребенкова И. В., Суравец Т. З.</i> ОЦЕНКА АЛИМЕНТАРНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ БАРИЕМ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	22
<i>Дудчик Н. В.</i> ОПЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МИКРОБНОГО СТАТУСА ОБЪЕКТОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ	30
<i>Щербинская Е. С., Сычик С. И.</i> ВЛИЯНИЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА КАК ФАКТОРА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ	37
Раздел II. РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА	45
<hr/>	
<i>Аветисов А. Р., Сосновский А. В.</i> ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ	45
<i>Кляус В. В., Жукова О. М., Гусейнова Д. И.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНГАЛЯЦИОННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ПОЖАРАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	49
<i>Кляус В. В., Николаенко Е. В., Кочергина Н. С.</i> ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ УРОВНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ В СЛУЧАЕ ТЯЖЕЛОЙ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА АЭС	57
<i>Кляус В. В.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ БЕЛОРУССКОЙ АЭС В РАМКАХ ПОДХОДА МАГАТЭ К ЭТАПАМ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	68
<i>Николаенко Е. В., Роздяловская Л. Ф., Гусейнова Д. И., Кляус В. В.</i> К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ БелАЭС НА НАСЕЛЕНИЕ ПРИ РАБОТЕ АЭС В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	76
<i>Сасноўскі А. В., Авеіцаў А. Р., Жук І. У., Абдухалімавіч Х. Д., Кучко П. У., Ігнатавіч С. А.</i> РАДОН У ПАВЕТРЫ ЖЫЛЫХ ПАМЯШКАННЯЎ: ДОЗЫ АПРАМЕНЬВАННЯ НАСЕЛЬНІЦТВА ГОРАДА СЛУЦКА І АГРАГАРАДКА ЛУЧНІКІ	82
Раздел III. ГИГИЕНА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ	89
<hr/>	
<i>Карпович Н. В., Грекова Н. А., Полянская Ю. Н., Итпаева-Людчик С. Л., Пронина Т. Н.</i> АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ ШКОЛЬНИКОВ И РАЗМЕРЫ УЧЕНИЧЕСКОЙ МЕБЕЛИ	89
Раздел IV. ГИГИЕНА ПИТАНИЯ	94
<hr/>	
<i>Головач Т. Н., Курченко В. П., Романович Р. В., Бондаренко М. П., Цыганков В. Г., Бондарук А. М.</i> КОМПЛЕКСЫ ОЛИГОХИТОЗАНА И СУКЦИНИЛИРОВАННОГО ХИТОЗАНА С ТРИПТОФАНОМ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	94
<i>Осипова Т. С., Федоренко Е. В., Дроздова Е. В.</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТЕЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С МИГРАЦИЕЙ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, КОНТАКТИРУЮЩИХ С ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИЕЙ, НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА	101

Федоренко Е. В., Коломиец Н. Д., Турко М. С., Крымская Т. П., Дудчик Н. В., Марченко Н. М., Науменко С. А., Бельшева Л. Л., Бордак Л. В., Тарасевич О. В.
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОТЫ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ) 106

Раздел V. МЕДИЦИНА ТРУДА 113

Арабей С. В., Гиндюк А. В.
АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ С ВРЕМЕННОЙ УТРАТОЙ ТРУДОСПОСОБНОСТИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖИДКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ 113

Баслык А. Ю., Коноплянко В. А., Итпаева-Людчик С. Л., Сарапина Е. П., Захаренко Т. В.
ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ БЕЛЫХ КРЫС В ЭКСПЕРИМЕНТЕ 118

Гутич Е. А., Косяченко Г. Е.
ГИГИЕНА ТРУДА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН 126

Клебанов Р. Д., Гутич Е. А., Мадекша И. В., Корзун В. С., Коноплянко В. А.
МЕТОД ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА ПРИ ИНТЕРМИТТИРУЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ 137

Кравцов А. В., Сычик С. И., Соловьева И. В., Бондаренко Л. М.
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ВОДИТЕЛЕЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ТРАНСПОРТА 144

Семушина Е. А., Зеленко А. В.
ЗНАЧЕНИЯ НОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ФАКТОРАМИ РИСКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У РАБОТНИКОВ ОФИСНОГО ТРУДА 149

Сычик С. И., Гутич Е. А., Косяченко Г. Е., Итпаева-Людчик С. Л., Федоренко Е. В., Дудчик Н. В., Сычик Л. М.
ТРУД И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 155

Раздел VI. ТОКСИКОЛОГИЯ 164

Васильева М. М., Сычик С. И., Ильюкова И. И., Грынчак В. А., Анисович М. В.
ОСОБЕННОСТИ КУМУЛЯТИВНЫХ СВОЙСТВ БИСФЕНОЛОВ А И S В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА БЕЛЫХ КРЫСАХ 164

Орленкович Л. Н.
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОИНСЕКТИЦИДА ЭНТОМОФТОРИНА НА ОРГАНИЗМ КРЫС В ХРОНИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ДИНАМИКЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕХ СИСТЕМ 172

Раздел VII. САНИТАРНАЯ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ 182

Кузовкова А. А., Велентей Ю. Н., Плешкова А. А., Добыш В. А., Коктыш Н. В.
УРОВНИ МИГРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИЛАКТИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ ДОБАВОК И С ЛИГНИНОМ В МОДЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ, ИМИТИРУЮЩИЕ ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ 182

Раздел VIII. ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА 190

Миклис Н. И., Бурак И. И., Изопольская Ж. Г.
МИКРОФЛОРА ПАЦИЕНТОВ МНОГОПРОФИЛЬНОГО СТАЦИОНАРА И ЕЕ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ 190

Миклис Н. И., Семенов В. М.
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННЫХ ДЕЗИНФЕКТАНТОВ И АНТИСЕПТИКОВ В ИНФЕКЦИОННОЙ БОЛЬНИЦЕ 197

Сычик С. И., Дроздова Е. В., Федоренко Е. В., Итпаева-Людчик С. Л., Ивко Н. А.
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ»: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 2020 ГОДА, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 204

РЕЗОЛЮЦИЯ Международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», посвященной 95-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь, 30 сентября — 1 октября 2021 г. 214

Научное издание

ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА
Сборник научных трудов

Выпуск 31

Ответственный за выпуск *Т. Ф. Рослик*

Корректор *Н. Б. Кучмель*

Компьютерная верстка *А. Л. Архипович*

Редактор *А. А. Костыко*

Подписано в печать 20.12.2021. Формат 60×84 ¹/₈.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 26,04. Уч.-изд. л. 21,90.
Тираж 110 экз. Заказ 396.

Издатель и полиграфическое исполнение:
республиканское унитарное предприятие
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/159 от 27.01.2014,
№ 2/63 от 19.03.2014.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.