

Крийт В.Е.¹, Рейнюк В.Л.², Сладкова Ю.Н.¹, Пятибрат А.О.³

Влияние сочетанного воздействия монооксида углерода и вредных физических факторов на поведенческую активность животных

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²ФГБУ «Научно-клинический центр токсикологии имени академика С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства», 192019, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 194100, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Введение. В процессе трудовой деятельности пожарные подвергаются воздействию многих вредных и опасных факторов, среди которых ведущее место занимает химический фактор. Монооксид углерода является неотъемлемой частью любого горения, а его ведущая роль в токсическом действии продуктов горения подтверждается многочисленными экспериментальными данными. Важное значение в изучении сочетанного воздействия имеют результаты, полученные в эксперименте на животных.

Цель исследования — изучение поведенческой активности животных при сочетанном воздействии монооксида углерода и вредных физических факторов.

Материал и методы. Исследование было выполнено на беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста по двум направлениям: изучение сочетанного воздействия монооксида углерода и повышенной температуры воздуха и изучение сочетанного воздействия монооксида углерода и виброакустического фактора. В каждой из экспериментальных моделей крысы были произвольно разделены на 6 групп: первая группа подвергалась однократному воздействию изучаемого физического фактора, вторая группа — многократному воздействию физического фактора (в течение 14 дней), третья группа — однократному воздействию монооксида углерода, четвертая группа — многократному воздействию монооксида углерода, пятая группа — однократному сочетанному воздействию физического фактора и монооксида углерода; шестая группа — многократному сочетанному воздействию физического фактора и монооксида углерода. Изучение поведенческой активности животных проводилось с помощью методик «Открытое поле» и «Приподнятый крестообразный лабиринт».

Результаты. Полученные данные свидетельствуют, что сочетанное воздействие монооксида углерода и вредных физических факторов вызывает изменение показателей поведенческих реакций животных, при этом если при однократном воздействии большинство показателей через 1 сутки возвращаются к фоновым значениям, то при многократном — остаются достоверно измененными.

Ограничения исследования. Исследование было ограничено изучением основных показателей поведенческих реакций с использованием 3 методик при однократном и продолжительном воздействии монооксида углерода и гипертермии и монооксида углерода, шума и вибрации.

Заключение. Полученные данные могут быть применены при изучении отдаленных последствий сочетанного воздействия монооксида углерода и вредных физических факторов на организм пожарных.

Ключевые слова: пожарные; монооксид углерода; температура воздуха; шум; вибрация; крысы; поведенческие реакции.

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, проведено в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123), директивой Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

Для цитирования: Крийт В.Е., Рейнюк В.Л., Сладкова Ю.Н., Пятибрат А.О. Влияние сочетанного воздействия монооксида углерода и вредных физических факторов на поведенческую активность животных. *Токсикологический вестник*. 2022; 30(5): 297-306. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2022-30-5-297-306>

Для корреспонденции: Крийт Владимир Евгеньевич, кандидат хим. наук, руководитель отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, Санкт-Петербург. E-mail: v.kriit@s-znc.ru

Участие авторов: Крийт В.Е. – концепция и дизайн исследования, написание текста; Рейнюк В.Л. – редактирование; Сладкова Ю.Н. – сбор и обработка материала, редактирование; Пятибрат А.О. – статистический анализ. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила в редакцию: 08 сентября 2022 / Принята в печать: 22 сентября 2022 / Опубликовано: 30 октября 2022

Kriyt V.E.¹, Reinyuk V.L.², Sladkova Yu.N.¹, Pyatibrat A.O.³

The effect of the combined effects of carbon monoxide and harmful physical factors on the behavioral activity of animals

¹North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation;

²Federal State Budgetary Research Center of the FMBA of Russia, St. Petersburg, 192019, Russian Federation;

³Federal State budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, 194100, Russian Federation

Introduction. In the course of their work, firefighters are exposed to many harmful and dangerous factors, among which the chemical factor takes the leading place. Carbon monoxide is an integral part of any combustion, and its leading role in the toxic effect of combustion products is confirmed by numerous experimental data. The results obtained in the experiment on animals are of great importance in the study of combined effects.

The purpose of the study was to study the behavioral activity of animals under combined exposure to carbon monoxide and harmful physical factors.

Material and methods. The study was performed on outbred white male rats 3 months of age, in two directions: the study of the combined effects of carbon monoxide and elevated air temperature and the study of the combined effects of carbon monoxide and vibroacoustic factor. In each of the experimental models, rats were randomly divided into 6 groups: the first group was exposed to a single physical factor under study, the second group was exposed to multiple physical factors (for 14 days), the third group was exposed to a single exposure to carbon monoxide, the fourth group was exposed to multiple exposures to monoxide carbon, the fifth group was subjected to a single combined effect of a physical factor and carbon monoxide; the sixth group was subjected to multiple combined effects of the physical factor and carbon monoxide. The study of the behavioral activity of animals was carried out using the “Open field” and “Elevated plus maze” methods.

Results. The data obtained indicate that the combined effect of carbon monoxide and harmful physical factors causes a change in the indicators of behavioral reactions of animals, while if with a single exposure most of the indicators return to the background values in a day, then with repeated exposure they remain significantly changed.

Conclusion. The data obtained can be applied in studying the long-term effects of the combined effects of carbon monoxide and harmful physical factors on the body of firefighters.

Keywords: firefighters; carbon monoxide; air temperature; noise; vibration; rats; behavioral responses

Compliance with ethical standards. The Local ethics committee of the North-West Public Health Research Center of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing approved this study carried out under the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments or Other Scientific Purposes (ETS N 123), Directive of the European Parliament and Council of the European Union 2010/63/EU of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

For citation: Kriyt V.E., Reinyuk V.L., Sladkova Yu.N., Pyatibrat A.O. The effect of the combined effects of carbon monoxide and harmful physical factors on the behavioral activity of animals. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2022; 30(5): 297-306. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2022-30-5-297-306> (in Russian)

For correspondence: *Vladimir E. Kriyt*, MD, Ph.D., head of the Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors. North-West Public Health Research Center, 191036, Saint-Petersburg, Russian Federation. E-mail: v.kriit@s-znc.ru

Information about the authors:

Kriyt V.E., <https://orcid.org/0000-0002-1530-4598>
Sladkova Yu.N., <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>

Reinyuk V.L., <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546>
Pyatibrat A.O., <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>

Author contributions: *Kriyt V.E.* – the concept and design of the study, writing a text; *Reinyuk V.L.* – editing; *Sladkova Yu.N.* – the collection and processing of material, editing; *Pyatibrat A.O.* – statistical analysis. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: September 08, 2022 / Accepted: September 22, 2022 / Published: October 30, 2022

Введение

В процессе трудовой деятельности пожарные подвергаются воздействию многих вредных и опасных факторов, среди которых ведущее место занимает химический фактор. В первую очередь это связано с широким применением при строительстве новых полимерных и полимерсодержащих материалов, при горении которых выделяется значительное количество химических веществ, качественные и количественные характеристики которых в условиях пожара трудно определимы. Необходимо отметить, что при пожарах на промышленных предприятиях на организм пожарных воздействуют не только продукты горения, но и промышленные токсины, используемые на данном предприятии [1]. При оценке многокомпонентных смесей, образующихся при горении полимерных материалов, основной задачей является установление наиболее опасных (ведущих) компонентов, преобладающих в количественном отношении и характеризующихся высокой биологической активностью. К числу таких соединений, содержащихся в составе продуктов горения полимерных материалов, относятся оксид углерода, циановодород, хлороводород, оксиды азота и др. [2].

Монооксид углерода (СО, углерода оксид, углерод окись, углерод моноокись, угарный газ) является неотъемлемой частью любого горения [1], образуется практически во всех случаях горения углеродсодержащих материалов, особенно в условиях недостатка кислорода [3], а его ведущая роль в токсическом действии продуктов горения полимерных материалов подтверждается многочисленными экспериментальными данными и результатами судебно-медицинской экспертизы [2]. Около 80–90% поглощенного СО соединяется с гемоглобином с образованием карбоксигемоглобина, значительно более прочного карбонильного комплекса с гемоглобином по сравнению с оксигемоглобином [4], и являющегося специфичным биологическим маркером воздействия СО на кровь [5].

Сродство гемоглобина к СО в 200–300 раз больше, чем к кислороду, хотя присоединение СО к гемоглобину происходит в 10 раз медленнее [2, 6]. Диссоциация зависит от парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе [6, 7] и происходит значительно медленнее, чем расщепление оксигемоглобина, по данным разных авторов, от 3600 [2, 6, 8, 9] до 10 000 раз [10].

Развитие гипоксического состояния при отравлении СО обусловлено суммарным эффектом нескольких видов гипоксий: не только гемической гипоксии вследствие образования карбоксигемоглобина, но и гипоксической, циркуляторной и тканевой [6]. Наиболее чувствительны к гипоксии ткани, потребляющие много кислорода: нервная, миокардиальная и эмбриональная ткани [5, 6]. Однако формирующиеся в отдаленном периоде после отравления нарушения функций центральной нервной системы не могут быть обусловлены только развитием гемической гипоксии. В число опосредованных нейротоксических механизмов действия могут входить: развитие оксидативного стресса и воспалительных реакций, активация программируемой клеточной гибели, запуск процессов эксайтотоксичности и др. [11].

Монооксид углерода действует на пожарных при выполнении профессиональных задач не изолированно, а в сочетании с различными вредными физическими факторами, в том числе с повышенной температурой воздуха, шумом и вибрацией. Сочетанное действие на организм химических и физических факторов окружающей среды в большинстве случаев сопровождается проявлением синергетических эффектов, которые превышают суммарное воздействие этих факторов [12].

В изучении экстремальных факторов пожара, а также сочетанного воздействия физических и химических факторов, одно из ведущих значений имеют результаты, полученные в эксперименте на животных.

Особенность сочетанного действия повышенной температуры воздуха и яда состоит в том, что высокая температура окружающей среды повы-

шает чувствительность животных к токсическому действию практически всех исследованных промышленных ядов: в том случае, когда реакции терморегулирования оказываются достаточными, чтобы предохранить организм от перегрева, токсическое действие ядов или не изменяется, или оказывается даже ослабленным (указанная особенность отчетливо проявляется при воздействии монооксида углерода на адаптированных к высокой температуре животных); в тех случаях, когда терморегуляция оказывается недостаточной для предохранения организма от перегрева, токсическое действие промышленных ядов, как правило, усиливается [13]. Другая особенность сочетанного действия повышенной температуры воздуха и СО состоит в том, что СО снижает устойчивость животных к перегреванию. Однако взаимоотношения между монооксидом углерода и повышенной температурой воздуха при их одновременном воздействии на организм более сложны и не ограничиваются перечисленными особенностями [14]. Биологический эффект совместного действия шума и монооксида углерода, как правило, больше, чем при действии каждого из факторов в отдельности [12, 14], также отмечено суммирование биологических эффектов вибрации и шума с действием СО [14].

Необходимо отметить, что при сопоставлении данных по токсичности СО для человека и лабораторных животных, по критерию смертности чувствительность человека к СО примерно соответствует чувствительности к нему мелких лабораторных животных. Динамика нарастания карбоксигемоглобина в крови человека и белых крыс в определенном временном интервале носит сходный характер. Однако особенностью реакции человека на действие малых концентраций СО является весьма раннее нарушение психологических и психомоторных показателей [14].

Материал и методы

Для оценки изменений поведенческой активности животных при сочетанном воздействии монооксида углерода и вредных физических факторов были разработаны экспериментальные модели и выполнены исследования на беспородных белых крысах-самцах, содержащихся в стандартных условиях вивария со свободным доступом к воде и находящиеся на обычном пищевом рационе. В фоновом периоде достоверных различий в значениях анализируемых показателей не наблюдалось, и они составили одну группу (фоновые значения, контроль). Все процедуры с животными выполнялись с соблюдением принципов Евро-

пейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and scientific purposes. Strasbourg, 18.III.1986. European Treaty Series. № 123) и Директивы Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей, а также с одобрения Локального этического комитета.

Для оценки влияния *сочетанного воздействия монооксида углерода и высокой температуры воздуха* на поведенческую активность животных было выполнено исследование на 372 беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста массой тела 250–300 г. Крысы были произвольно разделены на 6 групп (по 62 крысы в каждой): 1-я группа подвергалась однократной гипертермической нагрузке, 2-я группа — ежедневной гипертермической нагрузке в течение 14 дней, 3-я группа — однократному воздействию монооксида углерода, 4-я группа — ежедневному воздействию монооксида углерода в течение 14 дней, 5-я группа — однократному сочетанному воздействию гипертермии и монооксида углерода; 6-я группа — ежедневному сочетанному воздействию гипертермии и монооксида углерода в течение 14 дней. Экспериментальное моделирование воздушной гипертермии проводили в герметичной термокамере, в которой поддерживалась концентрация СО 250 мг/м³. Процедуру экстремального термического воздействия выполняли при температуре воздуха +42 °С по 45 мин в день.

Для оценки влияния *сочетанного воздействия монооксида углерода, шума и вибрации* на поведенческую активность животных было выполнено исследование на 258 беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста массой тела 230–250 г. Крысы были разделены случайным образом на 6 групп (по 43 крысы в каждой группе): 1-я группа подвергалась однократному виброакустическому воздействию, 2-я группа — ежедневному виброакустическому воздействию в течение 14 дней, 3-я группа — однократному воздействию монооксида углерода, 4-я группа — ежедневному воздействию монооксида углерода в течение 14 дней, 5-я группа — однократному сочетанному воздействию СО, шума и вибрации, 6-я группа — ежедневному сочетанному воздействию СО, шума и вибрации в течение 14 дней. Продолжительность воздействия и уровни шума и вибрации были максимально приближены к нагрузкам, встречающимся в реальных условиях при выполнении пожарными профессиональных задач, концентрация монооксида углерода составляла 250 мг/м³.

Процедуру виброакустического воздействия выполняли по 4 ч в день на вибростенде ВЭДС-400А, генерирующем на платформу, на которую была установлена и закреплена клетка с животными, общую вибрацию вертикальной направленности с уровнем 100 дБ по виброускорению на частоте 40 Гц. Источником непостоянного шума являлся громкоговоритель, расположенный на расстоянии 1 м от вибростенда, для возбуждения которого использовался функциональный генератор. Эквивалентный уровень звука за 4 ч воздействия в контрольной точке, расположенной у верхнего края боковой стенки клетки, ориентированной в сторону источника шума, составлял в разные дни эксперимента от 88,4 до 89,5 дБА, эквивалентный уровень звука за 14 дней воздействия составлял 89 дБА, максимальный уровень звука — 98 дБА. Генерируемый шум соответствовал следующим характеристикам: 69,7 дБ для частоты 31,5 Гц; 73,3 дБ для частоты 63 Гц; 75,5 дБ для частоты 125 Гц; 78,2 дБ для частоты 250 Гц; 82,5 дБ для частоты 500 Гц; 85,5 дБ для частоты 1000 Гц; 86,8 дБ для частоты 2000 Гц; 85,0 дБ для частоты 4000 Гц; 80,6 дБ для частоты 8000 Гц. Контроль параметров непостоянного шума проводился по эквивалентному уровню звука с применением шумомера-вибromетра, анализатора спектра ЭКОФИЗИКА-110А, параметров вибрации на платформе стенда — с применением четырехканального анализатора шума, вибрации SVAN-948.

До и после всех воздействий регистрировали и проводили оценку показателей поведенческой активности с применением нескольких методик; в данной работе представлены результаты, полученные с использованием тестов на тревожность, двигательную и исследовательскую активность (методики «Крестообразный приподнятый лабиринт» и «Открытое поле») [15–17]. Интервал между тестированиями составлял не менее 2 нед (при таком интервале предыдущее тестирование не сказывается на результатах последующих тестов). В фоновом периоде достоверных различий в значениях анализируемых показателей не наблюдалось и полученные результаты представлены как фоновые значения (контроль).

Экспериментальные материалы, полученные в ходе исследования, подвергались статистической обработке по стандартным программам: Excel, Statistica 6.0, SPSS 11.5. Отдельные группы предварительно сравнивали с помощью непараметрического теста Краскела—Уоллиса, а затем значимость различий уточняли с помощью теста Манна—Уитни. Выбор тех или иных методов статистического анализа проводили с учётом конкретных решаемых задач.

Результаты и обсуждение

Доступность, высокая чувствительность поведенческих тестов, возможность количественно измерить поведение животных (как биологический параметр) и сопоставить полученные результаты с фоновыми значениями, определяют широкое применение тестов. Классической моделью исследования поведения животных является тест «Открытое поле», основанный на конфликте инстинктивного стремления к исследованию нового окружения и стремлением минимизировать возможную опасность с его стороны. В тесте оценивались следующие показатели: двигательная активность, время обследования территории, время исследования норки, вертикальная стойка, стойка с упором на стенку, груминг, фризинг (продолжительность теста — 3 мин). Тест «Крестообразный приподнятый лабиринт» был выбран как одна из наиболее чувствительных моделей для исследования тревожности животного. В данном тесте фиксировались время пребывания в закрытых и открытых рукавах, на центральной площадке, число и время актов свешивания из открытых рукавов и выглядывания из закрытых рукавов (продолжительность теста — 5 мин). Результаты исследования представлены в табл. 1–4.

Исследовательское поведение и двигательная активность в «Открытом поле» (см. табл. 1) достоверно изменялись относительно фоновых значений как после однократных, так и после длительных воздействий, изменения были наиболее выражены на фоне сочетанного воздействия гипертермии и монооксида углерода. При этом в структуре поведения крыс время исследования территории и норки снижалось, отмечалось общее снижение двигательной активности, снижение времени вертикальной активности, и, наоборот, достоверно увеличивалось время фризингов и стоек с упором, что свидетельствует о высоком уровне тревожности. На вторые сутки после однократных воздействий высокой температуры большинство показателей возвращались к исходным значениям. При длительных воздействиях практически все исследованные показатели были достоверно изменены относительно фоновых значений и в сравнении с группами однократного аналогичного воздействия как в первые сутки, так и на вторые сутки после окончания воздействия, что свидетельствует о нервно-эмоциональном напряжении у крыс. После сочетанного гипертермического и токсического воздействия животные демонстрировали выраженную гиподинамию, резкое снижение двигательной активности, исследовательского поведения, уменьшение времени вертикальных стоек, а также увеличение времени фризингов и стоек с упором.

Таблица 1 / Table 1

Результаты исследований поведенческих реакций животных по методике «Открытое поле» при воздействии монооксида углерода и высокой температуры воздуха, $M \pm \sigma$
Results of studies of behavioral reactions of animals according to the "Open field" method under the influence of carbon monoxide and high air temperature, $M \pm \sigma$

Показатель	Гипертермия		СО		Гипертермия + СО		Фон (контроль)
	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	
Однократное воздействие							
Двигательная активность, количество	141,6±12,7 ^К	154,5±9,4	121,3±11,7 ^{К•}	142,4±13,8 ^{К•}	118,2±12,2 ^{К•}	145,4±14,7 ^К	159,7±12,3
Двигательная активность, с	31,7±12,3 ^К	56,7±11,1	28,7±4,5 ^К	36,2±5,1 ^{К•}	26,9±4,9 ^{К•}	35,4±4,2 ^{К•}	52,3±11,6
Время обследования территории, с	14,5±3,1 ^К	23,7±3,8	12,5±2,1 ^{К•}	19,8±3,6 ^К	14,2±3,2 ^К	18,7±2,9 ^К	24,2±4,1
Время исследования «норок», с	9,2±3,1 ^К	18,7±5,9	8,7±2,1 ^К	13,2±1,3 ^{К•}	11,2±1,8 ^{К•}	9,1±1,7 ^{К•}	21,2±6,7
Стойка с упором, с	8,5±2,9 ^К	6,1±1,2	8,2±1,9 ^К	7,2±1,4 ^К	7,4±1,4 ^К	7,1±1,6 ^К	6,1±1,2
Вертикальная стойка, с	1,5±0,6 ^К	3,4±0,6	2,4±0,4 ^{К•}	2,3±0,7 ^{К•}	1,4±0,5 ^К	1,7±0,4 ^{К•}	3,6±0,8
Фризинг, с	12,7±2,4 ^К	2,7±0,5	12,7±2,6 ^К	4,7±0,8 ^{К•}	15,2±1,2 ^{К•}	4,6±0,3 ^{К•}	2,4±0,7
Груминг, с	11,6±3,2 ^К	17,7±1,9	14,5±1,7 ^{К•}	17,8±2,3	11,2±1,2 ^К	16,9±1,6	18,7±1,9
Продолжительное воздействие							
Двигательная активность, количество	131,3±11,4 ^{К*}	132,6±11,8 ^{К*}	112,5±11,8 ^{К*}	119,3±14,7 ^{К*}	74,5±9,7 ^{К*}	92,6±1,1 ^{К*}	159,7±12,3
Двигательная активность, с	27,8±14,1 ^{К*}	36,2±16,1 ^{К*}	21,3±3,8 ^{К*}	23,5±4,2 ^{К*}	19,4±1,8 ^{К*}	24,2±3,4 ^К	52,3±11,6
Время обследования территории, с	11,7±2,4 ^К	14,3±1,9 ^{К*}	11,3±2,3 ^{К*}	13,9±2,5 ^К	9,2±1,6 ^{К*}	10,3±1,8 ^{К*}	24,2±4,1
Время исследования «норок», с	7,3±2,7 ^{К*}	12,5±2,8 ^{К*}	7,9±1,6 ^{К*}	8,3±0,9 ^{К*}	7,3±1,5 ^{К*}	8,2±1,7 ^{К*}	21,2±6,7
Стойка с упором, с	9,7±1,6 ^{К*}	8,6±1,7 ^{К*}	9,6±1,3 ^{К*}	8,7±1,8 ^{К*}	12,4±1,5 ^{К*}	10,2±1,3 ^{К*}	6,1±1,2
Вертикальная стойка, с	1,3±0,4 ^{К*}	1,6±0,9 ^{К*}	1,2±0,3 ^{К*}	1,4±0,5 ^{К*}	1,1±0,4 ^{К*}	1,2±0,5 ^{К*}	3,6±0,8
Фризинг, с	9,2±1,7 ^{К*}	8,6±1,7 ^{К*}	12,8±1,5 ^{К*}	8,7±0,7 ^{К*}	14,2±1,4 ^{К*}	9,5±1,2 ^{К*}	2,4±0,7
Груминг, с	9,4±1,8 ^{К*}	12,8±2,9 ^{К*}	11,3±0,9 ^{К*}	12,4±1,1 ^{К*}	9,7±0,7 ^{К*}	11,6±1,2 ^{К*}	18,7±1,9

Примечание. Различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению: ^К – с фоновыми значениями (контроль); * – с группами однократного аналогичного воздействия; • – различия по сравнению со значениями аналогичного изолированного гипертермического воздействия.

Анализ данных, полученных с применением теста «Крестообразный приподнятый лабиринт» (см. табл. 2), показал, что животные, перенесшие как однократное, так и длительное изолированное и сочетанное воздействие монооксида углерода и высокой температуры, в первые сутки после воздействия проводили в закрытом рукаве лабиринта достоверно большее количество времени по сравнению с фоновыми значениями, при этом время нахождения животных на центральной площадке изменялось в меньшей степени. На вторые сутки

после однократных воздействий время нахождения в открытом и закрытом рукавах возвращалось к исходным значениям. При многократных термических и токсических воздействиях время нахождения в закрытом рукаве на вторые сутки после окончания воздействия оставалось достоверно выше фонового значения и в сравнении с аналогичным периодом однократного воздействия, что свидетельствует о тревожности животных. Наибольшие изменения регистрировались при многократном сочетанном термическом и

Таблица 2 / Table 2

**Результаты исследований поведенческих реакций животных
по методике «Крестообразный приподнятый лабиринт»
при воздействии монооксида углерода и высокой температуры воздуха, $M \pm \sigma$**
**The results of the study of behavioral reactions of animals according to the method of "plus-shaped elevated maze"
under the influence of carbon monoxide and high air temperature, $M \pm \sigma$**

Показатель	Гипертермия		СО		Гипертермия + СО		Фон (контроль)
	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	
Однократное воздействие							
Время нахождения в «закрытом рукаве», с	238,4±18,6 ^к	194,5±13,7 ^l	214,3±17,5 ^{к•}	196,2±18,3 ^l	241,3±21,4 ^к	192,7±19,6 ^l	198,3±15,4
Время нахождения в «Открытом рукаве», с	56,2±7,6 ^к	115,6±8,4 ^l	106,7±11,5 ^к	114,8±12,3 ^l	76,4±8,2 ^к	115,3±9,7 ^l	118,4±9,2
Время нахождения на «Центральной площадке», с	17,1±5,2	16,8±2,8	18,2±2,4 ^к	16,7±3,1	21,3±1,6 ^{к*}	17,4±1,8 ^{кl}	15,5±2,7
Продолжительное воздействие							
Время нахождения в «закрытом рукаве», с	249,7±21,2 ^{к*}	226,5±11,9 ^{к*}	242,3±15,3 ^{к*•}	219,5±16,7 ^{к*•l}	258,1±14,2 ^{к*•}	252,4±17,1 ^{к*•}	198,3±15,4
Время нахождения в «Открытом рукаве», с	48,5±8,4 ^{к*}	51,7±9,2 ^{к*}	61,8±7,2 ^{к*•}	102,5±9,4 ^{к*•l}	74,2±6,3 ^{к*•}	97,3±8,1 ^{к*•l}	118,4±9,2
Время нахождения на «Центральной площадке», с	18,4±4,2 ^к	17,7±3,1	12,1±21 ^{к*•}	11,7±1,2 ^{к*•}	11,2±13 ^{к*•}	12,4±2,4 ^{к*•}	15,5±2,7

Примечание. Различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению: ^к – с фоновыми значениями (контроль); ^{*} – с группами однократного аналогичного воздействия; [•] – различия по сравнению со значениями аналогичного изолированного гипертермического воздействия; ^l – с результатами первых суток после аналогичного воздействия.

токсическом воздействии, при этом уменьшалось не только время нахождения в открытом рукаве, но и время, проведенное на центральной площадке как относительно фоновой, так и после всех однократных воздействий.

Исследовательское поведение в «Открытом поле» изменялось относительно фоновых показателей как после однократных, так и после длительных воздействий монооксида углерода, шума и вибрации (см. табл. 3). В структуре поведения крыс в тесте «Открытое поле» при изолированном однократном воздействии шума и вибрации в первые сутки время исследования территории и норки достоверно снижались, отмечалось общее снижение двигательной активности, снижение времени вертикальной активности, и, наоборот, достоверно увеличивалось время фризингов. На второй день после однократного изолированного виброакустического воздействия все показатели возвращались к исходным позициям. После длительного виброакустического воздействия изменения некоторых показателей поведенче-

ских реакций были менее выражены. Показатели времени двигательной активности, времени обследования территории, времени груминга были достоверно выше, а время фризингов ниже, чем у крыс при однократном виброакустическом воздействии, что свидетельствует о некотором привыкании к виброакустическому воздействию, но при этом показатели теста были достоверно изменены относительно фоновых показателей и не восстанавливались до исходных на вторые сутки после прекращения воздействия, что свидетельствует о нервно-эмоциональном напряжении у крыс. Изолированное воздействие монооксида углерода оказывало меньшее влияние, чем сочетанное воздействие шума и вибрации, тем не менее даже после однократного воздействия крысы демонстрировали снижение двигательной и познавательной активности, увеличение времени фризингов, снижение времени груминга. Эти изменения также через 1 сут не возвращались к фоновым значениям. Похожая картина наблюдалась и при многократном изолированном воз-

Таблица 3 / Table 3

Результаты исследований поведенческих реакций животных по методике «Открытое поле» при воздействии монооксида углерода, шума и вибрации, $M \pm \sigma$
Results of studies of behavioral reactions of animals according to the "Open field" method under the influence of carbon monoxide, noise and vibration, $M \pm \sigma$

Показатель	Виброакустическое воз- действие		СО		Виброакустическое воз- действие + СО		Фон (контроль)
	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	
Однократное воздействие							
Двигательная активность, количество	123,5±11,2 ^К	153,7±14,2	124,5±9,6 ^К	152,1±7,9 ^{К¹}	121,2±8,2 ^{К•¹}	161,2±5,0 ^{•¹}	154,3±11,8
Двигательная активность, с	29,8±11,7 ^К	51,4±8,6	21,2±7,9 ^К	54,5±9,1 ¹	17,4±5,8 ^{К•¹}	59,7±7,3 ^{К•¹}	51,3±6,9
Время обследования территории, с	12,7±4,3 ^К	24,8±2,7	14,2±2,7 ^К	21,2±4,7 ^{К¹}	9,4±1,8 ^{К•¹}	24,3±6,2 ^{•¹}	25,3±3,8
Время исследования «норок», с	11,5±2,7 ^К	24,1±3,9	14,2±6,1 ^К	25,2±7,1 ^{К¹}	9,7±1,3 ^{К•¹}	23,5±4,9 ^{•¹}	23,6±5,9
Стойка с упором, с	9,8±2,4 ^К	6,8±1,4	7,4±1,6	7,6±2,1 ¹	9,6±1,3 ^{К•¹}	7,1±2,2 ^{•¹}	7,4±1,2
Вертикальная стойка, с	1,8±0,6 ^К	3,8±0,9	2,1±1,2 ^К	4,1±1,2 ^{К¹}	1,4±0,6 ^{К•¹}	4,3±1,6 ^{•¹}	3,9±1,4
Фризинг, с	9,8±1,3 ^К	2,2±1,1	4,2±1,5 ^К	2,9±1,5 ^{К¹}	12,3±1,7 ^{К•¹}	2,3±0,8 ^{•¹}	2,1±1,1
Груминг, с	9,3±2,7 ^К	17,2±2,8	11,4±1,1 ^К	12,1±1,4 ^{К¹}	9,3±1,2 ^{К•¹}	14,5±1,7 ^{•¹}	16,8±1,2
Продолжительное воздействие							
Двигательная активность, количество	138,2±12,6 ^К	142,4±15,3 ^К	127,2±9,1 ^{К*}	151,4±6,1 ¹	113,5±14,7 ^{К*•¹}	121,3±4,7 ^{К*•¹}	154,3±11,8
Двигательная активность, с	25,3±12,8 ^{К*}	31,4±13,6 ^{К*}	34,1±5,3 ^{К*}	53,7±11,2 ¹	12,3±3,7 ^{К*•¹}	23,1±5,1 ^{К*•¹}	51,3±6,9
Время обследования территории, с	15,9±3,2 ^{К*}	19,7±2,4 ^{К*}	19,1±2,3 ^{К*}	24,9±3,6 ¹	9,8±1,5 ^{К*•¹}	12,3±4,6 ^{К*•¹}	25,3±3,8
Время исследования «норок», с	12,2±2,4 ^К	14,1±3,4 ^{К*}	17,6±3,5 ^{К*}	27,1±2,4 ¹	6,9±1,1 ^{К*•¹}	9,4±1,3 ^{К*•¹}	23,6±5,9
Стойка с упором, с	11,2±2,5 ^К	9,3±2,1 ^{К*}	7,2±1,3 [*]	7,5±1,3 ¹	6,1±0,7 ^{К*•¹}	6,2±0,6 ^{К*•¹}	7,4±1,2
Вертикальная стойка, с	2,3±0,7 ^К	2,7±0,8 ^{К*}	2,9±0,4 ^{К*}	3,7±0,9 ¹	1,2±0,3 ^{К*•¹}	2,1±1,1 ^{К*•¹}	3,9±1,4
Фризинг, с	7,2±1,8 ^{К*}	6,8±1,4 ^{К*}	3,9±1,5 ^{К*}	2,4±1,7 ¹	17,3±1,7 ^{К*•¹}	9,8±1,2 ^{К*•¹}	2,1±1,1
Груминг, с	12,4±2,3 ^{К*}	15,4±2,2 ^{К*}	12,6±1,4 ^{К*}	15,7±1,6 ¹	8,1±1,2 ^{К*•¹}	11,3±1,5 ^{К*•¹}	16,8±1,2

Примечание. Здесь и в табл. 4: различия достоверны ($p < 0,05$) по сравнению: ^к – с фоновыми значениями (контроль); * – с аналогичным воздействием после окончания однократного воздействия; • – различия по сравнению с изолированным воздействием монооксида углерода в аналогичном периоде; ¹ – с изолированным виброакустическим воздействием в аналогичном периоде.

действию монооксида углерода, некоторые показатели, относящиеся к исследовательскому поведению, изменялись в меньшей степени, чем при однократном воздействии, что свидетельствует о так называемой гипоксической тренировке и временном привыкании, которое приводит к декомпенсации и срыву адаптации к гипоксии через некоторое время. Показатели при сочетанном воздействии монооксида углерода, шума и вибрации демонстрировали наиболее сильные измене-

ния относительно изолированных воздействий, при этом если при однократном воздействии показатели через 1 сут возвращались к фоновым значениям, то при многократном – оставались достоверно измененными.

Согласно данным, полученным с применением теста «Крестообразный приподнятый лабиринт» (см. табл. 4), животные, перенесшие как однократное, так и длительное изолированное виброакустическое воздействие в первые сутки

Таблица 4 / Table 4

Результаты исследований поведенческих реакций животных по методике «Крестообразный приподнятый лабиринт» при воздействии монооксида углерода, шума и вибрации, $M \pm \sigma$
Results of studies of behavioral reactions of animals using the method of "Elevated Plus Maze" under the influence of carbon monoxide, noise and vibration, $M \pm \sigma$

Показатель	Виброакустическое воздействие		СО		Виброакустическое воздействие + СО		Фон (контроль)
	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	сразу после окончания воздействия	2-е сут после окончания воздействия	
Однократное воздействие							
Время нахождения в «закрытом рукаве», с	262,6±14,7 ^к	214,7±16,8	231,4±9,6 ^l	224,5±11,7 ^l	271,8±17,9 ^{к•}	229,4±9,5	226,2±12,8
Время нахождения в «Открытом рукаве», с	131,4±11,2 ^к	168,4±9,5	182,3±8,1 ^l	179,2±14,7 ^l	116,1±12,5 ^{к•}	174,1±16,1	176,5±11,4
Время нахождения на «Центральной площадке», с	14,6±4,8 ^к	19,4±5,2	18,3±3,1 ^l	24,8±2,7 ^l	12,3±2,7 ^{к•}	23,1±2,4	21,5±2,9
Продолжительное воздействие							
Время нахождения в «закрытом рукаве», с	298,5±29,3 ^{к•}	242,5±18,3 [*]	237,9±18,2 ^l	221,7±15,3 ^l	329,2±24,5 ^{к••l}	278,9±21,3 ^{к••l}	226,2±12,8
Время нахождения в «Открытом рукаве», с	93,5±11,2 ^{к•}	142,4±12,6 ^{к•}	151,5±11,6 ^l	184,3±13,8 ^l	64,3±9,2 ^{к••l}	94,3±14,1 ^{к••l}	176,5±11,4
Время нахождения на «Центральной площадке», с	16,4±7,4 ^к	17,2±4,7 ^к	16,1±2,3 ^l	23,2±1,9 ^l	8,1±1,6 ^{к••l}	14,1±2,3 ^{к••l}	21,5±2,9

после окончания воздействия проводили в закрытом рукаве лабиринта достоверно большее количество времени по сравнению с фоновыми значениями, при этом время нахождения животных на центральной площадке было достоверно ниже. При изолированном воздействии монооксида углерода изменения показателей имели аналогичные тенденции, однако достоверных различий с фоновым периодом не отмечалось. На вторые сутки после однократного изолированного воздействия как монооксида углерода, так и виброакустического фактора, время нахождения животных в открытом и закрытом рукавах, на центральной площадке, практически возвращалось к исходным значениям. При сочетанном воздействии указанные выше тенденции сохранялись, но изменения показателей было более значительным, чем при изолированных воздействиях, тем не менее через 1 сут показатели возвращались к фоновым. При многократном изолированном виброакустическом воздействии время нахождения в закрытом рукаве было достоверно выше фоновых значений, также достоверно снижалось время нахождения на центральной площадке. На вторые сутки после окончания воздействия время нахождения в закрытом рукаве оставалось выше фоновых значений и достоверно выше в сравне-

нии с аналогичным периодом при однократном воздействии. При изолированном воздействии монооксида углерода достоверных изменений в сравнении с фоновым периодом не отмечалось, однако получены достоверные изменения в сравнении с изолированным виброакустическим воздействием в аналогичном периоде. При сочетанном воздействии монооксида углерода и виброакустического фактора получены более выраженные изменения всех показателей относительно фоновых значений, значений после однократного воздействия, а также в сравнении со значениями, полученными при изолированных воздействиях, на вторые сутки показатели не восстанавливались до исходных значений и оставались достоверно изменёнными.

Заключение

Результаты проведенного исследования показали, что сочетанное воздействие монооксида углерода и повышенной температуры воздуха, а также монооксида углерода и виброакустического фактора, приводит к более выраженным и стойким изменениям поведенческой активности животных как относительно фоновых значений, так и в сравнении с результатами, полученными при изолированных воздействиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портнягина Е.В. Токсическое воздействие продуктов горения на нервную систему ликвидаторов пожаров. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2003; 36(1): 8–14.
2. Иличкин В.С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. *Принципы и методы определения*. Санкт-Петербург: Химия; 1993.
3. Жиркова Е.А., Спиридонова Т.Г., Брыгин П.А., Макаров А.В., Сачков А.В. Ингаляционная травма (обзор литературы). *Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского*. 2019; 8 (2): 166–74. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2019-8-2-166-174>
4. Мясников Д.В., Авитисов П.В., Золотухин А.В., Баринов М.Ф. Методический подход к определению допустимого времени работы спасателей в условиях интермиттирующего действия угарного газа. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2021; 1: 82–8. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-82-88>
5. Рекомендации по качеству воздуха в Европе (второе издание, пер. с англ.). М.: Вест Мир; 2004.
6. Зобнин Ю.В. Отравление монооксидом углерода (угарным газом). Санкт-Петербург; 2011.
7. Фаткуллин К.В., Гильманов А.Ж., Костюков Д.В. Клиническое значение и современные методологические аспекты определения уровня карбокси- и метгемоглобина в крови. *Практическая медицина*. 2014; 3 (79): 17–21.
8. Казанцев С.Я., Красильников В.И. Медицинские и биологические аспекты поражения организма угарным газом. *Актуальные проблемы медицины и биологии*. 2019; (1): 13–6.
9. Игошина А.В., Николенко В.Ю., Тищенко А.В., Николенко О.Ю., Боева И.А., Риневич Ю.С. Особенности отравлений монооксидом углерода и их лечение. *Университетская клиника*. 2016; 12(1–2): 83–88.
10. Курсов С.В. Монооксид углерода: физиологическое значение и токсикология. *Медицина неотложных состояний*. 2015; 6(69): 9–16.
11. Толкач П.Г., Башарин В.А., Сарманаев С.Х. Перспективные направления коррекции нейротоксических нарушений при поражении монооксидом углерода (обзор литературы). *Токсикологический вестник*. 2017; 2(143): 27–34.
12. Заболотских В.В., Васильев А.В., Терещенко Ю.П. Синергетические эффекты при одновременном воздействии физических и химических факторов. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016; 18(52): 290–5.
13. Кустов В.В., Тиунов Л.А., Васильев Г.А. *Комбинированное действие промышленных ядов*. М.: Медицина; 1975.
14. Тиунов Л.А., Кустов В.В. *Токсикология окиси углерода (2-е издание)*. М.: Медицина; 1980.
15. Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В. Влияние вибрации на функциональную активность нервной системы у животных в эксперименте. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2013; 3–2(91): 113–9.
16. Якимов Н.Л., Панков В.А., Лизарев А.В., Рукавишников В.С., Кулешова М.В., Катаманова Е.В. и др. Нейрофизиологические и морфологические эффекты воздействия вибрации в динамике постконтактного периода при экспериментальном моделировании. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(5): 284–90.
17. Ковалев Г.И., Васильева Е.В., Салимов Р.М. Сравнение поведения мышей в тестах открытого поля, закрытого и приподнятого крестообразных лабиринтов с помощью факторного анализа. *Журнал высшей нервной деятельности*. 2019; 69(1): 123–30.

REFERENCES

1. Portnyagina E.V. Toxic effect of combustion products on the nervous system of fire extinguishers. *Sibirskij medicinskij zhurnal (Irkutsk)*. 2003; 36(1): 8–14. (in Russian)
2. Illichkin V.S. Toxicity of combustion products of polymeric materials. *Principles and methods of determination [Toksichnost' produktov goreniya polimernykh materialov. Principy i metody opredeleniya]*. St. Petersburg: Himiya; 1993. (in Russian)
3. Zhirkova E.A., Spiridonova T.G., Brygin P.A., Makarov A.V., Sachkov A.V. Inhalation injury (literature review). *Neotlozhnaya medicinskaya pomoshch'. Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo*. 2019; 2(8): 166–74. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2019-8-2-166-174> (in Russian)
4. Myasnikov D.V., Avitsov P.V., Zolotuhin A.V., Barinov M.F. A methodical approach to determining the allowable work time of rescuers under conditions of intermittent action of carbon monoxide. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnykh situatsiyah*. 2021; 1: 82–8. (in Russian). <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-82-88>
5. European Air Quality Guidelines (second edition, translated from English) [Rekomendacii po kachestvu vozdukh v Evrope (vtoroe izdanie, per. s angl.)]. Moscow: Ves' Mir; 2004. (in Russian)
6. Zobnin Yu.V. Poisoning by carbon monoxide (carbon monoxide) [Otravlenie monoooksidom ugleroda (ugarny m gazom)]. St. Petersburg; 2011. (in Russian)
7. Phatkuln K.V., Gilmanov A.Zh., Kostyukov D.V. Clinical importance and modern methodological aspects of determining the level of carboxy- and methaemoglobin in blood. *Prakticheskaya medicina*. 2014; 3(79): 17–21. (in Russian)
8. Kazantsev S.Y., Krasilnikov V.I. Median and biological aspects of orhanism defeation with carbon gas. *Aktual'nye problemy mediciny i biologii*. 2019; 1: 13–6. (in Russian)
9. Igoshina A.V., Nikolenko V.Yu., Tischenko A.V., Nikolenko O.Yu., Boeva I.A., Rinsevich Yu.S. Peculiarity of carbon monoxide poisoning and their treatment. *Universitetskaya klinika*. 2016; 1(12): 83–8. (in Russian)
10. Kursov S.V. Carbon monoxide: physiological significance and toxicology. *Medicina neotlozhnykh sostoyaniy*. 2015; 6(69): 9–16. (in Russian)
11. Tolkach P.G., Basharin V.A., Sarmanaev S. Kh. Prospective methods for correction of neurotoxic impairments caused by severe carbon monoxide poisoning (literature review). *Toksikologicheskij vestnik*. 2017; 2(143): 27–34. (in Russian)
12. Zabolotskikh V.V., Vasil'ev A.V., Tereshchenko Yu.P. Synergistic effects with simultaneous exposure to physical and chemical factors. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2016; 18(52): 290–5 (in Russian)
13. Kustov V.V., Tiunov L.A., Vasilev G.A. *Combined action of industrial poisons. [Kombinirovannoe dejstvie promy'shlennykh yadov]*. Moscow: Medicina; 1975. (in Russian)
14. Tiunov L.A., Kustov V.V. *Toxicology of carbon monoxide (2nd edition) [Toksikologiya okisi ugleroda (2-e izdanie)]*. Moscow: Medicina; 1980. (in Russian)
15. Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V. Influence of vibration on the functional activity of the nervous system in animals in the experiment. *Bjulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2013; 3–2(91): 113–9. (in Russian)
16. Jakimova N.L., Pankov V.A., Lizarev A.V., Rukavishnikov V.S., Kuleshova M.V., Katamanova E.V. et al. Neurophysiological and morphological effects of vibration in the dynamics of the post-contact period in experimental modeling. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59(5): 284–90. (in Russian)
17. Kovalev G.I., Vasil'eva E.V., Salimov R.M. Comparison of the behavior of mice in open field, closed and elevated cruciform maze tests using factor analysis. *Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti*. 2019; 69(1): 123–30. (in Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Крийт Владимир Евгеньевич (Kriyt Vladimir Evgenevich), кандидат химических наук, руководитель отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: v.kriit@s-znc.ru

Рейнюк Владимир Леонидович (Reinyuk Vladimir Leonidovich), доктор мед. наук, доцент, врио директора ФГБУ «НКЦТ им. С.Н. Голикова» ФМБА России, 192019, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: institute@toxicology.ru

Сладкова Юлия Николаевна (Sladkova Yuliya Nikolaevna), старший научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: Sladkova.julia@list.ru

Пятибрат Александр Олегович (Pyatibrat Alexandr Olegovich), старший научный сотрудник ФГБУ «ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова» МЧС России, 194044, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: 5brat@yandex.ru

