

О. А. Савченко^{1,2✉}, Н. Ф. Чуенко¹, М. В. Рева¹, А. Ю. Луговская³

Проблемы нормирования содержания диоксида углерода в окружающей среде, и его влияние на человека

¹ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²БУЗОО «Территориальный центр медицины катастроф» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Омск, Российская Федерация

³Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Savchenkooa1969@mail.ru

Аннотация. Сохранение здоровья трудоспособного населения России, установление причин и механизмов возникновения профессиональной заболеваемости с целью её предупреждения у лиц, находящихся под длительным воздействием факторов производственной среды, тяжести и напряжённости трудового процесса, особенно в условиях повышенного содержания диоксида углерода в окружающей среде, остаётся достаточно актуальной проблемой. Определена прямая зависимость между концентрациями диоксида углерода в воздухе закрытых помещений и развитию у человека чувства дискомфорта, ухудшения самочувствия, снижения работоспособности, приводящих к ошибкам в действиях, затруднении дыхания, развитию синдрома хронической усталости, потери самоконтроля, потери сознания и смерти из-за паралича дыхания. Полученная по результатам исследования информация будет способствовать изучению вопроса нормирования, контроля и профилактики содержания диоксида углерода в высоких концентрациях (от 1 000, ppm), как одного из факторов риска для здоровья человека, а также разработки и утверждения методической базы для мониторинга и контроля этого показателя с целью профилактики отрицательного воздействия.

Ключевые слова: Проблемы нормирования, окружающая среда, влияние диоксида углерода на здоровье человека, использование растений

O. A. Savchenko^{1,2✉}, N. F. Chuenko¹, M. V. Reva¹, A. Ur. Lugovskaya³

Problems of carbon dioxide rationing in the environment and its impact on humans

¹Federal Budgetary Institution “Novosibirsk Research Institute of Hygiene” of Rospotrebnadzor,
Novosibirsk, Russian Federation

²BUZOO "Territorial Center of Disaster Medicine" of the Ministry of Health
of the Russian Federation, Omsk, Russian Federation

³Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Savchenkooa1969@mail.ru

Abstract. Maintaining the health of the able-bodied population of Russia, establishing the causes and mechanisms of occupational morbidity in order to prevent it in people who are under prolonged exposure to environmental factors, the severity and intensity of the labor process, especially in conditions of increased carbon dioxide in the environment, remains a rather urgent problem. A direct relationship has been determined between the concentrations of carbon dioxide in indoor air and the development of a person's discomfort, deterioration of well-being, decreased performance, leading to errors in actions, difficulty breathing, the development of chronic fatigue syndrome, loss of self-

control, loss of consciousness and death due to respiratory paralysis. The information obtained from the results of the study will contribute to the study of the issue of rationing, control and prevention of carbon dioxide in high concentrations (from 1,000 ppm) as one of the risk factors for human health, as well as the development and approval of a methodological framework for monitoring and controlling this indicator in order to prevent negative effects.

Keywords: Problems of rationing, the environment, the impact of carbon dioxide on human health, the use of plants

Введение

Сохранение здоровья трудоспособного населения России, установление причин и механизмов возникновения профессиональной заболеваемости с целью её предупреждения у лиц, находящихся под длительным воздействием факторов производственной среды, тяжести и напряжённости трудового процесса [1], особенно в условиях повышенного содержания диоксида углерода в окружающей природной среде (ОПС), остаётся достаточно актуальной проблемой.

Проблемы охраны здоровья и жизни граждан, и ОПС государство решает комплексно, через совершенствование функционирования системы здоровьесбережения граждан Российской Федерации (РФ) и развитием направления экологической медицины [2].

Анализ исследовательской информации показал, что люди всегда подвергались воздействию мельчайших частиц в результате пыльных бурь, вулканического пепла и других природных процессов и наши системы организма хорошо приспособлены для защиты от этих потенциально опасных факторов [3], однако, концентрация диоксида углерода в России до сих пор является ненормируемым показателем.

Диоксид углерода – продукт метаболизма, необходимый для жизнеобеспечения организма, который при избыточном содержании в воздухе оказывает неблагоприятное воздействие на организм, а в высоких концентрациях может быть токсичным. Учитывая, что строго регламентированные нормативы по содержанию двуокиси углерода в жилых и общественных помещениях отсутствуют. Исходя из вышеизложенного, вопрос о необходимости нормирования концентрации диоксида углерода в общественных, производственных, а особенно в образовательных организациях, а также разработка методики оценки фактического содержания CO_2 в помещениях, особенно предназначенных для воспитания и обучения детей, требуют пристального внимания в плане профилактики неблагоприятного влияния на организм обучающихся [4].

Целью исследований являлось проведение анализа имеющихся доступных научных исследований по установлению воздействия диоксида углерода в разных концентрациях на организм человека, установить возможные пути нормирования содержания диоксида углерода в окружающей среде, для снижения его пагубного влияния на организм человека.

Методы и материалы

Аналитические, токсикологические, гигиенические и статистические методы исследования. Объектом исследования явились результаты оригинальных исследований по изучению влияния диоксида углерода на организм человека,

поиск возможных путей нормирования содержания диоксида углерода в окружающей среде, для снижения его воздействия на организм человека.

Результаты

Анализ результатов исследований показал, что средние концентрации диоксида углерода в сухом атмосферном воздухе составляют 0,035-0,04 об.% (350-400 ppm). Также считается, что в помещении уровень диоксида углерода не должен превышать атмосферные значения примерно в 1,5 раза, то есть до 450-800 ppm. (или 0,45-0,8 л/м³). Для жилых и административных помещений допустимым параметром концентрации диоксида углерода в воздухе считается ~ 600 ppm. Оптимальные и допустимые уровни концентрации диоксида углерода в помещении установлены ГОСТом 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Примерное содержание загрязнений в наружном воздухе приведено в табл. 1.

Таблица 1

Примеры содержания загрязнений в наружном воздухе

Местность	Концентрация в воздухе			
	CO ₂ , см ³ /м ³	CO, мг/м ³	NO ₂ , кг/м ³	SO ₂ , мкг/м ³
Сельская местность, существенные источники отсутствуют	350	1	5-35	5
Небольшой город	375	1-3	14-40	5-15
Загрязненный центр большого города	400	2-6	30-80	10-50

Примечание: приведенные значения являются среднегодовыми, их не следует использовать при проектировании, поскольку максимальные концентрации будут выше. Для более подробной информации следует выполнить оценку загрязнений на месте

Оптимальным содержанием называются показатели, обеспечивающие нормальное состояние организма и ощущение комфорта, допустимые – значения, которые при длительном воздействии на человека могут привести к ощущению дискомфорта, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности, но при этом не вызывают ухудшение здоровья

В Европейском союзе нет всесторонних юридически обязательных норм по качеству воздуха в помещениях. Вместо этого существует множество оценочных величин, которые называются ориентировочными или целевыми. В Германии в качестве гигиенической ориентировочной величины согласно стандарту (DIN 1946 часть 2) применяется значение диоксида углерода 0,15 % об. (= 1500 ppm). Ориентировочные значения по концентрации диоксида углерода в помещениях были опубликованы Комиссией по гигиене воздуха в помещении (IRK) Федерального министерства окружающей среды и Государственным органом по здравоохранению [5, 6].

Ряд стран опубликовал нормы и рекомендации по вентиляции в зданиях, включая школы, в которые входят положения об ограничении концентрации диоксида углерода в воздухе помещений. В Финляндии максимально допустимая концентрация CO₂ в используемом помещении при нормальных погодных усло-

виях составляет 1200 ppm. В норвежских и шведских нормах для жилых помещений, школ и офисов установлена максимальная концентрация диоксида углерода 1000 ppm. В Дании, согласно нормам органа по охране труда, содержание диоксида углерода в детских садах, школах и офисах не должно превышать 1000 ppm. Воздухообмен считается недостаточным, если несколько раз в день на короткое время концентрация диоксида углерода превышает значение 2000 ppm [6, 7].

Особую озабоченность представляет мониторинг концентрации диоксида углерода в помещениях детских дошкольных и средних общеобразовательных учреждений, а также профессионального обучения. Всего за один учебный час в классе этот показатель только за счёт воздуха, выдыхаемого учениками и учителями, повышается до 1500 ppm и более, а после 90 минут занятий фиксировались значения порядка 2700 ppm. В конце занятия это вызывает повышенную усталость и ослабление внимания – симптомы, которые прямо мешают обучению и преподаванию [6, 8].

Исследование, проведённое в США, позволило сделать вывод, что концентрация CO₂ в учебных классах прямо влияет на посещаемость учеников. Повышение концентрации CO₂ до 1000 ppm ведёт к снижению посещаемости на 10-20 %. Согласно другому исследованию, каждые лишние 100 ppm CO₂ снижают годовую посещаемость учеников на 0,2 % [6, 9]. Также было установлено, что повышение кратности вентиляции может снизить заболеваемость детей на 10-17 % [6, 8].

Исследование, проведённое в России, показало, что в учебных классах в состоянии спокойного бодрствования концентрация CO₂ вырастет до 1000 ppm, а при физической активности превысит норму. К тому же для обеспечения оптимального содержания диоксида углерода в помещении требуется увеличение воздухообмена, что отражено в рекомендациях по борьбе с CO₂. Так, воздухообмен, требуемый для обеспечения концентрации CO₂ 1000 ppm, составляет 33 м³/ч, а для обеспечения концентрации 500 ppm - 200 м³/ч. В формировании заболеваний и смерти у человека имеют концентрации диоксида углерода от 1 000 ppm до 10 000 ppm. При концентрациях диоксида углерода от 500 до 5 000 частей на миллион очевидны линейные физиологические изменения в системе кровообращения, сердечно-сосудистой и вегетативной системах. При кратковременном воздействии диоксида углерода в концентрациях от 1 000 частей на миллион нарушаются когнитивные функции, включая анализ и синтез информации в коре головного мозга, а также снижается скорость и качество принятия решений [10].

Обсуждение

Анализ доступных результатов исследований, опубликованных как в российских, так и зарубежных источниках, показал значительное внимание к проблеме содержания диоксида углерода в закрытых помещениях, обусловленном стремительным ростом его концентрации в воздушной среде [4].

Влияние различных концентраций CO₂ в воздухе помещений на функциональное состояние и здоровье человека, свидетельствует, что при концентрациях от 1 000 CO₂, ppm до 10 000 CO₂, ppm в формировании заболеваний и смерти у человека. В концентрациях от 500 до 5 000 частей CO₂, на миллион очевидны линейные физиологические изменения в системе кровообращения, сердечно-со-

судистой и вегетативной системах. При кратковременном воздействии CO_2 , начиная с 1 000 частей на миллион, нарушаются когнитивные функции, включая анализ и синтез информации в коре головного мозга, а также снижается скорость и качество принятия решений. Изменения в вегетативных системах из-за низкого уровня воздействия CO_2 могут включать эти эффекты [2].

Постоянный рост содержания диоксида углерода в атмосфере городов делает поддержание безопасного и комфортного для человека уровня диоксида углерода в помещении с помощью вентиляционных систем более энергозатратным в отсутствие его принудительного удаления из помещения.

Проводимые в настоящее время исследования в области экологии, медицины, биологии, ботаники, обозначают развивающееся перспективное направление – использование средоулучшающих свойств растений для нормализации микроклимата воздушной среды, а также для профилактики и лечения заболеваний человека [11-19]. Следует также отметить, что растения не должны быть причиной снижения нормативных значений коэффициента естественной освещенности в помещениях [15]. Использование растений с целью снижения содержания диоксида углерода в атмосфере, и для благоустройства территорий организаций (учреждений) направлено на создание условий для нормализации экологической обстановки (воздух, почва, вода), через высадку деревьев и кустарников на заболоченных участках, очистку территории предприятия (учреждения) от строительных, производственных и бытовых отходов и другие мероприятия [18].

В настоящее время многие авторы признают, что наиболее эффективными способами контроля за содержанием диоксида углерода является постоянный мониторинг качества воздушной среды с использованием различных приборов (приборы для измерения диоксида углерода, логгеры данных, многофункциональные приборы) и очистка воздуха в помещениях, где находятся люди, для чего используют очистители воздуха (основанные на методе абсорбции загрязняющих веществ), а также фитокомпозиции комнатных растений, и дополнительное проветривание помещений. Технический результат достигается путём размещения в помещении комнатных растений в виде фитомодулей согласно биологическим требованиям к освещенности, своевременному уходу за растениями, в том числе их почвенный полив и опрыскивание; комнатные растения выбирают с учетом неприхотливости в уходе, отсутствия их антагонистического аллелопатического воздействия друг на друга, отсутствия сенсibiliзирующих свойств, обеспечения газопоглотительной активности, нейтрализации воздушных загрязнителей различного происхождения, продуцирования кислорода и наличия транспирирующих свойств. Фитомодули содержат комнатные растения, которые обладают транспирирующей и повышенной газопоглотительной способностью (например, *Chlorophytum comosum*, *Sansevieria trifasciata* и *Syngonium alternifolius*). Растения размещаются в количестве 1,0-1,4 м² листовой поверхности растений на 100 м³ помещения при освещенности в интервале 1000–3500 люкс и исходной относительной влажности воздуха в помещении 34–36%. Баланс газопоглотительной и транспирирующей способности указанных растений достигается при соотношении их листовой поверхности в фитомодулях составляющим 1:1:2 соответственно [15]. Использование фитокомпозиций расте-

ний в помещениях позволяет не только очистить воздух, но и повысить качество воздушной среды, что способствует благоприятному профилактическому воздействию на здоровье членов коллектива, способствуя предупреждению развития острых респираторных заболеваний, которые заметным образом сокращаются при наличии растений [12].

Размещение в закрытых помещениях фитокомпозиций комнатных растений с выраженными фитонцидными, газопоглотительными и транспирирующими свойствами, таких как *Chlorophytum comosum*, *Aspidistra elatior*, *Begonia ricinifolia*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Coleus blumei*, *Murraya exotica*, *Nephrolepis exaltata*, *Sansevieria trifasciata*, *Cyperus alternifolius*, в закрытых помещениях, приводит к устойчивому снижению показателей общего количества микроорганизмов, снижению химической нагрузки, повышению влажности воздуха, и способствует снижению рисков и профилактике заболеваемости [11-19].

Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения обеспечивается комплексом профилактических мероприятий (очистители воздуха, проветривание, фитокомпозиции растений), которые позволяют устранить или уменьшить риски, связанные с биологическим загрязнением и повышенным содержанием диоксида углерода в воздухе, что позволяет предотвратить возникновение и распространение массовых инфекционных и неинфекционных заболеваний [20].

Заключение

Воздействие диоксида углерода на человека зависит от концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе, а также проводимых профилактических мероприятий по охране здоровья населения и ОПС. Правильное сочетание приборов для измерения и мониторинга концентрации диоксида углерода с очистителями воздуха и разумным уровнем вентиляции может дать хороший профилактический эффект наряду с хорошим уровнем энергосбережения, что показывают исследования и разработки, описанные в научных публикациях последних лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Факторы и биомаркеры, связанные с ускоренным старением / О.А. Савченко, Н.Ф. Чуенко, О.В. Плотникова [и др.] // Национальные приоритеты России. 2024; № 3 (54): 45-52.
2. Влияние химических загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье человека / Н.Ф. Чуенко, О.А. Савченко, И.И. Костюк, С.С. Ступа // Научные труды ФГБУЗ «Сибирский окружной медицинский центр Федерального медико-биологического агентства». Том 10. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2022. – С. 282-290.
3. Влияние наночастиц и наноматериалов на теплокровный организм и процессы его ускоренного старения / О. А. Савченко, А. С. Огулов, О. А. Савченко [и др.] // Национальные приоритеты России. – 2025. – № 1(56). – С. 77-84.
4. Углекислый газ: проблемы нормирования, контроля и профилактики неблагоприятного воздействия в образовательных организациях / И.И. Новикова, А.В. Сорокина, М.А. Лобкис [и др.] // Российский вестник гигиены. – 2023. – № 4. – С. 18-28. – DOI 10.24075/rbh.2023.081.
5. Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozial forschung, page 1358.
6. Мониторинг CO2 и качество воздуха в помещении: экспертная статья Testo. - URL: <https://climatecontrolsolutions.ru/publication/32205-monitoring-co2-i-kachestvo-vozdukha-v-pomeshchenii.html>; <https://climatecontrolsolutions.ru/images/Whitepaper-testo-160-IAQ-RU.pdf>.

7. SF-Ministry of the Environment (2003) Indoor climate and ventilation of buildings. Regulations and Guidelines 2003. D2 National building code of Finland, <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=68171&lan=en>, zitiert bei: Bundes gesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umwelt bundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innen raumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung.
8. Fraunhofer IBP, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, authors Gunnar Grün, Susanne Urlaub, Stuttgart, 10. Dezember 2015, https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Presseinformationen/Velux-Prestudy_WhitePaper_141205_amended.pdf.
9. Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, et al. (2004) Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. Indoor Air 14:333–341, quoted in: Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumlufte, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung.
10. Мансуров Р.Ш., Гурин М.А., Рубель Е.В. Влияние концентрации углекислого газа на организм человека. Universum: технические науки. 2017; 8 (41): 20-3.
11. Влияние Хлорофитума хохлатого (*Chlorophytum comosum*) на качество воздуха в закрытых помещениях / Н. Ф. Чуенко [и др.] // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 102-105.
12. Гигиеническая роль комнатных растений в улучшении качества воздушной среды (на примере дошкольных образовательных организаций) / И.И. Новикова, Н.Ф. Чуенко, О.А. Савченко, Е.А. Новиков // Медицина в Кузбассе. – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 93-99. – DOI 10.24412/2687-0053-2023-4-93-99.
13. Транспирирующие, фитонцидные и газопоглощительные свойства комнатных растений и их роль в улучшении качества воздушной среды в дошкольных организациях / Н. Ф. Чуенко, И. И. Новикова, М. А. Лобкис [и др.] // Экология человека. – 2023. – № 10-1. – С. 759-769. – DOI 10.17816/humeco609574.
14. Transpiring, phytoncidal and gas-absorbing properties of indoor plants and their role in improving the air quality in preschool environments / N. F. Chuenko, I. I. Novikova, M. A. Lobkis [et al.] // Human Ecology. – 2023. – No. 10-2. – P. 759-769. – DOI 10.17816/humeco609574.
15. Способ санации воздуха в помещении: пат. RU 2787940 / И.И. Новикова, Н.Ф. Чуенко, М.А. Лобкис, Н.А. Зубцовская, С. П. Романенко, Н.В. Цыбуля, Т.Д. Фершалова. – Опубл. 13.01.2023.
16. Биологические особенности растений, определяющие их влияние на качество воздушной среды / Н.Ф. Чуенко, О.А. Савченко, А.С. Говоруха // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», Минск, 05-06 декабря 2024 года. – Минск: НИИ ГТ ЭВМ РЦГЭиОЗ, 2024. – С. 169-172.
17. Новикова И.И., Чуенко Н.Ф., Савченко О.А. Алгоритм подбора комнатных растений для улучшения качества воздушной среды закрытых помещений // Медицина в Кузбассе. 2024. Т. 23, № 1. С. 58-64. doi: 10.24412/2687-0053-2024-1-58-64.
18. Здоровьесбережение - комнатные растения - самочувствие человека / О.А. Савченко, Н.Ф. Чуенко, О.А. Савченко, О.О. Савченко // Проблемы гигиенической безопасности и профилактики нарушений трудоспособности у работающих: Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической интернет-конференции с международным участием, Нижний Новгород, 28–29 ноября 2024 года. – Нижний Новгород: Медиаль, 2025. – С. 210-214.
19. Здоровьесбережение трудового контингента Российской Федерации / О.А. Савченко, Н.Ф. Чуенко, О.А. Савченко [и др.] // Сборник материалов международной научно-практической конференции «здоровье и окружающая среда», Минск, 05–06 декабря 2024 года. – Минск: НИИ ГТ ЭВМ РЦГЭиОЗ, 2024. – С. 121-123.
20. Современное состояние медицины окружающей среды и оценка риска состояния здоровья населения / О. А. Савченко, И. И. Костюк, И. Ю. Кропотов [и др.] // Наука и военная безопасность. – 2023. – № 4(35). – С. 80-87.