

Определение приоритетных загрязнителей воздушной среды закрытых помещений

О.Л. Маркова, Е.В. Зарицкая, М.Н. Кирьянова, Е.В. Иванова

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

Резюме

Введение. Развитие цифровых технологий привело к тому, что более половины трудоспособного населения работает в помещениях в отсутствие технологического оборудования и производственных источников выделения вредных веществ. Однако длительное пребывание работающих в закрытых помещениях вызывает жалобы на состояние воздушной среды и микроклимат.

Цель исследования. Данная работа была направлена на изучение загрязнителей воздушной среды при моделировании условий пребывания людей в неветилируемом помещении закрытого типа в экспериментальных условиях.

Материалы и методы. Для определения загрязнителей были использованы современные высокоточные аналитические методы: фотоионизационный, лазерная нефелометрия, газозная хемилюминесценция, спектрофотометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография с детектором на основе диодной матрицы (ВЭЖХ-ДМ) и газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС).

Результаты. Изучена динамика поступления окислов азота, проп-2-енитрила, ацетальдегида, бензола, бут-2-енала; взвешенных частиц (PM_{2.5}; PM₁₀), метилбензола, 2-метилбута-1,3-диена, формальдегида, проп-2-ен-1-оля, углерода оксида и диоксида в воздушную среду в зависимости от времени пребывания добровольцев (фон, 1,5; 3,0; 4,5 часа) в помещении площадью 15,9 м² (4,0 м²/человека) с высотой потолка 2,55 м. На основании проведенного исследования определены загрязнители, вносящие приоритетный вклад в формирование воздушной среды помещений в присутствии людей: ацетальдегид, формальдегид, проп-2-ен-1-аль, углерода диоксид. В результате выполненных лабораторных исследований были определены 83 летучих и среднелетучих органических соединения, находящихся в неветилируемом помещении. Основными классами органических веществ, преобладающих в помещении, являются ароматические углеводороды, сложные эфиры, альдегиды.

Заключение. Полученные значения концентраций приоритетных веществ могут быть использованы при проектировании систем вентиляции в помещениях закрытого типа. Результаты данной работы могут быть полезны при разработке мероприятий по режиму труда и отдыха на рабочих местах.

Ключевые слова: воздух закрытых помещений, загрязнители, моделирование качества воздуха, микроклимат помещений.

Для цитирования: Маркова О.Л., Зарицкая Е.В., Кирьянова М.Н., Иванова Е.В. Определение приоритетных загрязнителей воздушной среды закрытых помещений // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 9. С. 62–68. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-9-62-68>

Сведения об авторах:

✉ **Маркова** Ольга Леонидовна – к.б.н., старший научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения; e-mail: olleonmar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-7950>.

Зарицкая Екатерина Викторовна – руководитель отдела лабораторных исследований; e-mail: zev-79@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2481-1724>.

Кирьянова Марина Николаевна – к.м.н., старший научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения; e-mail: mrn@ro.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-0301>.

Иванова Елена Викторовна – научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения; e-mail: ventileaciya48@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9461-9979>.

Информация о вкладе авторов: *Маркова О.Л.* – литературный обзор, концепция и дизайн исследования, выбор аналитических методов, первичная обработка и анализ результатов измерений, написание текста; *Зарицкая Е.В.* – концепция и дизайн исследования, выбор аналитических методов, первичная обработка и анализ результатов измерений; *Кирьянова М.Н.* – литературный обзор, сбор и обработка экспериментальных материалов; *Иванова Е.В.* – литературный обзор, написание текста.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 08.07.21 / Принята к публикации: 20.08.21 / Опубликовано: 30.09.21

Identification of Priority Air Pollutants in Confined Spaces

Olga L. Markova, Ekaterina V. Zaritskaya, Marina N. Kir'yanova, Elena V. Ivanova

Northwest Public Health Research Center, 4 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: Owing to the rapid development of digital technologies, most people nowadays are working indoors while using no machinery or equipment and being unexposed to volatile industrial chemicals. Yet, people staying inside for too long often complain of poor indoor air quality and microclimate.

Our objective was to study air pollutants in a simulation experiment with continuous human occupancy inside unventilated confined spaces.

Materials and methods: Up-to-date sensitive analytical techniques, such as photoionization, laser nephelometry, gas-phase chemiluminescence, spectrophotometry, high-performance liquid chromatography with diode array detection (HPLC-DAD) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), were used to determine indoor air pollutants.

Results: We compared changes in airborne concentrations of nitrogen oxides, prop-2-enitrile, acetaldehyde, benzene, but-2-enal, airborne particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), methylbenzene, 2-methylbuta-1,3-diene, formaldehyde, prop-2-en-1-al, carbon oxide and dioxide following 1.5, 3.0, and 4.5 hours of stay of volunteers in a 15.9 m² room (4.0 m² per person; a 2.55 m ceiling height) against background levels. The established human occupancy-related priority pollutants included acetaldehyde, formaldehyde, prop-2-en-1-al, and carbon dioxide. Laboratory testing showed the presence of 83 volatile and semivolatile organic chemicals in the unventilated room, among which aromatic hydrocarbons, esters and aldehydes prevailed.

Conclusion: Our findings could be useful for designing ventilation systems in confined spaces and optimizing the work-break schedule during the working hours.

Keywords: air quality in confined space, airborne pollutants, simulation experiment, indoor microclimate.

For citation: Markova OL, Zaritskaya EV, Kir'yanova MN, Ivanova EV. Identification of priority air pollutants in confined spaces. *Zdorov'e Nаселениya i Sreda Obitaniya*. 2021; 29(8):62–68. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-9-62-68>

Author information:

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

Ekaterina V. Zaritskaya, Head of the Department for Laboratory Testing; Northwest Public Health Research Center; e-mail: zev-79@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2481-1724>.

Marina N. Kir'yanova, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Health Risk Analysis, Northwest Public Health Research Center; e-mail: mrn@ro.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-0301>.

Elena V. Ivanova, Research Assistant, Department of Health Risk Analysis, Northwest Public Health Research Center; e-mail: ventileaciya48@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9461-9979>.

Author contributions: Markova O.L. and Zaritskaya E.V. developed the study conception and design, selected appropriate analytical methods, processed and analyzed test results; Markova O.L. and Ivanova E.V. did a literature review and wrote the manuscript; Kir'yanova M.N. did a literature review, collected and processed experimental data; all authors reviewed the results, contributed to the discussion, and approved the final version of the manuscript.

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

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

Received: June 8, 2021 / Accepted: August 20, 2021 / Published: September 30, 2021

Введение. Стремительное развитие цифровых технологий привело к тому, что более половины трудоспособного населения работает в помещениях в отсутствие технологического оборудования и производственных источников загрязнения воздуха вредными веществами [1, 2]. Данный вид помещений может быть расположен в производственных и общественных зданиях и варьироваться в различных отраслях от складских, операторских, диспетчерских до офисных и прочих специализированных помещений. Их объединяет совокупность признаков рабочей среды: ограниченное пространство, скученность персонала, недостаточная организация воздухообмена, применение разнообразных полимерных отделочных материалов, влияние климатических условий. Как указывают результаты многих исследований, уровень загрязнения воздуха закрытых помещений в 2–5 раз выше¹, чем наружного атмосферного воздуха [3–7].

Проведенное исследование субъективной оценки влияния профессиональных факторов на самочувствие свидетельствует, что из 1146 опрошенных работников здравоохранения и образования от 42 до 57 % респондентов называют качество воздуха и параметры микроклимата закрытых помещений (кабинеты, аудитории и др.) неудовлетворительными².

Загрязнители в воздухе закрытых помещений подразделяются на две основные группы: внешнего и внутреннего генеза [5]. Из внешней среды в помещения попадают продукты сгорания автомобильного топлива, выбросы предприятий, пыль. Внутренняя среда подвергается влиянию эмиссии загрязняющих веществ из отделочных материалов, моющих средств, а также продуктов метаболизма человека. Согласно Руководству ВОЗ³ и литературным данным, это летучие соединения, относящиеся к различным классам веществ — альдегиды, предельные, непредельные и ароматические углеводороды, фенолы, формальдегид; антропогенные — оксиды азота, углекислый газ, фенолы, ацетон, аммиак и др. [1, 8–10].

Учитывая увеличение количества работающих, занятых при выполнении своих трудовых обязанностей в закрытых помещениях независимо от вида деятельности и отрасли производства,

изучение качества воздушной среды является актуальной задачей.

Цель исследования. Данная работа была направлена на изучение загрязнителей воздушной среды при моделировании условий пребывания людей в помещении закрытого типа в экспериментальных условиях.

Материалы и методы исследования. Для достижения поставленной цели был разработан дизайн исследования, включающий выбор приоритетных загрязняющих веществ, изучение динамики поступления исследуемых соединений в воздушную среду в зависимости от времени пребывания людей в помещении, исследование качественного состава воздуха, в том числе проб «неизвестного состава», регистрация параметров микроклимата и проведение гигиенической оценки полученных данных.

Для проведения эксперимента было выбрано помещение площадью 15,9 м² (4,0 м²/человека) с высотой потолка 2,55 м в здании, расположенном в центральном районе города. Загруженные автомагистрали непосредственно вблизи здания отсутствовали.

Для создания однородности воздушной среды помещение было оборудовано двумя потолочными вентиляторами. При выборе помещения старались минимизировать наличие в отделке синтетических материалов. В отделке помещения использованы традиционные материалы: кафельная плитка, обои, водоэмульсионная краска; установлена стандартная лабораторная мебель (столы, стулья).

Подготовка помещения перед началом эксперимента включала проветривание с использованием вытяжного вентилятора, влажную уборку стен, пола, потолка, мебели с применением раствора вода-этанол в соотношении 8 : 2 без других моющих средств. На время проведения эксперимента все возможные источники воздухообмена в помещении (окна, двери, технологические люки и пр.) были герметизированы, система вентиляции выключена.

Исследования проводились троекратно в аналогичных условиях с участием смешанных групп добровольцев: мужчины, женщины в возрасте от 18 до 45 лет, которые в течение 4,5 часа были заняты умственной работой (чтение, расчеты) в положении сидя. В ходе эксперимента в помещении находились 3 добровольца и 1 сотрудник

¹ Еремин Г.Б., Ломтев А.Ю., Карелин А.О., Мозжухина Н.М., Фролова Н.М., Борисова Д.С. и др. Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности условий проживания. СПб.: Наука. 2020. 265 с.

² Сорокин Г.А. Работа, утомление и профессиональный риск. Монография. СПб.: Изд. Политехнического университета, 2016. 456 с.

³ Руководство ВОЗ по качеству воздуха в помещении: избранные загрязняющие вещества. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf.

лаборатории, осуществлявший отбор проб воздуха в центре помещения на высоте от 1 до 1,5 м от пола (в «зоне дыхания»), на расстоянии 0,7–1,0 м от испытуемых.

В ходе каждого исследования выполняли отбор проб воздуха: фоновый (до размещения участников), через 1,5, 3 и 4,5 часа нахождения испытуемой группы; пробы воздуха «неизвестного состава» отбирались только в конце каждого эксперимента – через 4,5 часа. Общее количество проб воздуха, отобранных для измерений целевых показателей, составило 60. Для каждой пробы были получены по два параллельных результата, итого – 120 результатов измерений.

Для измерений выбранных загрязнителей были использованы современные высокоточные аналитические методы: фотоионизационный, лазерная нефелометрия, газофазная хемилюминесценция, спектрофотометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография с детектором на основе диодной матрицы (ВЭЖХ-ДМ) и газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС).

Анализ проб воздуха неизвестного состава (всего 6 проб) на весь спектр летучих органических соединений (ЛОС) и среднелетучих органических соединений (СЛОС), отобранных в конце каждого эксперимента (через 4,5 часа от начала эксперимента), проводился с использованием аналитической системы, включающей:

- газовый хроматограф Agilent 7890B с масс-спектрометрическим детектором Agilent 5975C и системой термодесорбции Markes Unity II;
- газовый хроматограф Agilent 7890B с масс-спектрометрическим детектором Agilent 5977B;
- жидкостный хроматограф Agilent 1200 с детектором на основе диодной матрицы.

Санитарно-гигиенические исследования воздуха помещения выполнены Химико-аналитическим центром «Арбитраж» ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», номер аттестата аккредитации РОСС

RU.0001.510650, измерения параметров микроклимата выполнены Испытательным лабораторным центром ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», аттестат аккредитации РОСС RU.0001.511172.

Инструментальные исследования параметров микроклимата (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха) в помещении проведены в течение всего периода эксперимента четырехкратно: фоновые, через 1,5; 3; 4,5 часа с использованием метеометра МЭС-200А в соответствии с ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Для обработки результатов лабораторного анализа проб использовали программу IBM SPSS Statistics, v. 22. Рассчитывался непараметрический критерий Фридмана (модификация критерия хи-квадрат для трех и более связанных выборок), а также определяли медиану (50-й процентиль) и межквартильный диапазон (25–75-й процентили). После проведения статистической обработки результатов были выбраны максимальные концентрации по каждому веществу (медиана 50 % процентили).

Результаты исследования. На основании полученных данных была прослежена динамика изменения качества воздуха в закрытом помещении в условиях эксперимента. Результаты определения ряда соединений, представляющих интерес в рамках данного исследования, приведены в табл. 1.

Отмечается превышение гигиенических нормативов для ацетальдегида в 1,8 раза при пребывании добровольцев в закрытом помещении в течение 4,5 часа. Содержание формальдегида и проп-2-ен-1-аля также нарастало в течение каждого часа и достигло максимальных значений в конце эксперимента – 0,9 и 0,8 ПДК соответственно. Концентрации углерода оксида и 2-метилбута-1,3-диена постепенно повышались и в конце

Таблица 1. Изменения концентраций вредных веществ в непроветриваемом помещении в зависимости от времени пребывания людей

Table 1. Changes in concentrations of airborne pollutants in the unventilated room depending on duration of human occupancy

Определяемые химические вещества / Analytes	CAS	ПДК, мг/м ³ / MAC, mg/m ³	Концентрация вредных веществ, мг/м ³ / Airborne concentration, mg/m ³				С/ПДК* / C/MAC*
			фон помещения / Background	1,5 часа / hrs	3,0 часа / hrs	4,5 часа / hrs	
Азот (II) оксид / Nitrogen (II) oxide	10102-43-9	0,4	0,037	0,041	0,042	0,042	0,11
Азота диоксид / Nitrogen dioxide	10102-44-0	0,2	0,022	0,020	0,021	0,021	0,11
Проп-2-еннитрил / Prop-2-enenitrile	107-13-1	0,005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,12
Ацетальдегид / Aldehyde	75-07-0	0,01	0,0080	0,014	0,017	0,018	1,8
Бензол / Benzene	71-43-2	0,3	0,0012	0,0021	0,011	0,009	0,03
1,3 Бутадиен / 1,3 Butadiene	106-99-0	3	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001
Бут-2-еналь (Е) / But-2-enal (E)	123-73-9	0,025	0,0013	0,0013	0,013	0,0013	0,05
Взвешенные частицы / PM 2,5	–	0,16	0,034	0,048	0,044	0,053	0,33
Взвешенные частицы / PM 10	–	0,3	0,048	0,042	0,047	0,050	0,17
Метилбензол / Methylbenzene	108-88-3	0,6	0,0034	0,0053	0,0054	0,0052	0,009
2-Метилбута-1,3-диен / 2-Methylbuta-1,3-diene	78-79-5	0,5	0,0065	0,023	0,038	0,051	0,1
Формальдегид / Formaldehyde	50-00-0	0,05	0,024	0,035	0,038	0,044	0,88
Проп-2-ен-1-аль / Prop-2-en-1-al	107-02-8	0,03	0,007	0,014	0,019	0,023	0,77
Углерод оксид / Carbon oxide	630-08-0	5	0,4	0,7	0,9	1,2	0,24
Углерод диоксид / Carbon dioxide	124-38-9	**	792 см ³ /м ³	1703 см ³ /м ³	3650 см ³ /м ³	5180 см ³ /м ³	–

Примечание: * С/ПДК – отношение концентрации определяемого компонента к значению ПДК; ** – оценка помещения в зависимости от содержания углерода диоксида приводится в соответствии с ГОСТ 30494–2011.

Note: * C/MAC, ratio of concentration to MAC value of the chemical; ** room assessment by carbon dioxide concentration according to GOST 30494–2011.

эксперимента были соответственно в 4 и 8 раз выше фоновых значений. Концентрации азота оксида, метилбензола выросли по сравнению с фоном в среднем на 14–50 % через 1,5 часа и не менялись в течение 4,5 часа. Содержание взвешенных частиц PM_{2,5} через 1,5 часа пребывания добровольцев превысило фоновое значение в 1,6 раза и сохранялось на данном уровне в течение эксперимента.

Содержание углерода диоксида превысило в 6,5 раза фоновые значения и составило 5180 см³/м³. Следует отметить, что в соответствии с ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» качество воздуха в исследуемом помещении по критерию содержания углерода диоксида можно отнести к наиболее неблагоприятному 4-му классу (1000 см³/м³ и более – низкое). Содержание остальных контролируемых показателей оставалось на уровне фоновых концентраций.

На следующем этапе эксперимента был выполнен анализ пробы «неизвестного состава» летучих и среднелетучих органических соединений с целью определения качественного и количественного состава воздуха в помещении. Было идентифицировано и измерено 68 химических соединений. В табл. 2 представлены результаты определения органических соединений, характеризующих воздух неветилируемого помещения, и их оценка относительно установленных нормативов.

Полученные данные подтверждают наличие органических соединений, относящихся к различным классам – предельные и непредельные, ароматические углеводороды, альдегиды, кетоны сложные эфиры органических кислот, однако концентрации данных веществ определялись на порядок ниже установленных гигиенических нормативов. Среди измеренных веществ концентрации 33 загрязнителей оказались ниже предела определения методик:

- предельные и непредельные углеводороды: 2-метилбутен-1, изомер гексана, 3-метилпентан, гексен-1, метилпентен (сумма изомеров), 2,3-бутандион, 2-метилпентадиен-1,3, гексадиен (изомер), гексадиен циклический (изомер), гептен-1, гептен изомер, тридецен-1;
- циклоалканы: 2-циклогексан-1-1(карвон), метил-циклогексадиен, 2-метилциклопентен;
- спирты: циклопентанол, фурфуроловый спирт;
- сложные эфиры: 2-этилфуран, 2,5-диметилфуран;
- кетоны: пентанон-2, циклопентанон, циклопентен-2-он-1, гептанон, ацетофенон;
- гетероциклические соединения: метилпиридин, 3-метилпиридин, 3-винилпиридин, 2,6-диметилпирозин, N-метилпиррол;
- ароматические соединения: винилбензол;
- хлорорганические соединения: тетра-хлорэтилен.

Температура воздуха в помещении повышалась от 21,2–24,8 °C в начале измерений до 25,2–27,4 °C в конце. За период наблюдений температура воздуха увеличивалась в разные дни на 1,9–3,8 °C,

при этом рост относительной влажности воздуха составил: 4–6 %. Повышение температуры – в среднем на 2,7 °C и относительной влажности воздуха – в среднем на 5,3 %, очевидно, преимущественно связано с тепло-влажновыделениями присутствующих в помещении людей.

Обсуждение. Исследования качества воздуха проведены в помещении при отсутствии оргтехники, полимерных отделочных материалов, естественной и искусственной вентиляции, что способствовало концентрированию загрязнителей и выявлению закономерностей изменения контролируемых показателей.

Анализ полученных данных показывает, что содержание загрязнителей в воздухе помещений характеризуется широким перечнем химических соединений. При динамических исследованиях были выявлены загрязнители, в основном относящиеся к продуктам метаболизма человека – оксиды азота, углерод оксид, углерод диоксид альдегиды, метилбензол, 2-метилбута-1,3-диен, причем ведущая роль принадлежит альдегидам и диоксиду углерода, что также подтверждает результаты авторов⁴, указывающих на диоксид углерода как основной поллютант офисных помещений [11–15].

Суммарная концентрация ацетальдегида, формальдегида, проп-2-ен-1-аля составила 3,45 ПДК. Содержание альдегидов в помещениях, как правило, рассматривается на примере формальдегида, в основном как индикатора качества используемых строительных материалов [8, 16–19]. Полученные результаты показывают, что при пребывании человека в непроветриваемом помещении повышается содержание формальдегида и ацетальдегида, проп-2-ен-1-аля в помещении.

Среди летучих и среднелетучих органических соединений, присутствующих в помещении, в список определяемых веществ были включены компоненты средств личной гигиены (шампунь, гель для душа, кондиционер, жидкой основы увлажняющего крема) – монотерпены, сгруппированные как 1-метил-4-изопропенил-циклогексен-1 (лимонен), смесь углеводородов на основе бутана, углеводороды, растворители [20–22].

Кроме того, многие ЛОС, используемые в потребительских товарах, имеют высокую молекулярную массу и при окислении могут преобразовываться в целый ряд соединений [23, 24]. На основании проведенных лабораторных исследований установлено, что основными классами органических веществ, преобладающими в помещении, являются ароматические углеводороды, сложные эфиры, альдегиды.

Заключение. В результате выполненных лабораторных исследований были определены 83 химических вещества, находящихся в непроветриваемом помещении. Приоритетный вклад в формирование воздушной среды помещений в присутствии людей вносят: ацетальдегид, формальдегид, проп-2-ен-1-аль, углерода диоксид.

Значения концентраций приоритетных веществ могут быть использованы при расчете в проектировании вентиляции в помещениях закрытого

⁴ Moriske H-J, Szewzyk R. Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. Umweltbundesamt Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes. 2008.

Grun G, Urlaub S. Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe. Study Report Titel. Fraunhofer Institut Tur Bauphysik, IBP.-Stuttgart, 10.12.2015.

Mensch-Umwelt-Gesundheit, Bericht CO₂: <http://raumluft.Linux47.webhome.at/natuerliche-mechanische-lueftung/co2-als-lueftungsindikator/-P.2>.

Таблица 2. Результаты измерений ЛОС и СЛОС в воздухе модельного помещения

Table 2. Results of measuring indoor concentrations of volatile and semivolatile organic compounds in the simulation experiment

Определяемые химические вещества / Analytes	CAS	ПДКм.р., мг/м ³ / MACm.s., mg/m ³ **	Концентрация, мг/м ³ / Concentration, mg/m ³	С/ПДК* / С/MAC*
Алифатические углеводороды / Aliphatic hydrocarbons				
Гексан / Hexane	110-54-3	60	0,0003	0,00001
Гептан / Heptane	142-82-5	50	0,00067	0,00004
Октан / Octane	111-65-9	Смесь предельных углеводородов C ₆ H ₁₄ – C ₁₀ H ₂₂ / A mixture of saturated hydrocarbons C ₆ H ₁₄ – C ₁₀ H ₂₂	0,001	
Нонан / Nonane	111-84-2		0,00033	
Ундекан / Undecane	1120-01-4	–	0,0033	
Додекан / Dodecane	112-40-3	–	0,0047	
Тридекан / Tridecane	629-50-5	–	0,004	
Пентадекан / Pentadecane	629-62-9	–	0,0017	
Гексадекан / Hexadecane	544-76-3	–	0,00067	
Непредельные углеводороды / Unsaturated hydrocarbons				
2-Метилпроп-1-ен / 2-Methylprop-1-ene	115-11-7	10	0,0015	0,0002
Ароматические углеводороды / Aromatic hydrocarbons				
Этилбензол / Ethylbenzene	100-41-4	0,02	0,008	0,4
1,3 Диметилбензол / 1,3-Dimethylbenzene	1330-20-7	0,25	0,024	0,096
1,2 Диметилбензол / 1,2-Dimethylbenzene	95-47-6	0,3	0,012	0,04
С3-замещенные бензолы (суммарно) / C3-substituted benzenes (total)		–	0,011	
С4-замещенные бензолы (суммарно) / C4-substituted benzenes (total)		–	0,0063	
Гидроксibenзол / Hydroxybenzene	108-95-2	0,01	0,002	0,2
1,2,4,5-Тетраметилбензол / 1,2,4,5-Tetramethylbenzene	95-93-2	0,025	0,009	0,36
Сложные эфиры / Esters				
Этилбутират / Ethyl butyrate	105-54-4	0,05 ОБУВ / ISEL ¹	0,001	0,02
Бутилацетат / Butyl acetate	123-86-4	0,1	0,015	0,15
1-Метил-4-изопропенил-циклогексен-1 / 1-Methyl-4-isopropenyl-cyclohexene-1	138-86-3	0,08	0,022	0,28
3-Гидрокси-2,2,4-триметилпентиловый эфир изомасляной кислоты / 3-Hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester of isobutyric acid	25265-77-4	–	0,0027	
2-Феноксизтанол / 2-Phenoxyethanol	122-99-6	0,05 ОБУВ / ISEL	0,00033	0,007
Альдегиды / Aldehydes				
Гексаналь / Hexanal	66-25-1	0,02	0,0027	0,135
Бензальдегид / Benzaldehyde	100-52-7	0,04	0,004	0,1
Деканаль / Decanal	112-31-2	0,02	0,001	0,05
Спирты / Spirits				
2-Этилгексанол / 2-Ethylhexanol	104-76-7	0,15	0,014	0,09
Органические кислоты / Organic acids				
Уксусная кислота / Acetic acid	64-19-7	0,2	0,002	0,01
Пиридин-4-карбоксигидразид / Pyridine-4-carboxyhydrazide	54-85-3	0,05	0,00067	0,013
Кетоны / Ketones				
Пропан-2-он / Propan-2-on	67-64-1	0,35	0,002	0,0057
Другие классы органических веществ / Other organic chemicals				
Ацетонитрил / Acetonitrile	75-05-8	0,1 ОБУВ / ISEL	0,003	0,03
Дихлорметан / Dichloromethane	75-09-2	8,8	0,001	0,0001
Пиридин / Pyridine	110-86-1	0,08	0,0037	0,046
Бензилкарбонил / Benzyl carbonyl	100-51-6	0,16	0,002	0,013
[1R-]-5-Метил-2-(1-метилэтил) циклогексанол / [1R-]-5-methyl-2-(1-methylethyl)cyclohexanol	89-78-1	0,03 ОБУВ / ISEL	0,001	0,03
2-Метилнафталин (сумма) / 2-Methylnaphthalene (total)	90-12-0	0,02 ОБУВ / ISEL	0,00033	0,17

Примечание: * С/ПДК – отношение концентрации определяемого компонента к значению ПДК.

Note: * С/MAC, ratio of concentration to MAC value of the chemical; ** m.s., max single; ¹ ISEL, indicative safe exposure level.

типа, предназначенных для длительного пребывания людей.

Целесообразно обратить внимание на результаты данной работы при разработке мероприятий по режиму труда и отдыха на рабочих местах.

Список литературы

1. Дударев А.Я., Сорокин Г.А. Актуальные проблемы гигиены труда и профессиональной патологии офисных работников // Медицина труда и промышленная экология. 2012. № 4. С. 1–8.
2. Кирьянова М.Н., Маркова О.Л., Иванова Е.В. Актуальные вопросы качества воздушной среды офисных помещений. Профилактическая медицина – 2017: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 06–07 декабря 2017 года. Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, 2017. С. 9–14.
3. Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Бадаева Е.А., Смирнов В.В., Зарицкая Е.В. К вопросу о гигиенических требованиях к качеству воздуха закрытых помещений на объектах жилищного строительства на стадии ввода в эксплуатацию // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 6. С. 608–612. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-608-612
4. Зарицкая Е.В., Сладкова Ю.Н., Смирнов В.В. Воздух помещений: актуальные проблемы, влияние на здоровье, меры профилактики // Санитарный врач. 2018. № 4. С. 49–54.
5. Иванова Е.В., Маркова О.Л., Кирьянова М.Н. Особенности формирования воздушной среды в современных жилых зданиях // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 10 (319). С. 50–53. doi: 10.35627/2219-5238/2019-319-10-50-53
6. Малышева А.Г. Летучие органические соединения в воздушной среде жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. 1999. № 1. С. 43–46.
7. Лебедева Н.В., Фурман В.А., Кислицин В.А. и др. Влияние строительного-отделочных материалов и новой мебели на возникновение респираторных заболеваний у детей // Гигиена и санитария. 2004. № 4. С. 49.
8. Tang X, Misztal PK, Nazaroff WW, Goldstein AH. Volatile organic compound emissions from humans indoors. *Environ Sci Technol*. 2016;50(23):12686–12694. doi: 10.1021/acs.est.6b04415
9. Rossignol S, Rio C, Ustache A, et al. The use of a housecleaning product in an indoor environment leading to oxygenated polar compounds and SOA formation: Gas and particulate phase chemical characterization. *Atmos Environ*. 2013;75:196–205. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.03.045
10. Liu Y, Misztal PK, Xiong J, et al. Characterizing sources and emissions of volatile organic compounds in a northern California residence using space- and time-resolved measurements. *Indoor Air*. 2019;29(4):630–644. doi: 10.1111/ina.12562
11. Квашнин И.М., Гурин И.И. К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию CO₂ в наружном и внутреннем воздухе // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. № 5. С. 34–39.
12. Наумов А.Л., Капко Д.В. CO₂: Критерий эффективности систем вентиляции // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 1. С. 12–21.
13. Мониторинг CO₂ и качество воздуха в помещениях // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2021. № 4. С. 66–71.
14. Laverge J, Delghust M, Janssens A. Carbon dioxide concentrations and humidity levels measured in Belgian

standard and low energy dwellings with common ventilation strategies. *Int J Vent*. 2015;14(2):165–180. doi: 10.1080/14733315.2015.11684078

15. Губернский Ю.Д., Калинина Н.В., Гапонова Е.Б., Банин И.М. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. 2014. Т. 94. № 6. С. 37–41.
16. Lefebvre MA, Meuling WJA, Engel R, et al. Consumer inhalation exposure to formaldehyde from the use of personal care products/cosmetics. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2012;63(1):171–176. doi: 10.1016/j.yrtph.2012.02.011
17. Губернский Ю.Д., Калинина Н.В. Гигиеническая характеристика химических факторов риска в условиях жилой среды // Гигиена и санитария. 2001. Т. 94. № 1. С. 21–24.
18. Никифорова Н.В., Кокоулина А.А., Загородной С.Ю. Оценка загрязненности воздуха жилых помещений формальдегидом в условиях применения полимер-содержащих строительных и отделочных материалов // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 1. С. 28–32.
19. Никифорова Н.В., Май И.В. К проблеме нормирования миграции формальдегида из полимерсодержащих строительных, отделочных материалов и мебели // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 1. С. 43–49.
20. Yeoman AM, Shaw M, Carslaw N, Murrells T, Passant N, Lewis AC. Simplified speciation and atmospheric volatile organic compound emission rates from non-aerosol personal care products. *Indoor Air*. 2020;30(3):459–472. doi: 10.1111/ina.12652
21. Sarwar G, Olson DA, Corsi RL, Weschler CJ. Indoor fine particles: the role of terpene emissions from consumer products. *J Air Waste Manag Assoc*. 2004;54(3):367–377. doi: 10.1080/10473289.2004.10470910
22. Singer BC, Destailats H, Hodgson AT, Nazaroff WW. Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations of glycol ethers and terpenoids. *Indoor Air*. 2006;16(3):179–191. doi: 10.1111/j.1600-0668.2005.00414.x
23. Lejbovich LI. Purification of internal air of buildings from organic products of human metabolism. *Modern Engineering and Innovative Technologies*. 2019;1(07-01):4–7. (In Russ.) doi: 10.30890/2567-5273.2019-07-01-001
24. Steinemann AC. Fragranced consumer products and undisclosed ingredients. *Environ Impact Assess Rev*. 2009;29(1):32–38. doi: 10.1016/j.eiar.2008.05.002

References

1. Dudarev AA, Sorokin GA. Pressing problems of labor hygiene and occupational pathology among office workers. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2012;(4):1–8. (In Russ.)
2. Kir'yanova MN, Markova OL, Ivanova EV. [Urgent problems of air quality in office rooms.] In: *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Preventive Medicine–2017", St. Petersburg, December 6–7, 2017*. St. Petersburg: I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University Publ., 2017:9–14. (In Russ.)
3. Kriyt VE, Sladkova YuN, Badaeva EA, Smirnov VV, Zaritskaya EV. On the issue of hygienic requirements for air quality of enclosed spaces at housing construction projects at the stage of commissioning. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(6):608–612. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-608-612
4. Zaritskaya EV, Sladkova YuN, Smirnov VV. Indoor air: actual problems, health effects, preventive measures. *Sanitarnyy Vrach*. 2018;(4):49–54. (In Russ.)
5. Ivanova EV, Markova OL, Kir'yanova MN. Peculiarities of air environment formation in modern residential buildings. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019;(10(319)):50–53. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-319-10-50-53

6. Malysheva AG. [Volatile organic compounds in indoor air of residential and public buildings.] *Gigiena i Sanitariya*. 1999;(1):43–46. (In Russ.)
7. Lebedeva NV, Furman VD, Kislitsin VA, *et al*. Impact of building and finishing materials and new furniture on the occurrence of respiratory diseases in children. *Gigiena i Sanitariya*. 2004;(4):49. (In Russ.)
8. Tang X, Misztal PK, Nazaroff WW, Goldstein AH. Volatile organic compound emissions from humans indoors. *Environ Sci Technol*. 2016;50(23):12686–12694. doi: 10.1021/acs.est.6b04415
9. Rossignol S, Rio C, Ustache A, *et al*. The use of a housecleaning product in an indoor environment leading to oxygenated polar compounds and SOA formation: Gas and particulate phase chemical characterization. *Atmos Environ*. 2013;75:196–205. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.03.045
10. Liu Y, Misztal PK, Xiong J, *et al*. Characterizing sources and emissions of volatile organic compounds in a northern California residence using space- and time-resolved measurements. *Indoor Air*. 2019;29(4):630–644. doi: 10.1111/ina.12562
11. Kvashnin IM, Gurin II. [On the issue of air exchange regulation as regards CO₂ concentration in outdoor and indoor air.] *AVOK: Ventilyatsiya, Otoplenie, Konditsionirovanie Vozdukha, Teplosnabzhenie i Stroitel'naya Teplofizika*. 2008;(5):34–39. (In Russ.)
12. Naumov AL, Kapko DV. [CO₂: Ventilation system efficiency criterion.] *AVOK: Ventilyatsiya, Otoplenie, Konditsionirovanie Vozdukha, Teplosnabzhenie i Stroitel'naya Teplofizika*. 2015;(1):12–21. (In Russ.)
13. [CO₂ monitoring and indoor air quality.] *AVOK: Ventilyatsiya, Otoplenie, Konditsionirovanie Vozdukha, Teplosnabzhenie i Stroitel'naya Teplofizika*. 2021;(4):66–71. (In Russ.)
14. Laverge J, Delghust M, Janssens A. Carbon dioxide concentrations and humidity levels measured in Belgian standard and low energy dwellings with common ventilation strategies. *Int J Vent*. 2015;14(2):165–180. doi: 10.1080/14733315.2015.11684078
15. Gubernskiy YuD, Kalinina NV, Gaponova EB, Banin IM. Rationale for the permissible level of carbon dioxide in indoor air in residential and public buildings with the permanent human presence. *Gigiena i Sanitariya*. 2014;(93(6)):37–41. (In Russ.)
16. Lefebvre MA, Meuling WJA, Engel R, *et al*. Consumer inhalation exposure to formaldehyde from the use of personal care products/cosmetics. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2012;63(1):171–176. doi: 10.1016/j.yrtph.2012.02.011
17. Gubernskiy YuD, Kalinina NV. [Hygienic characteristics of chemical risk factors in a residential environment.] *Gigiena i Sanitariya*. 2001;94(1):21–24. (In Russ.)
18. Nikiforova NV, Kokoulina AA, Zagorodnov SYu. Evaluation of indoor air pollution with formaldehyde in conditions of the use of constructional and finish materials with polymeric components. *Gigiena i Sanitariya*. 2016;95(1):28–32. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-28-32
19. Nikiforova NV, May IV. To the problem of rating the migration of formaldehyde from polymer containing building, finishing materials and furniture. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(1):43–49. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-43-49
20. Yeoman AM, Shaw M, Carslaw N, Murrells T, Passant N, Lewis AC. Simplified speciation and atmospheric volatile organic compound emission rates from non-aerosol personal care products. *Indoor Air*. 2020;30(3):459–472. doi: 10.1111/ina.12652
21. Sarwar G, Olson DA, Corsi RL, Weschler CJ. Indoor fine particles: the role of terpene emissions from consumer products. *J Air Waste Manag Assoc*. 2004;54(3):367–377. doi: 10.1080/10473289.2004.10470910
22. Singer BC, Destailats H, Hodgson AT, Nazaroff WW. Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations of glycol ethers and terpenoids. *Indoor Air*. 2006;16(3):179–191. doi: 10.1111/j.1600-0668.2005.00414.x
23. Lejbovich LI. Purification of internal air of buildings from organic products of human metabolism. *Modern Engineering and Innovative Technologies*. 2019;1(07-01):4–7. (In Russ.) doi: 10.30890/2567-5273.2019-07-01-001
24. Steinemann AC. Fragranced consumer products and undisclosed ingredients. *Environ Impact Assess Rev*. 2009;29(1):32–38. doi: 10.1016/j.eiar.2008.05.002

