DOI: https://doi.org/10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

Роль комнатных растений в изменении качества воздушной среды в помещениях дошкольных образовательных организаций

Н.Ф. Чуенко[1], И.И. Новикова[1], М.А. Лобкис[1], С.П. Романенко[1], О.А. Савченко[1], В.А. Ширинский[2], Ж.В. Гудинова[2]

[1] Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены, Новосибирск, Россия;
[2] Омский государственный медицинский университет, Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В современных условиях на здоровье детей большое значение оказывает качество воздушной среды. Период обучения в дошкольных образовательных организациях значительно влияет на здоровье детей, которое зависит от соответствия условий воспитания и обучения санитарно-эпидемиологическим нормам и установленным гигиеническим стандартам. Анализируя отечественные и зарубежные научные исследования, можно отметить, что низкое качество воздуха, микроклимата, комфорта в помещениях с присутствием диоксида углерода оказывает неблагоприятное воздействие на функциональное состояние детей. Это является одной из причин низкой трудоспособности и мозговой деятельности, а также приводит к снижению иммунитета, значительно повышая риски заболеваемости детей. Важно отметить, что уровень углекислого газа (CO_2) по-прежнему остаётся ненормируемым показателем и представляет собой фактор риска в учреждениях, где находятся дети как временно, так и постоянно.

Цель. Оценка использования комнатных растений для повышения качества воздуха в закрытых помещениях дошкольных образовательных организаций.

Материалы и методы. Мониторинг микроклиматических показателей и качества воздушной среды осуществлялся в двух игровых помещениях детского сада комбинированного вида «Радуга». В групповых ячейках разместили определённый вид комнатных растений, являющихся безопасными и безвредными для детей и обладающих доказанной антимикробной активностью с санирующими и газопоглотительными свойствами. В группах наблюдения и контроля был установлен прибор EClerk-Eco-RHTC (Новосибирск, Россия), предназначенный для непрерывного измерения, контроля и регулирования важнейших для здоровья человека параметров воздушной среды (температуры, относительной влажности воздуха, концентрации в воздухе CO_2) и сигнализирующий о выходе любого показателя за установленные пределы.

Результаты. Исследование по оценке качества воздуха в детском организованном коллективе «Радуга» показало, что применение рекомендованных комнатных растений в помещениях с длительным пребыванием детей способствует статистически достоверному снижению содержания углекислого газа в воздухе помещения группы наблюдения по отношению к значениям в группе контроля в 1,3 (тест Краскела–Уоллиса, p <0,05) и 1,2 (тест Краскела–Уоллиса, p <0,05) раза соответственно при размещении растений с площадью листового аппарата 1,7 и 2,5 м^2 на площади помещения 48 м^2.

Заключение. Эффективность повышения качества воздуха в игровых помещениях дошкольных образовательных организаций зависит от площади листовой поверхности рекомендуемых растений и их рационального распределения с учётом эффективного радиуса воздействия. Использование комнатных растений с комплексом фитонцидных, газопоглотительных и транспирирующих свойств способствует улучшению качества воздуха и снижению уровня концентрации CO_2 в закрытых помещениях дошкольных образовательных организаций.

Ключевые слова: закрытые помещения; дошкольные образовательные организации; дети; углекислый газ; использование комнатных растений; повышение качества воздуха; оценка эффективности.

Как цитировать:
Чуенко Н.Ф., Новикова И.И., Лобкис М.А., Романенко С.П., Савченко О.А., Ширинский В.А., Гудинова Ж.В. Роль комнатных растений в изменении качества воздушной среды в помещениях дошкольных образовательных организаций // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 90–99.
DOI: 10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

Рукопись поступила: 17.01.2025 **Рукопись одобрена:** 21.04.2025 **Опубликована online:** 15.06.2025

ЭКО•ВЕКТОР
Распространяется на условиях лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

The Effect of Indoor Plants on Indoor Air Quality in Child Care Centers

Natalia F. Chuenko[1], Irina I. Novikova[1], Maria A. Lobkis[1], Sergey P. Romanenko[1], Oleg A. Savchenko[1], Vladimir A. Shirinskii[2], Zhanna V. Gudinova[2]

[1] Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia;
[2] Omsk State Medical University, Omsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In the modern settings, air quality is critical to children's health. Preschool education has a significant impact on children's health, which is determined by child care centers' compliance with sanitary and epidemiological regulations and established hygienic standards. According to Russian and international studies, low air quality, poor microclimate, and reduced comfort in indoor environments caused by carbon dioxide have a negative impact on children's functional status. This reduces functional capacity and cognitive performance while also compromising the immune system, which significantly increases the risk of morbidity in children. Notably, there are currently no standards for carbon dioxide (CO_2) levels; as a result, it is a risk factor in institutions where children are housed both temporarily and regularly.

AIM: To evaluate the use of indoor plants to improve indoor air quality in child care centers.

METHODS: Microclimatic indicators and air quality were monitored in two playrooms of the Raduga combined-type kindergarten. A specific type of indoor plants was used; the selected plants were safe and harmless to children, with proven antibacterial, air-sanitizing, and gas-absorbing properties. EClerk-Eco-RHTC devices (Novosibirsk, Russia) were installed in the observation and control groups to continuously measure, monitor, and regulate air parameters essential for human health (temperature, relative humidity, CO_2 concentration), alerting users when any value exceeded preset thresholds.

RESULTS: The air quality study in the Raduga kindergarten showed that the recommended indoor plants in rooms where children stay for extended periods provided a significant decrease in carbon dioxide levels in the observation group compared to the control group: by 1.3-fold (Kruskal–Wallis test, $p < 0.05$) and 1.2-fold (Kruskal–Wallis test, $p < 0.05$), respectively, when plants with leaf surface areas of 1.7 m^2 and 2.5 m^2 were placed in a 48 m^2 room.

CONCLUSION: The effectiveness of improving air quality in playrooms of child care centers depends on the leaf surface area of the recommended plants and their rational distribution, taking into account the effective radius of impact. Indoor plants with a combination of phytoncidal, gas-absorbing, and transpiring properties improve indoor air quality and reduce CO_2 concentrations in child care centers.

Keywords: indoor air; child care centers; children; carbon dioxide; indoor plant use; air quality improvement; efficacy assessment.

To cite this article:
Chuenko NF, Novikova II, Lobkis MA, Romanenko SP, Savchenko OA, Shirinskii VA, Gudinova ZhV. The effect of indoor plants on indoor air quality in child care centers. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(2):90–99. DOI: 10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

Received: 17.01.2025 **Accepted:** 21.04.2025 **Published online:** 15.06.2025

ECO•VECTOR

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

室内植物在改善学前教育机构室内空气质量中的作用

Natalia F. Chuenko[1], Irina I. Novikova[1], Maria A. Lobkis[1], Sergey P. Romanenko[1], Oleg A. Savchenko[1], Vladimir A. Shirinskii[2], Zhanna V. Gudinova[2]

[1] Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia;
[2] Omsk State Medical University, Omsk, Russia

摘要

论证。在当前条件下，空气环境质量对儿童健康具有重要影响。学龄前教育机构的教育阶段对儿童健康产生显著作用，其状态取决于养育与教学环境是否符合卫生防疫规范及既定的卫生标准。分析俄罗斯和国外的科学研究结果表明，室内空气质量不良、微气候条件欠佳以及二氧化碳的存在，会对儿童的功能状态产生不利影响。这是导致儿童劳动能力下降、脑功能减退以及免疫力降低，从而显著增加其患病风险的原因之一。值得注意的是，二氧化碳（CO_2）浓度目前仍未被纳入规范指标，然而它在儿童临时或长期停留的机构中构成了潜在风险因素。

目的。评估在学前教育机构封闭室内环境中使用室内植物以提升空气质量的效果。

材料与方法。在“Raduga”综合型幼儿园的两个游戏活动室内开展了微气候参数和空气质量的监测工作。在实验组教室内摆放了特定种类的室内植物，这些植物对儿童安全无害，且具有经证实的抗菌活性，并具备净化和气体吸附功能。实验组与对照组均配备了EClerk-Eco-RHTC（俄罗斯新西伯利亚）多功能监测仪，用于持续测量、控制和调节空气中对健康至关重要的参数（温度、相对湿度及CO2浓度），并在超出设定范围时提供警报提示。

结果。在“Raduga”幼儿园开展的室内空气质量评估研究表明，在儿童长期停留的教室内配置推荐的室内植物，在叶面积分别为1.7 和2.5 m^2、教室面积为48 m2的条件下，与对照组相比，观察组室内空气中的CO_2 浓度分别降低了1.3倍（Kruskal – Wallis检验，$p < 0.05$）和1.2倍（Kruskal – Wallis检验，$p < 0.05$），差异具有统计学意义。

结论。提升学前教育机构游戏室空气质量的有效性，取决于所推荐植物的叶面积大小及其在空间中的合理分布，并应考虑其有效作用半径。具有挥发性抑菌、气体吸附和蒸腾功能的室内植物，有助于改善学前教育机构封闭空间内的空气质量，并降低CO_2浓度。

关键词：封闭空间；学前教育机构；儿童；二氧化碳；室内植物利用；空气质量改善；效果评估。

引用本文：
Chuenko NF, Novikova II, Lobkis MA, Romanenko SP, Savchenko OA, Shirinskii VA, Gudinova ZhV. 室内植物在改善学前教育机构室内空气质量中的作用. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(2):90–99. DOI: 10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

收到: 17.01.2025 **接受:** 21.04.2025 **发布日期:** 15.06.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Ключевым аспектом благополучия и процветания государства является укрепление здоровья детей дошкольного и школьного возраста. В настоящее время исследование состояния здоровья детского населения и факторов, влияющих на него, остаётся важной задачей, требующей особого внимания и контроля. В этом контексте особое значение имеют условия обучения и воспитания детей в дошкольных образовательных организациях (ДОО) [1].

Период дошкольного обучения оказывает значительное влияние на формирование психического и физического здоровья учащихся, которое зависит от соблюдения образовательных условий и гигиенических стандартов. Неблагоприятные факторы окружающей среды снижают иммунитет у ребёнка, что может привести к негативным последствиям как для психического, так и для физического здоровья. Именно поэтому контроль и оздоровление параметров воздушной среды, включая прежде всего физические и химические факторы, являются одной из ключевых задач для создания благоприятных условий в образовательных организациях. Особое внимание следует уделить качеству воздуха, которым дышат дети в течение дня: показатель концентрации диоксида углерода в диапазоне от 300 до 400 ppm считается эталонным воздухом для детей; от 400 до 600 ppm предлагается для детей школьного возраста; при 600 ppm и выше проявляются жалобы на плохое самочувствие, усталость, снижение работоспособности и концентрации внимания. В течение дня диоксида углерода, как правило, накапливается в помещении. По сведениям медицинских работников, у детей с высокой концентрацией диоксида углерода часто наблюдаются тяжёлое дыхание, одышка, сухой кашель и ринит. Рост концентрации диоксида углерода в помещении приводит к возникновению приступов астмы у детей-астматиков. Из-за повышения концентрации диоксида углерода в помещении увеличивается число пропусков посещения ДОО по болезни. Респираторные инфекции и астма являются основными заболеваниями в дошкольных учреждениях.

В состав воздуха входит смесь газов (азота, кислорода, аргона, углекислого газа), водяных паров и других компонентов. Кислород для человека является основой жизни и составляет 20,9% воздуха. При снижении уровня кислорода у человека проявляются признаки гипоксии (кислородного голодания), иногда это может привести к летальному исходу. Это происходит в плохо проветриваемых и вентилируемых закрытых помещениях.

Диоксид углерода, газ без цвета и запаха, аккумулируется в нижнем слое замкнутого пространства. Первоисточником диоксида углерода является человек [2]. Именно поэтому возникает вопрос о нормировании диоксида углерода в учебных организациях. Недостаточное проветривание и плохая система вентиляции не позволяют достигать оптимальных параметров микроклимата в течении дня. Например, для качественного проветривания помещений требуется более двух часов, в дошкольных организациях выполнять это не представляется возможным, тем более по СанПиНу проветривание помещения запрещено в присутствии детей. С появлением современных строительных и отделочных материалов снижается качество воздуха. Экологические деревянные окна заменили на герметичные, воздухонепроницаемые окна из пластика, поэтому в помещении образуется спёртый воздух. В связи с этим большую актуальность приобретает контроль за состоянием воздуха в закрытых помещениях [3].

В Германии и других странах Европейского союза до настоящего времени нет нормативно-правовых актов по урегулированию параметров микроклимата. Согласно стандарту DIN 1946, часть 2, предположительным гигиеническим нормативом считается содержание диоксида углерода в помещении 1500 миллионных долей [3, 4]. В государствах Северной Европы нормы диоксида углерода составляют от 1000 до 1200 миллионных долей. Согласно директиве TRGS 900 об опасных веществах, допустимая концентрация диоксида углерода для рабочей зоны составляет 5000 миллионных долей. Избыток диоксида углерода в воздухе закрытых помещений мешает сосредоточиться и справляться с учебной нагрузкой. В одном из исследований показано, что большую часть времени дети проводят вне дома, а именно в учебном заведении, время учебного дня составляет до 9 ч, при этом показатель CO_2 в воздухе варьирует в диапазоне от 1300 до 2500 миллионных долей [3]. При таком состоянии воздушной среды снижаются сосредоточенность, усидчивость и восприятие школьного материала. В США образовательным организациям рекомендуется поддерживать параметр диоксида углерода на уровне не выше 600 миллионных долей. На территории Российской Федерации приемлемым показателем содержания диоксида углерода в воздухе закрытых помещений считается значение 800 миллионных долей [3, 5].

Следует подчеркнуть, что конструирование вентиляционной системы базируется на установленных нормах воздухообмена. В России минимальным воздухообменным показателем считается 30 м^3/ч (в европейских государствах — 72 м^3/ч), он не зависит от параметров помещения, а только от вентилирования. В результате концентрация диоксида углерода в воздухе может доходить до 1000 миллионных долей, а во время физической нагрузки переходить за верхние границы нормы. Следовательно, норматив воздухообмена в 30 м^3/ч, принятый в России, не гарантирует благоприятного микроклимата в помещении [3, 6].

Вопрос об улучшении воздушной среды в закрытых помещениях общеобразовательных учреждений обусловлен ростом случаев астмы и респираторных заболеваний среди детей, которые проводят значительную часть своей жизни в школьных помещениях, а также результатами исследований, подтверждающих взаимосвязь параметров

качества воздуха в помещениях общеобразовательных и дошкольных учреждений и наличия заболеваний, о чём свидетельствует ряд опубликованных работ зарубежных авторов. Взаимосвязь количественного содержания углекислого газа в воздухе образовательных учреждений с потенциальными последствиями для здоровья детей и подростков была обнаружена по результатам некоторых исследований [7–9].

Ранее частые респираторные заболевания связывали только с количественным содержанием углекислого газа в воздухе помещений, что в дальнейшем привело к разработке нормативной базы для школьной среды, которая определяет максимальный уровень концентрации CO_2 и минимальные скорости воздушного потока. Например, по результатам исследования Simoni et al. [10] обнаружено, что у школьников, подвергшихся воздействию уровней CO_2 более 1000 частей на миллион, значительно выше риск сухого кашля (OR: 2,99; 95% CI: 1,65–5,44) и ринита (OR: 2,07; 95% CI: 1,14–3,73). Также есть данные, напрямую доказывающие, что одним из факторов развития ринита у школьников является наличие источников формальдегида [11].

Другие исследования были посвящены оценке качества воздуха в школьных помещениях.

При исследовании параметров воздуха в школах и детских садах наблюдали географические различия между севером и югом Европы с точки зрения воздействия стресса на здоровье в образовательных организациях внутри помещений. Например, уровни загрязнения в греческих образовательных организациях показывают среднее значение 5,33 мкг/м^3 (3,1–7,8 мкг/м^3) бензола и 16,55 мкг/м^3 (13,8–20,2 мкг/м^3) формальдегида. Те же химические соединения показывают средние значения в голландских образовательных организациях: 1,42 мкг/м^3 (0,8–3,0 мкг/м^3) бензола и 13,93 мкг/м^3 (6,1–22,4 мкг/м^3) формальдегида. Обнаружено, что уровень летучих органических соединений в помещении и уровень биоаэрозоля в школах и детских садах выше, чем в других рабочих помещениях. Внутренние концентрации атмосферных альдегидов (формальдегид, ацетальдегид, пропионовый альдегид и бензальдегид) имеют более высокие значения в помещениях по сравнению с их концентрациями в атмосферном воздухе. Предполагается, что внутренние источники являются более важными факторами, влияющими на уровень загрязнения помещений, чем наружные источники, такие как выхлопные газы автомобиля. Более высокие концентрации крупнозернистых частиц наблюдаются при более высоких температурах воздуха в помещении и концентрации CO_2, при этом концентрации мелких частиц положительно коррелируют с относительной влажностью воздуха в помещении. В шумных местах, где расположены образовательные организации, как правило, закрывают окна, особенно во время занятий, что приводит к увеличению вероятности перегрева классных комнат в жаркую погоду и плохому качеству воздуха из-за отсутствия достаточной вентиляции.

В последние годы во многих странах в школах создаётся «зелёная архитектура» с целью гармонизации отношений человека и окружающей среды. Создание «зелёных школ» является чрезвычайно перспективным процессом, направленным не только на формирование дополнительных экологических городских пространств, но и на сохранение здоровья человека. Архитектурная среда и дизайн подобных школ оказывают положительное влияние на состояние здоровья учащихся, улучшают психофизический комфорт, способствуют развитию творческого и интеллектуального потенциала. Установлено, что озеленённая территория в жилой застройке положительно воздействует на душевное состояние человека, при этом снижает уровень раздражительности в кратчайшее время, с последующим снижением риска развития депрессивных симптомов в подростковом возрасте.

В последние десятилетия использованию комнатных растений в качестве средств очистки воздуха уделяется большое внимание. Испытания эффективности комнатных растений в качестве очистителя воздуха, впервые проведённые НАСА, показали, что растения обладают способностью снижать уровень загрязняющих веществ в помещении [12]. Кроме того, растёт количество исследований по комнатным растениям путём тестирования способности конкретных видов к очистке воздуха в помещении. Было проведено несколько исследований, связанных с использованием комнатных растений и их влиянием на заболеваемость детей. Исследования показали значительное снижение содержания бензола в воздухе помещения, где использовались растения. S.H. Hong et al. [13] выявили способность растений рода фикус очищать воздух помещения путём снижения уровней таких летучих органических соединений, как бензол, этилбензол, ксилол, стирол, формальдегид, ацетальдегид и толуол. В исследовании уровни загрязняющих веществ оценивали до и после использования растений. В результате уровень летучих органических соединений в помещении значительно снизился.

Фиторемедиация (или биофильтрация) в качестве метода очистки атмосферного воздуха в последние десятилетия привлекает за рубежом большое внимание, вероятно, из-за её доступности и применимости, а также экологических, экономических и социальных выгод и способности достигать нулевого уровня выбросов [14]. Было доказано, что комфортный уровень проживания, продуктивность и умственное функционирование могут быть значительно улучшены, а также уменьшается восприятие боли, когда растения присутствуют в комнате или на рабочем месте [14]. При фиторемедиации растения с их родственными микроорганизмами способны извлекать загрязняющие вещества из атмосферного воздуха, а затем разлагать или детоксифицировать их с помощью различных механизмов. Доказано, что это экологически чистый и устойчивый процесс на основе деятельности

растений, позволяющий эффективно снижать загрязнение воздуха как в помещении, так и на открытом воздухе.

В Китае была исследована скорость поглощения формальдегида листьями и способность экстрактов листьев разрушать формальдегид. Результаты показали, что формальдегид может переноситься из воздуха через листья и корни в ризосферную воду. При воздействии 0,56 мг/м^3 формальдегида скорость его удаления составляла от 18,64 до 38,47 мкг/ч. В соответствии с балансом масс в системе «воздух–растение–вода» основным механизмом потери формальдегида было его разрушение в тканях растений, вызванное как ферментативной, так и окислительно-восстановительной реакцией. Более высокие потенциалы окисления листьев-экстрактов *Wedelia chinensis* и *Desmodium motorium* соответствовали более высоким способностям к расщеплению добавленного формальдегида, чем у других растений. Окислительно-восстановительный механизм предполагает, что удаление формальдегида может быть увеличено за счёт повышения уровня активных форм кислорода, вызванных стрессом у растений из-за параметров окружающей среды [15].

По итогам литературного обзора подтверждено следующее: комнатные растения обладают фитонцидной активностью, оказывают влияние на здоровье человека, находящегося в помещении, способствуют снижению содержания углекислого газа в воздухе закрытых помещений, выделяя кислород в процессе фотосинтеза, предотвращают снижение регламентированных показателей относительной влажности воздуха при активном использовании нагревательных приборов в зимний период года. Учёт положительного влияния растений, обладающих благоприятными свойствами, на воздушную среду свидетельствует о потребности размещать комнатные растения в образовательных учреждениях. Комнатные растения обеспечивают упорядоченные параметры микроклимата воздуха закрытых помещений.

Цель исследования. Оценка использования комнатных растений для повышения качества воздуха в закрытых помещениях ДОО.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализировав коллекцию ботанического сада, мы определили безопасные для здоровья детей виды растений, рекомендованные к применению в образовательных организациях. Одним из основных условий отбора являлось отсутствие ядовитых плодов, аллергизирующей активности и иголок.

В результате было установлено 10 видов растений, соответствующих данным условиям: *Chlorophytum comosum, Aspidistra elatior, Begonia ricinifolia, Hibiscus rosa — sinensis, Kalanchoe blossfeldiana, Coleus blumei, Murraya exotica, Nephrolepis exaltata, Sansevieria trifasciata, Cyperus alternifolius*. У данных растений была определена площадь листовой пластины и их биологические параметры (высота и ширина) [7–9].

В игровых помещениях площадью 48 м^2 разместили комнатные растения и установили устройство, которое позволяет измерить параметры микроклимата и концентрацию углекислого газа в режиме онлайн. Все значения фиксировали ежеминутно с передачей в электронную базу. Полученные значения усредняли. В ходе статистического анализа и обработки полученных результатов основывались на описательной статистике. Первоначально полученные показатели оценивали на нормальность распределения, используя критерии Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Дисперсионный анализ применяли для анализа средних величин, нескольких выборок. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) был установлен 0,001. Проверку равенства нескольких выборок проводили с помощью теста Краскела–Уоллиса (H-критерий).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В данном исследовании впервые изучено влияние растений на концентрацию диоксида углерода в дошкольных организациях в зависимости от площади листовой пластины (рис. 1).

Установлено, что содержание углекислого газа в воздухе помещения группы наблюдения достоверно ниже по отношению к значениям в группе контроля: соответственно в 1,3 (тест Краскела–Уоллиса, p <0,05) и 1,2 (тест Краскела–Уоллиса, p <0,05) раза при размещении растений с площадью листового аппарата 1,7 и 2,5 м^2 на площади помещения 48 м^2 (рис. 2).

Во время игровых занятий качество воздуха в групповых ячейках значительно ухудшается, о чём свидетельствует уровень содержания CO_2, измеряемый в разное время суток (08:00, 11:00, 14:00 и 17:00 ч).

Повышенный уровень диоксида углерода наблюдался во всех исследуемых группах в течение рабочего дня.

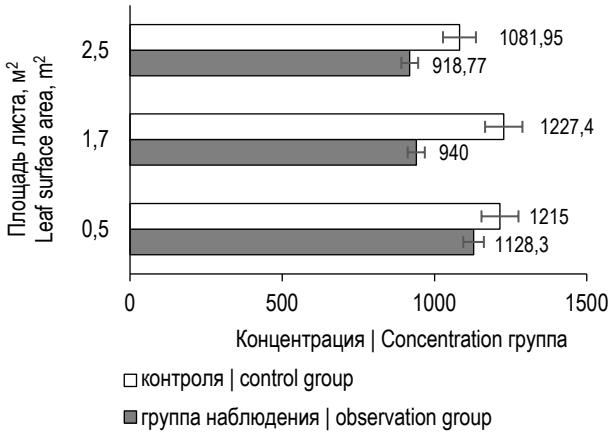

Рис. 1. Данные о содержании диоксида углерода в зависимости от площади листовой пластины.
Fig. 1. Carbon dioxide concentration depending on leaf surface area

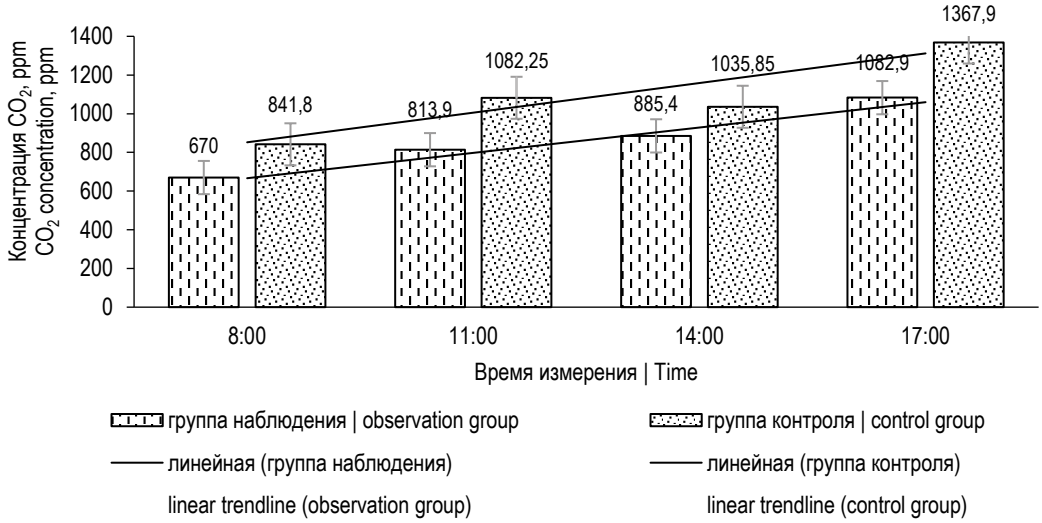

Рис. 2. Содержание углекислого газа в контрольных точках в исследуемых группах, ppm.
Fig. 2. Carbon dioxide concentrations at control points in the study groups, ppm

Тем не менее средние концентрации диоксида углерода (миллионная доля) в воздухе группы наблюдения были статистически значимо ниже по сравнению с группой, где растения отсутствовали, а в 11:00 и 17:00 ч различия имели статистически достоверный характер (тест Краскела–Уоллиса, p <0,05).

Уровень диоксида углерода в группе с установленными комнатными растениями был в 1,3 раза ниже (p <0,001) группы контроля, где растения отсутствовали, что согласуется с результатами соответствующих исследований [16, 17] и позволяет сделать вывод о необходимости контроля загрязнённости воздуха на предмет содержания диоксида углерода.

В качестве независимых переменных с учётом времени измерения, наличия растений, с поправкой на температуру и относительную влажность воздуха в помещении, дисперсионный анализ показал, что, несмотря на влияние этих факторов, содержание диоксида углерода уменьшается (по критерию Фишера, p <0,01). Динамика снижения концентрации углекислого газа в игровом помещении с установленными растениями выражается следующей линейной регрессией: y=131,02x+535,5; R^2=0,9697; в группе, где отсутствуют растения: y=153,19x+698,97; R^2=0,8288.

Таким образом, размещение представленного перечня комнатных растений с ярко выраженными фитонцидными, транспирирующими и газопоглотительными свойствами способствовало стабильному снижению концентрации углекислого газа в игровых помещениях ДОО.

ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние комнатных растений на внутреннюю среду активно исследуют с 1989 г. Была предложена идея использования растений для удаления летучих органических соединений из воздуха закрытых помещений [18].

Сейчас существует множество исследований, посвящённых удалению летучих веществ из воздуха закрытых помещений с помощью горшечных растений. Полученные данные являются первой всеобъемлющей демонстрацией способности системы горшечных растений выступать в качестве интегрированного биофильтра при удалении этих загрязнений. Например, ботанический фильтр с *E. aureum* применялся для удаления 12,3±0,24 мг/м^3 формальдегида. Результат показал, что этот биофильтр имел эффективность удаления формальдегида 32–33% даже при высокой влажности воздуха (90%). F. Torpy et al. [19] показали 57% эффективность удаления метилэтилкетона с помощью вертикального ботанического биофильтра смешанного типа.

Наши исследования, проведённые непосредственно в игровых помещениях дошкольных учреждений, позволили выявить, какая оптимальная площадь листового аппарата комнатных растений потребуется для снижения содержания концентраций углекислого газа в игровых помещениях: на площадь помещения 48 м^2 — от 1,7 до 2,5 м^2.

Установлено, что концентрация CO_2 в воздухе снижается примерно на 35%; комнатные растения могут снизить концентрацию CO_2 в помещении и определить количество углерода, поглощаемого комнатными растениями; CO_2 не токсичен, но может оказывать наркотическое действие при более высокой концентрации [20]. Российские учёные обнаружили, что хлорофитумы обладают эффективностью поглощения, что согласуется с данными китайских исследователей о концентрации CO_2 от 635 до 650 ppm. Например, в помещении площадью 30 м^2 комнатное растение с площадью листа 3,1 м^2 снижало концентрацию CO_2 на 25,7–34,3% по сравнению с помещением, где отсутствовали растения. Результаты показали, что чем больше площадь листа, тем выше эффективность удаления CO_2, а качество воздуха в помещении будет продолжать

улучшаться с помощью комнатных растений [20].

Исследования, проведённые отечественными учёными в 2021 г., показали, что к концу учебного дня в холодное время года в помещениях спортивного вуза уровень диоксида углерода превышал допустимые нормы в 100% случаев. Авторы связывают это с недостаточной эффективностью работы вентиляционных систем [3, 5, 8–10]. Для решения данной проблемы необходимо разработать и спроектировать системы климатизации в зданиях, которые обеспечат комфортные и безопасные условия для учащихся в учебных помещениях [21].

Работы отечественных архитекторов, а также исследования учёных-гигиенистов подчёркивают важность создания критериев для оценки качества воздушной среды в закрытых помещениях. Мониторинг уровня CO_2 в помещениях поможет снизить риски его негативного воздействия на здоровье [22].

По данным литературных источников известно, что растения *Chlorophytum comosum, Aspidistra elatior, Begonia ricinifolia, Hibiscus rosa — sinensis, Kalanchoe blossfeldiana, Coleus blumei, Murraya exotica, Nephrolepis exaltata, Sansevieria trifasciata, Cyperus alternifolius* обладают фитонцидными, транспирирующими и газопоглотительными свойствами, являются гипоаллергенными и нетоксичными для детей. Данный ассортимент растений не требует особого ухода.

В ходе нашего исследования установлено, что фитонцидные, газопоглотительные и транспирирующие свойства растений оказывают положительное влияние на оптимизацию психоэмоционального состояния людей. Они способствуют снижению уровня углекислого газа в воздухе закрытых помещений и помогают предотвратить снижение установленных норм относительной влажности воздуха при активном использовании обогревательных приборов в зимнее время года. Это может рассматриваться как одна из мер профилактики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ источников литературы и результатов собственного исследования по оценке использования комнатных растений для повышения качества воздуха в закрытых помещениях ДОО показал, что использование рекомендованного ассортимента комнатных растений способствует обеспечению оптимальных параметров микроклимата и снижению содержания углекислого газа до допустимых параметров (800 ppm) в групповых помещениях. Кроме того, установлена оптимальная площадь листового аппарата, необходимая для обеспечения нормируемых величин относительной влажности воздуха (2,5 м^2) и снижения концентрации углекислого газа (1,7 м^2) при площади помещения 48 м^2. Использование рекомендованного ассортимента комнатных растений будет способствовать повышению качества воздуха, а также служить мерой профилактики для снижения рисков заболеваемости детей в закрытых помещениях ДОО.

Таким образом, эффективность повышения качества воздуха в игровых помещениях ДОО зависит от площади листовой поверхности рекомендуемых растений и их рационального распределения с учётом эффективного радиуса воздействия. Использование комнатных растений с комплексом фитонцидных, газопоглотительных и транспирирующих свойств способствует улучшению качества воздуха и снижению уровня концентрации CO_2 в воздухе закрытых помещений ДОО.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.Ф. Чуенко — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, экспериментальные процедуры, анализ данных, написание текста и редактирование статьи; Ж.В. Гудинова — анализ данных; И.И. Новикова, М.А. Лобкис, С. П. Романенко, О.А. Савченко, В.А. Ширинский — редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (протокол № 2 от 29.04.2022).

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: N.F. Chuenko: formal analysis, investigation, data curation, writing—original draft, writing—review & editing; Zh.V. Gudinova: formal analysis; I.I. Novikova, M.A. Lobkis, S.P. Romanenko, O.A. Savchenko, V.A. Shirinskii: writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Rospotrebnadzor (Protocol No. 2 of April 29, 2022).

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing

does not apply to this work, as no new data was collected or created.
Generative AI: No generative AI technologies were used to prepare this article.
Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Gritsina OP, Trankovskaya LV, Semaniv EV, Lisetskaya EA. Factors forming the health of modern children and adolescents. *Pacific Medical Journal*. 2020;(3):19–24. doi: 10.34215/1609-1175-2020-3-19-24 EDN: XHSVOV
2. Mikhaylichenko KYu, Nazarov VA, Kondrashova AS, Chizhov AYa. Parameters of the school environment as a factor that affects the health of pupils. *RUDN Journal of Medicine*. 2010;(4):342–347. EDN: MWEGHN
3. Lobkis MA, Sarychev VV, Sorokina AV, Nazimkin NI. Hygienic significance of microclimate parameters and carbon dioxide content in providing a health-saving learning environment. In: *All-Russian Scientific and Practical Conference «Current issues of hygiene and prevention»*. Novosibirsk; 2024. P. 68–76. EDN: MUBVCP
4. Kuzina AD. On the issue of normalization of microclimate parameters in clean rooms. In: *International Scientific and Practical Conference «Modeling and analysis of complex technical and technological systems»*. Samara; 2018. P. 74–78. (In Russ.) EDN: YQTNZL
5. 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. *Hygiene and Sanitation.* 2014;93(6):37–41. EDN: TFANVV
6. Mansurov RSh, Gurin MA, Rubel EV. The effect of carbon dioxide concentration on the human body. *Universum: Tekhnicheskie Nauki*. 2017;(8):20–23. EDN: ZEFMXZ
7. Chuenko NF, Novikova II. Method of normalising the chemical composition and relative humidity of indoor air using indoor plants. *Journal of New Medical Technologies, Eedition*. 2024;18(5):77–83. doi: 10.24412/2075-4094-2024-5-2-3 doi: 10.24412/2075-4094-2024-5-2-3
8. Chuenko NF, Novikova II, Lobkis MA, et al. Transpiring, phytoncidal and gas-absorbing properties of indoor plants and their role in improving the air quality in preschool environments. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(10):759–769. doi: 10.17816/humeco609574 EDN: LIVXQJ
9. Patent RUS № 2823058 / 17.07.24. Byul. №20. Novikova II, Chuenko NF, Lobkis MA, et al. *Method of improving air environment of closed rooms using transpiring and gas-absorbing properties of indoor plants.* Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_68602146_35238015.PDF (In Russ.) EDN: ULKSLX
10. Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, et al. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J.* 2010;35(4):742–749. doi: 10.1183/09031936.00016309
11. Molnar P, Bellander T, Sellsten G, Boman J. Indoor and outdoor concentrations of PM 2.5 trace elements at homes, preschools and schools in Stockholm, Sweden. *J Environ Monit*. 2007;9(4):348–357. doi: 10.1039/B616858B
12. Wolverton BC, McDonald RC, Watkins EA. Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Econ Bot.* 1984;38:224–228. doi: 10.1007/BF02858837
13. Hong SH, Hong J, Yu J, Lim Y. Study of the removal difference in indoor particulate matter and volatile organic compounds through the application of plants. *Environ Health Toxicol.* 2017;32:e2017006. doi: 10.5620/eht. e2017006
14. Agarwal P, Sarkar M, Chakraborty B, Banerjee T. Phytoremediation of air pollutants: prospects and challenges. In *Phytomanagement of polluted sites*. Elsevier; 2019. P. 221–241. doi: 10.1016/B978-0-12-813912-7.00007-7
15. Su Y, Liang H, Zhao S, et al. Removal efficiency and mechanisms of formaldehyde by five species of plants in air-plant-water system. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2019;25(4):1059–1071. doi: 10.1080/10807039.2018.1474432
16. Han KT, Ruan LW, Liao LS. Effects of indoor plants on human functions: a systematic review with meta-analyses. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(12):7454. doi: 10.3390/ijerph19127454
17. Kim HH, Yeo IY, Lee JY. Higher attention capacity after improving indoor air quality by indoor plant placement in elementary school classrooms. *The Horticulture Journal*. 2020;89(3):319–327. doi: 10.2503/hortj.UTD-110
18. Wolverton BC, Douglas WL, Bounds K. *A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement*. NASA Technical documents; 1989. 300 p.
19. Torpy F, Clements N, Pollinger M, et al. Testing the single-pass VOC removal efficiency of an active green wall using methyl ethyl ketone (MEK). *Air Qual Atmos Health.* 2018;11(2):163–170. doi: 10.1007/s11869-017-0518-4
20. Aydogan A, Cerone R. Review of the effects of plants on indoor environments. *Indoor and Built Environment*. 2021;30(4):442–460. doi: 10.1177/1420326X19900213
21. Agafonova VV. Indoor air quality assessment in office buildings. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2019;(3):61–64. EDN: YYORVB
22. Volkova NG, Ceshkovskaja EYu. On the need to develop criteria for assessing the quality of the indoor environment, air quality, relative humidity and acoustic effects. In: *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian academy of architecture and building sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019*. Moscow; 2020. P. 143–151. EDN: IPRKXD

ОБ АВТОРАХ

*** Чуенко Наталья Федоровна;**
адрес: Россия, 630108, Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7;
ORCID: 0000-0002-1961-3486;
eLibrary SPIN: 9709-3447;
e-mail: natali26.01.1983@yandex.ru

Новикова Ирина Игоревна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-1105-471X;
eLibrary SPIN: 3773-2898;
e-mail: novikova_ii@niig.su

AUTHORS' INFO

*** Natalia F. Chuenko;**
address: 7 Parkhomenko st, Novosibirsk, Russia, 630108;
ORCID: 0000-0002-1961-3486;
eLibrary SPIN: 9709-3447;
e-mail: natali26.01.1983@yandex.ru

Irina I. Novikova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-1105-471X;
eLibrary SPIN: 3773-2898;
e-mail: novikova_ii@niig.su

Лобкис Мария Александровна;
ORCID: 0000-0002-8483-5229;
eLibrary SPIN: 4387-9425;
e-mail: lobkis_ma@niig.su

Романенко Сергей Павлович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-1375-0647;
eLibrary SPIN: 2107-5929;
e-mail: romanenko_sp@niig.su

Савченко Олег Андреевич, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-7110-7871;
eLibrary SPIN: 1029-6168;
e-mail: savchenko_oa@niig.su

Ширинский Владимир Александрович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0009-0007-1929-2620;
eLibrary SPIN: 3487-6456;
e-mail: vash1007@mail.ru

Гудинова Жанна Владимировна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-6869-6057;
eLibrary SPIN: 6178-8633;
e-mail: gud@list.ru

Maria A. Lobkis;
ORCID: 0000-0002-8483-5229;
eLibrary SPIN: 4387-9425;
e-mail: lobkis_ma@niig.su

Sergey P. Romanenko, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-1375-0647;
eLibrary SPIN: 2107-5929;
e-mail: romanenko_sp@niig.su

Oleg A. Savchenko, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-7110-7871;
eLibrary SPIN: 1029-6168;
e-mail: savchenko_oa@niig.su

Vladimir A. Shirinskii, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0009-0007-1929-2620;
eLibrary SPIN: 3487-6456;
e-mail: vash1007@mail.ru

Zhanna V. Gudinova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-6869-6057;
eLibrary SPIN: 6178-8633;
e-mail: gud@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author