

СОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РАСТЕНИЙ

MODERN METHOD OF CLEANING ENCLOSED SPACES WITH THE HELP OF PLANTS

**N. Chuenko
O. Savchenko
E. Novikov
N. Tsybulya**

Summary. More than 100 thousand harmful compounds in the form of gases, aerosols and dust enter the Earth's atmosphere annually, and their total amount is from 2 to 20 billion tons. The problem of indoor air pollution with formaldehyde began to attract the attention of researchers in the second half of the 70s of the last centuries. The atmosphere of industrial cities is characterized by very high concentrations of formaldehyde. In the rating of the main pollutants in 2021 are enterprises providing electric energy, gas and steam; air conditioning (41.3%); motor transport (32.1%), etc. The highest concentrations of the substance are observed in urban buildings during peak hours or in conditions of photochemical smog. Since in the middle latitudes a person is indoors about 80% of his time, this problem can be considered no less urgent than the problem of urban air pollution. One of the best ways to combat air pollution is to create new health-saving technologies. All this has a huge sanitary and hygienic and aesthetic significance, is part of the construction and architectural complex of the city and plays a very important role in the protection of atmospheric air.

Keywords: atmospheric air, sources, formaldehyde, concentration, model medium, Chlorophytum.

Чуенко Наталья Федоровна

Аспирант, Новосибирский государственный аграрный университет; научный сотрудник, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора
natali26.01.1983@yandex.ru

Савченко Олег Андреевич

К.б.н., ведущий научный сотрудник, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора
Savchenko1969@mail.ru

Новиков Евгений Анатольевич

Д.б.н., профессор, Новосибирский государственный аграрный университет
eug_nv@ngs.ru

Цыбуля Наталья Владимировна

К.б.н, научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской Академии наук (ЦСБС СОРАН), г. Новосибирск
ntsbul@yandex.ru

Аннотация. В атмосферу Земли ежегодно поступает более 100 тыс. вредных соединений в виде газов, аэрозолей и пыли, а суммарное их количество составляет от 2 до 20 млрд. т. Проблема загрязненности воздуха помещений формальдегидом стала привлекать внимание исследователей еще во второй половине 70-х годов прошлого столетия. Атмосфера промышленных городов характеризуется очень высокими концентрациями формальдегида. В рейтинге основных загрязнителей в 2021 году находятся предприятия по обеспечению электрической энергией, газом и паром; кондиционированию воздуха (41,3%); автомобильный транспорт (32,1%) и т.д. Наиболее высокие концентрации вещества наблюдаются в городских застройках в часы пик или в условиях фотохимического смога. Поскольку в средних широтах человек находится в помещениях около 80% своего времени, то эту проблему можно считать не менее актуальной, чем проблему загрязнения воздуха городов. Одним из лучших способов борьбы с загрязнением атмосферного воздуха является создания новых здоровьесберегающих технологий. Все это имеет огромное санитарно-гигиеническое и эстетическое значение, входит в строительно-архитектурный комплекс города и играет очень важную роль в охране атмосферного воздуха.

Ключевые слова: атмосферный воздух, источники, формальдегид, концентрация, модельная среда, Chlorophytum.

Источниками загрязнения формальдегидом атмосферного воздуха и воздуха помещений являются выхлопные газы автомобильного транспорта, атмосферные выбросы химических предприятий, теплоэнергетики, мусоросжигательных заводов, деревообрабатывающих фабрик. Достаточно большое количество формальдегида содержится в табачном дыме и других продуктах горения. Формальдегид относится к природным компонентам атмосферы, образующимся при атмосферном фотоокислении различных органических соединений.

Источники формальдегида в воздухе помещений разнообразны, выделяют формальдегид (нередко в сочетании с фенолом) мебель, древесноволокнистая плита и ламинированная древесина, ковры, краски, клеи, смазочные материалы, косметические средства, различные медицинские средства, минеральные удобрения [1], а также сладкие газированные воды, содержащие в своем составе не сахар, а сахарозаменитель — аспартам. Аспартам — подсластитель, заменитель сахара (пищевая добавка E951), распадается в организме человека на метанол и аминокислоты: аспарагиновую и фенил аланин. Метанол окисляется ферментами печени до формальдегида. Формальдегид выводится из организма, оказывая пагубное воздействие на организм.

Некоторые летучие органические соединения (ЛОС) являются пахучими, и ряд их вызывает неблагоприятные последствия для здоровья. ЛОС провоцируют широкий спектр заболеваний человека: раздражение органов чувств, аллергию и астму, неврологические заболевания, болезни печени и различные виды онкологических заболеваний.

Интенсивное выделение летучих соединений из материалов обычно наблюдается в течение нескольких месяцев с момента изготовления. Так, эмиссия формальдегида из материала ДСП быстро уменьшается в течение 6–12 месяцев. Средняя скорость выделения карбонильных соединений из типичных источников внутри помещений составляет для формальдегида $2,7 \pm 1,5$ мг/час, ацетальдегида — $2,6 \pm 1,4$ мг/час, для пропаналя — $0,39 \pm 0,19$ мг/час [2].

Вдыхаемый воздух является практически единственным поставщиком кислорода организму. В течение суток взрослый человек вдыхает $12\text{--}15$ м³ воздуха, который сразу вступает в непосредственный контакт с огромной площадью легочной ткани (более 100 квадратных метров) и разносится кровью ко всем органам и тканям. С учетом этого понятно, почему, ограничивая содержание различных вредных примесей в объектах внешней среды, санитарно-гигиеническое законода-

тельство устанавливает, что предельно допустимое содержание таких веществ во вдыхаемом воздухе должно быть в сотни и тысячи раз меньшим, чем аналогичные показатели для воды и пищевых продуктов.

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 взаимосвязи параметров качества воздуха в помещениях общеобразовательных и дошкольных учреждений и наличия заболеваний, о чем 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 исследований [3].

При исследовании параметров воздуха в школах и детских садах в Европе наблюдались 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/м³ ($3,1\text{--}7,8$ мкг/м³) бензола и $16,55$ мкг/м³ ($13,8\text{--}20,2$ мкг/м³) формальдегида. Те же химические соединения показывают средние значения в голландских образовательных организациях $1,42$ мкг/м³ ($0,8\text{--}3,0$ мкг/м³) бензола и $13,93$ мкг/м³ ($6,1\text{--}22,4$ мкг/м³) формальдегида. Было обнаружено, что уровень летучих органических соединений в помещении и уровень биоаэрозоля в школах и детских садах выше, чем в других местах работы. Внутренние концентрации атмосферных альдегидов (формальдегид, ацетальдегид, пропионовый альдегид и бензальдегид) имеют более высокие значения по сравнению с концентрациями в атмосферном воздухе. Предполагается, что внутренние источники являются более важными факторами, влияющими на уровень загрязнения внутри помещений, чем наружные источники, такие как проникновение выхлопных газов автомобиля. Более высокие концентрации крупнозернистых частиц наблюдаются при более высоких температурах воздуха в помещении и концентрации CO₂, при этом концентрации фракций 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 плохого качества воздуха из-за отсутствия достаточной вентиляции [4].

В качестве модельных растений для исследования газопоглотительной активности комнатных растений было взято теневыносливое, неприхотливое в уходе растения *Chlorophytum* в отношении формальдегида в лабораторных ингаляционных камерах.

В исследование использовались две герметичные затравочные камеры объемом 0,700 м³. (контроль и опыт). Уровень концентрации формальдегида в камере создавали близкую к 2,5 ПДК, критичную для помещений образовательных организаций т.к. по литературным источникам в помещениях образовательных учреждений высокие концентрации формальдегида не описаны, принято решение установить начальную концентрацию в затравочных камерах в пределах 2,5 ПДК или 0,025 мг/м³. После проведения проверок на герметичность и подготовки камер к эксперименту, осуществляли серию опытов с учётом 3-х кратной повторности.

В обе исследуемые камеры ингаляционным аспиратором производили подачу раствора формальдегида (от 2,5 до 1 ПДК). В опытную камеру помещали комнатное растение, исходя из соответствия площади листовой поверхности объему камеры, в контрольной камере — использовалось распыление 10% водного раствора формальдегида. Методика включала отбор проб воздуха из камер после установки в них растений и распыления формальдегида. Замер формальдегида осуществлялся непрерывно с записью среднего результата за 5 минут. Все опыты проводились в помещении северной экспозиции для того, чтобы минимизировать влияние солнечного света. С помощью универсального газоанализатора ГАНК-4, измеряли концентрацию формальдегида путем введения пробоотборной трубки в специальное отверстие ингаляционной затравочной камеры, которое потом герметично закрывалось. Точка отбора располагалась в нижней части камеры, вблизи места расположения растения. Динамику газопоглотительной активности изучали в дневное время. Эксперименты проводились в трехкратной повторности [5].

При изучении газопоглотительных свойств растения *Chlorophytum* показало, что концентрация формальдегида в воздухе затравочной камеры за 30 минут уменьшилась с 0,0228 мг/м³ до 0,0016 мг/м³. Поскольку нижним пределом обнаружения газоанализатора «ГАНК-4» является концентрация 0,0015 мг/м³, конечное значение концентрации фактически соответствует нижнему пределу обнаружения. При этом концентрация 10% водного раствора формальдегида в контрольной затравочной камере на протяжении всего периода исследования оставалась на одном уровне. Таким образом, испытываемое растение поглощает формальдегид со скоростью 0,0424 мг/час. Данное исследование

было проведено в трехкратной повторности. Средняя скорость поглощения с общей площадью листовой поверхности 0,46 м² формальдегида по дням составила 0,0369; 0,0208; 0,0192 мг/ч.

Результаты показали, что *Chlorophytum* может значительно снижать содержание формальдегида в воздухе [6, 7]. Кроме того, было доказано, что для очистки воздуха помещений от формальдегида, ацетальдегида, бензальдегида, трихлорэтанола, угарного газа, ксилола, толуола, акролеина, метилэтилкетона и ацетона могут применяться и другие виды растений: *Aglaonema commutatum*, *Azalea indica*, *Anthurium andraeanum*, *Araucaria heterophylla.*, *Begonia semperflorens*, *Dracaena deremensis*, *Codiaeum variegatum*, *Maranta leuconeura* и др. [8].

В настоящее время практическая реализация идеи использования растений для улучшения воздушной среды помещения стала возможной благодаря фундаментальным научным исследованиям фитонцидной и газопоглотительной активности растений [4,9].

Исследования комнатных растений *Chlorophytum*, — выявили их способность улавливать вредные вещества и улучшать показатели воздуха помещения. Рациональный подбор возможного ассортимента растений, способствующих обеззараживанию воздуха и улучшению самочувствия и работоспособности детей и подростков в помещениях школ, описан в работе [10,11].

В начале нынешнего столетия были представлены многочисленные результаты исследований по возможности удаления летучих веществ из воздуха в помещении при помощи горшечных растений. Полученные данные являются первой всеобъемлющей демонстрацией способности системы горшечных растений выступать в качестве интегрированного биофильтра при удалении этих загрязнений. Позже было обнаружено, что *Chlorophytum* способен преобразовывать формальдегид в органические кислоты, сахара и аминокислоты посредством метаболических реакций. В 2018 году исследования китайских ученых неоднократно подтверждали эффективность горшечного *Chlorophytum* на удаление формальдегида из воздуха. Механизм был исследован путем измерения скорости удаления формальдегида и его окислительного потенциала в экстрактах листьев при увеличении времени воздействия на побеги [12]. Результаты показали, что основным механизмом удаления формальдегида горшечными *Chlorophytum comosum* является его накопление тканями растений и их разложение. При 74-часовом воздействии на побеги 68 из 94% потеря формальдегида в воздухе рассеялись тканями растений, когда исходный уровень в воздухе состав-

лял примерно 1,22 и 2,64 мг/м³. Экстракты листьев *Chlorophytum* эффективно рассеивали формальдегид, и рассеивающая способность увеличивалась со временем воздействия формальдегида в воздухе на побеги, что соответствовало увеличению окислительного потенциала экстрактов листьев. Сравнивая способность экстрактов свежих и вареных листьев (под воздействием горячим бутанолом) к растворению с добавленным формальдегидом, можно увидеть, что окислительно-восстановительная реакция между окислительными веществами в растениях и восстановительным формальдегидом может быть основным механизмом разложения формальдегида в растениях. С увеличением начальной концентрации формальдегида в экстрактах вклад ферментативных реакций (таких как дегидрогеназа) в рассеивание добавленного формальдегида резко снижался, что соответствовало усилению окислительно-восстановительной реакции. Вспышка АФК (активных форм кислорода), вызванная воздействием формальдегида, может повысить способность *Chlorophytum comosum* для удаления формальдегида из воздуха, предполагая, что дальнейшее увеличение удаления формальдегида растениями может быть достигнуто за счет увеличения окислительного потенциала в листьях растений.

При исследовании способности растений по улавливанию формальдегида из воздуха, было обнаружено, что *S. Kochii* показал самую высокую 12-часовую адсорбционную способность по формальдегиду (масса абсорбированного формальдегида на площадь листа в час — 0,086 мг/м²). Эксперименты по фумигации с использованием *Chlorophytum comosum*, *Agave americana L.* и *Aglaonema modestum Schott ex Engl.* показали, что уровень формальдегида снизился с 1,65 мг/м³ до 1,22 мг/м³ за 24 часа. Результаты показали, что *Chlorophytum comosum* (0,63 мг/м³) и *A. Americana* (0,62 мг/м³) обладают более высокой способностью удалять загрязнения формальдегидом, чем *A. Modestum* (0,13 мг/м³) [14]. Способность растений удалять загрязнение формальдегидом в помещении показывает, что растения могут иметь высокую толерантность к формальдегиду. Чем сильнее устойчивость к формальдегиду, тем сильнее способность очищать загрязнения формальдегидом. В некоторых других исследованиях Pteridophytes более устойчивы к формальдегиду, чем растения *Araceae*. Результаты эксперимента с 13 комнатными декоративными растениями показали, что все растения могут снижать концентрацию формальдегида (исходная концентрация формальдегида составляет 3–4 мг/м³). Однако, наиболее эффективными в этом процессе оказались *Syngonium podophyllum Schott*, *Pandanus veitchii Hort.* и *Dieffenbachia picta Lodd* рассмотрел ряд видов комнатных растений на предмет их способности удалять ЛОС. В целом, растения преи-

мущественно поглощают ЛОС через устьица листьев, тогда как некоторые растения поглощают через кутикулу [15].

Кроме очистки воздуха методом абсорбции растения зачастую выступают в качестве своеобразных фильтров, способных не только поглощать химические соединения из воздуха, но и улавливать твердые частицы (РМ) большой площадью листьев. Различия в типе листовой между видами могут способствовать или препятствовать осаждению частиц [14]. Некоторые исследования показывают, что наиболее влиятельными микроморфологическими особенностями удержания РМ являются шероховатость поверхности листа, наличие трихом/волосков, кутикулярный воск и плотность устьиц. В исследовании в Великобритании с помощью сканирующей электронной микроскопии и трехмерной оптической профилометрии выявлялись различия в механизмах фильтрации загрязнения воздуха у трех растений (*Hedera helix 'Woerner'*, *Thuja occidentalis 'Smaragd'* и *Phyllostachys nigra*). Шероховатость поверхности листа оценивается как количественная оценка бороздок и гребней по их ширине (двумерное измерение расстояния), морфологии или той доле, которую они покрывают поверхности листа. Считается, что эта характеристика листовой имеет сильную положительную корреляцию с улавливанием РМ [16]. Некоторые исследования сообщают, что листья являются эффективным механизмом для облегчения улавливания твердых частиц.

Из всего выше сказанного можно сказать, что в улучшении качества воздушной среды комнатные растения нужно устанавливать в дошкольных и школьных организациях. Для оздоровления воздушной среды помещений уже давно применяют комнатные цветочные растения, многие из которых обладают высокой фитонцидной активностью, что является фактором позитивного влияния на содержание в воздухе микрофлоры.

Для этого нужно использовать рекомендуемые растения для озеленения интерьеров игровых и спальных помещений детских садов неприхотливых в уходе, не содержащих ядовитый сок, не вызывающие аллергические реакции и обладают выраженной антимикробной и газопоглощающей активностью.

В состав рекомендуемого научно-обоснованного ассортимента входят следующие группы растений [13,17]:

1. с выраженной (высокая или умеренная) антимикробной активностью;
2. с газопоглощающей активностью по отношению к формальдегиду и другим алифатическим и ароматическим карбонильным соединениям (ацетальдегид, бензальдегид, акролеин и др.);

3. пластичные к микроэкологическим условиям помещений (низкая влажность и высокая температура воздуха в осенне-зимний период);
4. с продолжительной санирующей активностью в течение всего года;
5. со значительной транспирирующей активностью листьев, повышающей влажность воздуха;
6. не имеющих ядовитого сока, колючек, шипов и не обладающих аллергизирующим действием.

В качестве метода очистки атмосферного воздуха, в последние десятилетия за рубежом привлекает большое внимание фиторемедиация (или биофильтрация), вероятно, из-за ее доступности и применимости, а также экологических, экономических и социальных

выгод и ее способности достигать нулевого уровня выбросов. Было доказано, что комфортный уровень проживания, продуктивность и умственное функционирование могут быть значительно улучшены, а также может быть уменьшено восприятие боли, когда растения присутствуют в комнате или на рабочем месте. При фиторемедиации растения с их родственными микроорганизмами способны извлекать загрязняющие вещества из атмосферного воздуха, а затем разлагать или детоксицировать его 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 [18].

ЛИТЕРАТУРА

1. Скубневская Г.И., Дульцева Г.Г. Загрязнение атмосферы формальдегидом. // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. — 1994. — № 31. — С. 1–59. — EDN AKHATX. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_469331_86505715.pdf (дата обращения 06.09.2022).
2. Дульцева Г.Г., Чуенко Н.Ф. О методиках измерения газопоглотительной активности растений в помещениях и в лабораторных камерах. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2020. № 3. С. 5–8
3. Torpy F., Clements N., Pollinger M., Dengel A., Mulvihill I., On S., Irga P. Testing the single-pass VOC removal efficiency of an active green wall using methyl ethyl ketone (MEK) // Air Quality, Atmosphere & Health. — 2018. — Vol. 11, No. 2. — P. 163–170.
4. Чуенко Н.Ф., Лобкис М.А., Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д., Новикова И.И. Оценка эффективности использования фитонцидных свойств растений для снижения микробной обсемененности воздуха с целью минимизации риска заболеваемости детей в условиях детских организованных коллективов. Science for Education Today. 2022. Т. 12. № 2. С. 152–171
5. Лобкис М.А., Чуенко Н.Ф., Дульцева Г.Г., Цыбуля Н.В. Обоснование методики для измерения концентрации формальдегида в воздухе. в сборнике: современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. 2019. С. 27–31.
6. Wejens N., Thijs S., Popek R., Witters N., Przybysz A., Espenschade J., Gavronski S.V. The role of plant–microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants // International journal of molecular sciences. — 2015. — Vol. 16, N 10. — P. 25576–25604
7. Shao F, Wang L, Sun F, Li G, Wang Y, Bao Z. Study on different particulate matter retention capacities of the leaf surfaces of eight common garden plants in Hangzhou, China // Science of the Total Environment. — 2019. — Vol. 652. — P. 939–951.
8. Chiam Z., Song H.P., Lai H.R., Tan H.T. Particulate matter mitigation via plants: Understanding complex relationships with leaf traits // Science of the total environment. — 2019. — Vol. 688. — P. 398–408.
9. Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д., Давидович Л.А. Использование тропических растений для санации воздуха в экологически неблагоприятных условиях помещения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2017. — Т. 19. — N 2–2. — С. 360–364. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29945996> (дата обращения 06.09.2022).
10. Carmen Redondo-Bermúdez M., Gulenk I.T., Cameron R.W., Inkson B.J. ‘Green barriers’ for air pollutant capture: Leaf micromorphology as a mechanism to explain plants capacity to capture particulate matter // Environmental Pollution. — 2021. — Vol. 288. — P. 117809.
11. Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д., Давидович Л.А. Использование тропических растений для санации воздуха в экологически неблагоприятных условиях помещения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2017. — Т. 19. — N 2–2. — С. 360–364. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29945996> (дата обращения 06.09.2022)
12. Liang H., Zhao S., Su Y. Self-enhancement effect and mechanism of potted Chlorophytum comosum on formaldehyde removal from air // International Journal of Environmental Research. — 2018. — Vol. 12, N 3. — P. 337–346.
13. Moya, T.A., van den Dobbelsteen, A., Ottele, M., & Bluysen, P.M. A review of green systems within the indoor environment // Indoor and built environment. — 2019. — Т. 28. — № 3. — С. 298–309. <https://doi.org/10.1177/1420326X18783042>
14. Liu J., Cao Z., Zou S., Liu H., Hai X., Wang S., Jia Z. An investigation of the leaf retention capacity, efficiency and mechanism for atmospheric particulate matter of five greening tree species in Beijing, China // Science of the total environment. — 2018. — Vol. 616. — P. 417–426.
15. Wejens N., Thijs S., Popek R., Witters N., Przybysz A., Espenschade J., Gavronski S.V. The role of plant–microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants // International journal of molecular sciences. — 2015. — Vol. 16, N 10. — P. 25576–25604
16. Chen L., Liu S., Zhang L., Zou R., Zhang Z. Differences in the ability of tree species to capture and retain fine particles suspended in the air (PM 2.5) // Scientific Reports. — 2017. — Vol. 7, N 1. — pp. 1–11

17. Дерман, С.А. Оздоровление воздушной среды учреждений дошкольного образования / С.А. Дерман // Дошкольное образование: опыт, проблемы, перспективы: сб. материалов VIII Междунар. науч.— практ. семинара (Барановичи, 23 марта 2017 г.) .— Барановичи: БарГУ. 2017.— С. 182–183.
18. Черникова В.А., Чуенко Н.Ф. Оценка оздоровительного действия растений. В сборнике: Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. Сборник VI Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2021. С. 1419–1420

© Чуенко Наталья Федоровна (natali26.01.1983@yandex.ru), Савченко Олег Андреевич (Savchenko1969@mail.ru),
Новиков Евгений Анатольевич (eug_nv@ngs.ru), Цыбуля Наталья Владимировна (ntsybul@yandex.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Новосибирск