

## Геоэкологические исследования

УДК 504.75.06:635.91(045)

*А.В. Семакина, М.И. Бузмакова, Л.Н. Петухова, Д.В. Засыпкин, Е.Ю. Лабинская, Г.Р. Платунова*

### К ОЦЕНКЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ

Проведена количественная оценка фильтрационных свойств вертикальных систем озеленения при очистке воздуха помещений административного назначения. Проведено исследование в одном из офисов г. Ижевска, в ходе которого выполнено более 1500 измерений концентрации четырех газообразных загрязняющих веществ при наличии и отсутствии системы вертикального озеленения. Средние концентрации всех исследуемых поллютантов были в пределах установленных санитарно-гигиенических норм (среднесуточных предельно-допустимых концентраций), кроме формальдегида. При обработке результатов было выяснено, что данная система с растениями способна эффективно снижать концентрации диоксида углерода, предельных углеводородов, формальдегида. Сделан вывод о поглощающей способности растения Эпипремнум (*Epipremnum marble queen*), используемого в системе вертикального озеленения.

*Ключевые слова:* система вертикального озеленения, Эпипремнум (*Epipremnum marble queen*), предельные углеводороды, формальдегид, оксид углерода, диоксид углерода.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-3-289-298

В связи с активным внедрением в хозяйственную деятельность новых, малоисследованных, с экологической точки зрения, строительных материалов, проблема качества атмосферного воздуха помещений становится все более актуальной. Эмиссия загрязняющих веществ (ЗВ) из строительных материалов и мебели, наряду с другими факторами загрязнения атмосферы (привнос извне, процесс вторичного образования ЗВ, работа оргтехники и т. д.), может являться фактором химического загрязнения воздуха внутри офисных помещений. Офисное назначение предполагает эксплуатацию помещения для реализации административных нужд [1] и отсутствие значимых источников выбросов ЗВ. При этом, в некоторых случаях в воздухе административных помещений фиксируется концентрация ЗВ в 2–5 раз выше, чем на улице [2].

Способы очистки атмосферного воздуха от поллютантов по применяемым техническим приемам можно группировать на химические, физические и биологические. Биологические методы основываются на способности организмов (высших растений, микроорганизмов) усваивать или осаждать на своей поверхности газообразные и взвешенные вещества [3]. Система очистки воздуха при помощи сорбционных фильтров показала себя как эффективный метод очистки организованных газоздушных выбросов. В то же время, использование фильтров целесообразно при выполнении следующих условий: наличие газоздушного потока, регулярность и значительные объемы выбросов, данный вид фильтра эффективен при улавливании конкретного ЗВ [4]. К традиционным методам, применяемым для очистки воздуха административных помещений, относятся системы вентиляции и кондиционирования с установкой сорбционных фильтров [5]. В то же время, сочетая биологические методы очистки при помощи растений и микроорганизмов с сорбционными свойствами грунта, можно получить эффективный, недорогой фильтр для очистки атмосферного воздуха помещений.

Необходимо отметить, что фильтрационные свойства системы «растение-почва» связаны не только с фитофильтрационной функцией растений и механической сорбцией поллютантов субстратом, но и с микробиологической дезодорацией грунта. Исследования по разработке методов, использующих микробиологическую дезодорацию (природоподобные технологии), начались с конца 60-х годов 20 века [6–8]. Исследования биофильтрационных возможностей природного сорбционного материала с присутствующими в нем микроорганизмами проводились в рамках оценки улавливания биогаза на полигонах ТБО [9], газовых потоков на станциях очистки сточных вод, газоздушных выбросов пищевой, химической, фармацевтической промышленности, животноводческих комплексов [10; 11]. Такие биофильтры показали высокую фильтрационную эффективность субстрата для таких ЗВ, как метан, сероводород, меркаптан, аммиак, фенол.

Современные технологии по очистке воздуха с применением высших растений можно разделить на следующие категории:

- технологии с использованием комнатных растений (экологический фитодизайн);
- технологии с использованием искусственного хлорофилла [12];
- технологии с использованием новых строительных материалов, являющихся субстратами для растений [13];
- технологии «вертикальных садов» (систем вертикального озеленения) [14].

В последнее время в связи с активным возведением зданий и уплотнением застройки в крупных городах все большую популярность приобретают технологии вертикального озеленения. Родоначальником технологии можно назвать французского дизайнера-натуралиста Патрика Бланка, которому принадлежит идея создания «вертикальных садов» (1994 г., Париж). Однако, первый в мире патент на вертикальную фитостену в современном ее понимании получил Стенли Харт Уайт еще в 1938 г. Система вертикального озеленения (зелёная стена, живая стена) — система фитостен или одна фитостена, представляющая совокупность живых растений, размещённых вертикально в специальных конструкциях [14].

#### Зарубежный и отечественный опыт исследования влияния «зеленых стен» на содержание загрязняющих веществ в воздухе помещений

Страна, город проведения исследования, год	Количественная/качественная оценка	Исследуемые вещества/параметры	Полученные результаты
Канада, г. Ванкувер [16]	Количественная	2-бутанон, $\alpha$ -пинен, углекислый газ, относительная влажность воздуха	Снижение 2-бутанона на 67 %, увеличение $\alpha$ -пинена на 42 %, снижение углекислого газа на 57 %, увеличение влажности воздуха на 31 %.
США, г. Гарвард [17; 18]	Качественная	Углекислый газ	61 % исследуемых людей выполняли тестовые задания гораздо лучше, когда находились в помещении с низким уровнем содержания углекислого газа.
США, г. Сан-Франциско [17; 18]	Количественная	Углекислый газ, взвешенные вещества (ВВ), летучие органические соединения (ЛОС)	Снижение уровня $\text{CO}_2$ в проблемные часы на 39 %, снижение уровня взвешенных веществ и летучих органических соединений на 15 %.
Тайвань [17; 18]	Количественная	Углекислый газ	Снижение уровня $\text{CO}_2$ на 13 % в течение нескольких часов.
КНР, г. Гонконг [17; 18]	Количественная	Углекислый газ, ВВ	Снижение уровня $\text{CO}_2$ на 40 %.
РФ, г. Санкт-Петербург [19]	Количественная	ВВ	Снижение содержания ВВ в испытательной камере на 35 %. Растения хорошо справляются лишь с удалением крупнодисперсных частиц. Мелко- и среднедисперсные частицы существенно поглощаются лишь в первое время.
РФ, г. Санкт-Петербург [20]	Количественная	Продукты горения осадка сточных вод, газообразные компоненты сигаретного дыма (оксиды углерода, аммиак, диметилнитрозамин, формальдегид и др.)	Снижение концентрации углеводородов, угарного и углекислого газов в 2–3 раза. Однако, запахи полностью нейтрализовать не удалось. Причина: порог восприятия некоторых ароматических углеводородов в несколько раз ниже предельно-допустимой концентрации (ПДК) атмосферного воздуха населенных мест.

Существует ряд зарубежных независимых научных исследований, в рамках которых проведено изучение влияния внутреннего озеленения на качество воздуха в лабораториях и эксплуатируемых в штатном режиме офисных помещениях. Наибольшее внимание в исследованиях уделялось эффективности снижения концентраций углекислого газа [15]. В то же время необходимо отметить, что количественные показатели степени влияния комнатных растений на микроклимат и санитарно-гигиеническую обстановку в помещении в рамках разных исследований значительно варьируют. Это связано с влиянием прочих, не учитываемых факторов (температура, влажность, загруженность помещения, поступление ЗВ извне, их образование внутри помещения и т. д.). В Российской Федерации также проводились практические исследования по оценке эффективности очистки атмосферного воздуха высшими растениями от взвешенных веществ. Результаты зарубежных и отечественных исследований влияния систем вертикального озеленения на содержание ЗВ в воздухе помещений приведены в таблице.

Таким образом, несмотря на наличие исследований в области использования биофильтров при очистке атмосферного воздуха помещений (в т. ч. административного назначения), на данный момент мы затрудняемся дать точный ответ относительно количественных показателей эффективности очистки. Количественные показатели эффективности очистки атмосферного воздуха, наряду с показателями зависимости эффективности от факторов внешней среды, могут дать возможность широко внедрения природоподобных технологий, наряду с традиционными техническими решениями.

Целью данного исследования является количественная оценка степени влияния системы вертикального озеленения на уровень содержания отдельных поллютантов в атмосферном воздухе офисных помещений.

Работа выполнена в рамках договора НИР № 276 от 10.08.2021 г. «Влияние систем вертикального озеленения на микроклимат офисных помещений», заключенного между ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» и ООО «Лайфхакер».

## Материалы и методы исследований

Эксперимент был организован в пределах офисных помещений коворкинга «Фанк» и на прилегающей к нему территории. Коворкинг «Фанк» расположен по адресу: г. Ижевск, проезд им. Дерябина, 3/4 и в эколого-географическом отношении располагается в пределах центральной промышленной зоны, в непосредственной близости от таких крупных предприятий, как ГК «Калашников», ТЭЦ-1 и ПАО «Ижсталь». В структуре выбросов центральной промышленной зоны 35 % приходится на твердые ЗВ, 20 % составляют летучие углеводороды, 45 % составляют прочие газообразные соединения [21]. Необходимо отметить, что большая часть значимых источников поступления ЗВ от предприятий центральной промышленной зоны являются организованными и имеют высоты труб 30–70 м. Большая высота выброса способствует процессу рассеяния ЗВ и снижению их концентраций вблизи от источника. В то же время, рост концентраций ЗВ возможен при неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ), таких как температурная инверсия, штиль и прочие [22, с. 38].

На территории коворкинга «Фанк» было выделено 2 рядом расположенных офисных помещения (кабинеты 307 и 308, 3 этаж), характеризующихся приблизительно одинаковой степенью загруженности в течение рабочего дня (5–6 человек), одинаковой площадью (25 м<sup>2</sup>), мебелью, одинаковым уровнем освещения, дислокацией относительно сторон света. Помещение 308 было использовано как контрольная площадка для измерения исследуемых показателей, без влияния системы вертикального озеленения. На территории помещения 307 была установлена система вертикального озеленения (рис. 1). На основании предварительного литературного обзора, для проведения натурных исследований по оценке фильтрационных свойств было выбрано растение Эпипремнум (*Epipremnum marble queen*) [23–25]. Для системы вертикального озеленения использовалось 182 горшка с высаженными растениями. Площадь открытой почвы составила 2,2 м<sup>2</sup>. На начало исследований площадь листовой поверхности растений составляла 10 м<sup>2</sup>. Для улучшения вегетационных процессов растений было установлено дополнительное освещение.

В ходе проведения эксперимента, в течение 28 рабочих дней 3 раза в день (9.00–10.00 ч, 12.00–13.00 ч, 16.00–17.00 ч) в осенне-зимний период проводились измерения следующих показателей:

1) Микроклиматические параметры:

– Температура воздуха, °С;

– Относительная влажность воздуха, %;

- Скорость воздушного потока в вентиляционной шахте.
- 2) Концентрации загрязняющих веществ:
  - Углеводороды предельные  $C_1-C_{10}$ ,  $mg/m^3$ ;
  - Оксид углерода (CO),  $mg/m^3$ ;
  - Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), ppm (1ppm = 1,82572 $mg/m^3$ );
  - Формальдегид (НСОН),  $mg/m^3$ .



Рис. 1. Установленное вертикальное озеленение в офисном помещении № 307

Для проведения исследований использовались следующие приборы: ГАНК-4 переносной газоанализатор (измерение концентраций углеводородов предельных, оксида углерода, диоксида углерода, формальдегида), Destop Indoor Air Quality CO<sub>2</sub> Monitor (измерение концентрации CO<sub>2</sub>), Метеоскоп-М (измерение температуры воздуха, относительной влажности, скорости воздушного потока). Отбор проб осуществлялся в офисных помещениях, на выходе из воздуховода, на улице в непосредственной близости от коворкинга в соответствии с действующими методиками выполнения измерений массовой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе<sup>1,2</sup>.

В ходе исследования было осуществлено 252 замера показателей микроклимата, 1344 отбора проб воздуха на химический состав. Статистический анализ проводился в программе Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждение

В период проведения исследования фиксировался примерно схожий тренд изменения температуры воздуха в обоих помещениях. Средняя температура воздуха в обоих помещениях находилась в пределах допустимых значений (24,63 °С), но превышала верхние границы оптимального диапазона на 1,28 °С в контрольном помещении и на 2,63 °С в помещении с озеленением. Рост температуры в комнате с озеленением может стать косвенным фактором активизации процессов вторичного образования ряда ЗВ, например, формальдегида [26]. При установлении связи между температурой атмосферного воздуха на улице и в обоих исследуемых помещениях был получен коэффициент корреляции, составивший 0,29 (положительная достоверная связь слабой степени значимости). Это свидетельствует о наличии низкой зависимости температурных параметров внутри здания от температуры воздуха внешней среды в связи со снижением интенсивности обменной вентиляции воздуха через оконные проемы в холодный период года.

<sup>1</sup> МВИ-4215-002-565914109-2009. Методика выполнения измерений массовой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе газоанализатором ГАНК-4 с изменением № 1. (ФР.1.31.2009.06144. Свидетельство об аттестации № 17-09 от 18 мая 2009 г.). ФГУП ВНИИМС, 29 с.

<sup>2</sup> МВИ-4215-007-565914109-2009. Методика выполнения измерений массовой концентрации предельных углеводородов и углеводородов нефти в атмосферном воздухе газоанализатором ГАНК-4 с изменением № 1. (ФР.1.31.2010.06967. Свидетельство об аттестации № 28-09 от 10 декабря 2009 г.). ФГУП ВНИИМС, 24 с.

В процессе фиксации значений показателя относительной влажности атмосферного воздуха было установлено, что значение данного показателя в помещении с озеленением стабильно выше на 4 %, чем в контрольной комнате. Средние значения показателя (33 %) в помещениях коворкинга соответствуют установленным оптимальным значениям для холодного периода года (30–45 %)³. Фундаментальные исследования, выполненные рядом авторов [27; 28] на различных видах растений (*Medicago sativa* L., *Avena sativa* L., *Hordeum vulgare* L. и др.), показали, что скорость поглощения загрязнителей воздуха растениями пропорциональна растворимости этих веществ в воде. В процессе контакта с поверхностью растений, газы могут связываться или растворяться на поверхности растений. Если на поверхности листьев растений отсутствует необходимое количество влаги, либо газообразное вещество не обладает высокой растворимостью в воде, основную роль будут играть процессы поглощения поллютанта с помощью устьиц, при этом скорость поглощения будет снижаться [29]. Таким образом, рост относительной влажности в помещении с установленной системой вертикального озеленения способствует увеличению скорости поглощения ряда ЗВ (например, оксида углерода, формальдегида).

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что система вертикального озеленения оказывает незначительное влияние на микроклиматические параметры. В свою очередь, формируемые микроклиматические условия косвенно оказывают влияние на интенсивность фильтрационных процессов поглощения ЗВ. При этом, зная количественные показатели степени влияния систем вертикального озеленения на микроклиматические характеристики, можно повысить энергоэффективность зданий, внедрив элемент зеленых насаждений в систему умного дома.

По данным измерений, средняя за период исследования скорость воздушного потока в вентиляционной шахте помещений составила 0,25 м/с. При диаметре трубы 250 мм, средний расход поступающей в помещение газо-воздушной смеси составил 0,0125 м³/сек или 45 м³/час. При такой скорости воздухообмена и объеме помещения, равного 75 м³, полное обновление воздуха при закрытых окнах происходит за 1 час 40 минут. Это значение превышает установленные нормы воздухообмена, составляющие 1,5 часа⁴.

В воздухе контрольного помещения среднее значение показателя концентрации предельных углеводородов (C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>) было выше значения, полученного в помещении с установленной системой вертикального озеленения, на 31 % (рис. 2а). В то же время, необходимо отметить, что превышение санитарно-гигиенических нормативов⁵ не отмечалось ни в одном из помещений (предельно допустимая концентрация среднесуточная составляет 50 мг/м³). Значения показателя концентрации данного ЗВ в воздуховоде и на улице было ниже, чем в каком-либо из исследуемых помещений, на 14 %. Это свидетельствует о невысокой значимости влияния внешней среды (поступления ЗВ через воздуховод) на процесс накопления данного поллютанта в воздухе помещений. Несмотря на относительно низкие значения концентраций предельных углеводородов в долях предельно допустимых концентраций (ПДК), показатель имеет большое значение в изучении экологии помещений в связи с его участием в химических реакциях образования формальдегида в результате вторичных процессов. Рост концентрации предельных углеводородов в помещении является косвенным показателем увеличения риска формирования высоких концентраций формальдегида, относящегося к 2 классу опасности и имеющего более меньшие предельно-допустимые концентрации [26, с. 252].

Средняя концентрация формальдегида (НСОН) в контрольной комнате была выше, чем в комнате с озеленением на 0,005 мг/м³ (или на 25 %) (рис. 2б). При этом, в обоих помещениях концентрация ЗВ превышала установленные значения ПДКсс (0,01 мг/м³)⁵. Коэффициент корреляции между концентрациями формальдегида в помещении и на улице составил 0,17. Коэффициент корреляции между содержанием данного ЗВ в помещении и содержанием в воздуховоде составляет 0,07. Таким образом, отсут-

³ ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: межгосударственный стандарт (утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. № 191-ст: дата введения 01.01.2013). М.: Стандартинформ, 2013г. 23 с.

⁴ СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания: свод правил (утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. № 782: дата введения 20.05.2011). М.: Минрегион России, 2010. 31 с.

⁵ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (утвержден и введен в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021. № 2: дата введения 01.03.2021). М.: Ропотребнадзор, 2021. 1025 с.

ствие связи между концентрациями формальдегида в помещениях и на улице свидетельствует о наличии значимого источника поступления ЗВ внутри помещения (дегазация из элементов мебели, процесс вторичного образования) и процессе накопления данного ЗВ в воздухе помещений.

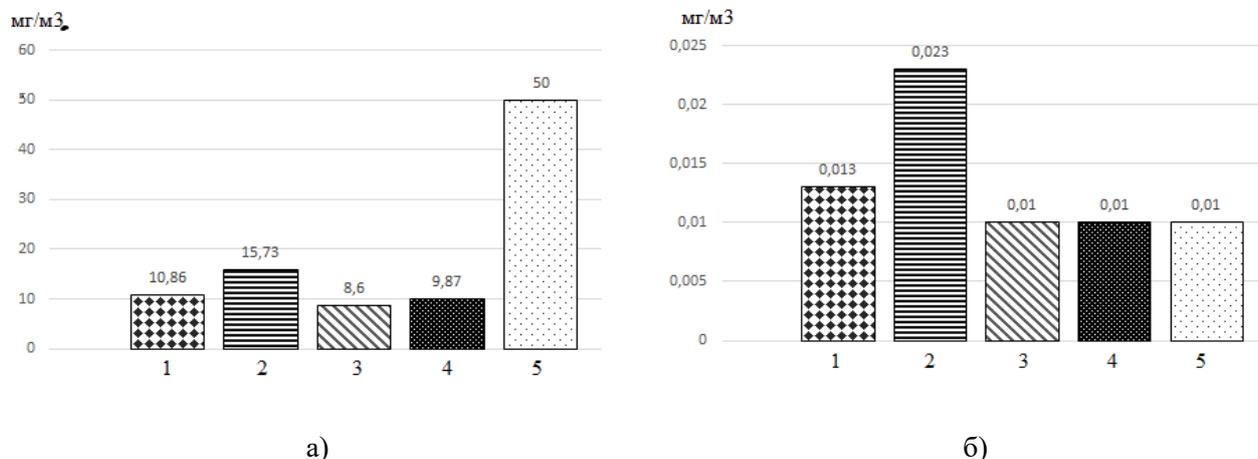


Рис. 2. Средние значения концентраций: а) предельных углеводородов и б) формальдегида в помещениях коворкинга «Фанк» за осенне-зимний период 2020-2021 гг., где 1 – в воздухе помещений с озеленением, 2 – в воздухе контрольного помещения, 3 – в воздуховоде, 4 – на улице (проезд Дерябина,  $\frac{3}{4}$ ), 5 – ПДК сс.

Концентрация оксида углерода (СО) (рис. 3а) в обоих помещениях фиксировалась на уровне примерно в три раза ниже ПДКсс. Среднее содержание оксида углерода в атмосферном воздухе помещений примерно одинаковое, однако в помещении с озеленением концентрация данного ЗВ незначительно ниже, чем в помещении без растений (на  $0,17 \text{ мг/м}^3$  или менее чем на 1 %). Это свидетельствует о низкой интенсивности поглощения данного ЗВ растениями. Вероятнее всего, это связано с относительно высокой устойчивостью данного ЗВ в атмосферном воздухе и невысокой водорастворимостью. Коэффициент корреляции между концентрациями оксида углерода в помещении и на улице составляет 0,74 (прямая положительная связь высокой степени значимости). Коэффициент корреляции между содержанием данного ЗВ в помещении и содержанием в воздуховоде составляет 0,78, что интерпретируется как наличие прямой положительной связи высокой степени значимости. Сильная степень связи между концентрациями оксида углерода в помещениях, на улице и в воздуховоде свидетельствует об интенсивном поступлении данного ЗВ из внешней среды через вентиляционную систему.

Анализируя график концентраций диоксида углерода (СО<sub>2</sub>) (рис. 3б), можно отметить, что концентрация данного ЗВ в контрольном помещении была выше, чем в помещении с озеленением на 134 ppm (на 18 %). В комнате с вертикальным озеленением превышение верхних границ безопасных концентраций ( $800 \text{ ppm}$ )<sup>6</sup> не фиксировалось, а в контрольной комнате наблюдалось превышение (в основном в дневное время) в 27 случаях из 84, что составляет 32 %. Следует отметить, что в обоих помещениях утренние показатели были чуть ниже, чем дневные и вечерние. Данная зависимость объясняется тем, что в помещениях коворкинга основным источником поступления в атмосферный воздух диоксида углерода является выделение его в процессе дыхания людей. В спокойном состоянии 1 человек в процессе дыхания выделяет  $0,02 \text{ м}^3/\text{час}$  диоксида углерода [30]. При увеличении количества людей в помещении до 5, объем поступающего в процессе дыхания в воздух помещений диоксида углерода составляет  $0,1 \text{ м}^3/\text{час}$ . Даже при отсутствии прочих значимых источников поступления ЗВ, при существующей недостаточной интенсивности воздухообмена, формируются условия, благоприятные для накопления данного загрязнителя в воздухе помещений. Это подтверждается зафиксированными в ходе исследования фактами формирования высоких значений концентраций диоксида углерода ( $1000 \text{ ppm}$  и более) в период пиковой загрузки помещения.

<sup>6</sup> ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: межгосударственный стандарт (утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. № 191-ст: дата введения 01.01.2013). М.: Стандартинформ, 2013 г. 23 с.

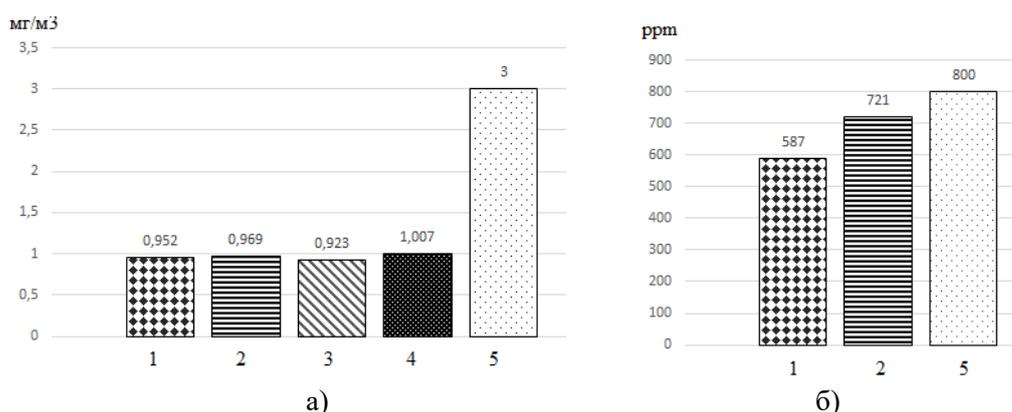


Рис. 3. Средние значения концентраций: а) оксида углерода и б) диоксида углерода в помещениях коворкинга «Фанк» за осенне-зимний период 2020–2021 гг., где 1 – в воздухе помещений с озеленением, 2 – в воздухе контрольного помещения, 3 – в воздуховоде, 4 – на улице (проезд Дерябина, 3/4), 5 – ПДК сс (для оксида углерода) и ориентировочно безопасная концентрация (для диоксида углерода)

## Выводы

Таким образом, опираясь на полученные данные, можно отметить тенденцию снижения концентраций контролируемых в рамках данного исследования ЗВ в помещении, где установлена система вертикального озеленения. Наибольший фильтрационный эффект системы вертикального озеленения отмечался по следующим веществам: предельные углеводороды (31 %), формальдегид (25 %) и углекислый газ (18 %). На формирование концентраций перечисленных ЗВ ведущее влияние оказывают источники поступления внутри помещения (дегазация из мебели и элементов отделки помещения, вторичные процессы, дыхание человека). Необходимо отметить, что концентрации всех измеряемых загрязняющих веществ в обоих помещениях были в пределах допустимых значений санитарно-гигиенических нормативов, за исключением формальдегида. Несмотря на относительно невысокую эффективность (в сравнении с традиционными техническими приемами очистки воздуха промышленных помещений), природоподобные технологии очистки воздуха могут быть использованы в помещениях административного назначения, характеризующихся относительно невысокими концентрациями ЗВ, значительным влиянием внутренних источников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лонг Ким. Здания эффективные для пользователя. Денвер: Корпорация «Аардекс», 2004. С. 14–16.
2. Арустамян Э.А., Борисова Н.И., Борисов А.В. Экология жилища и здоровье населения // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 4. С. 220–225.
3. Рябкин М.В. Разработка биотехнологии очистки газовоздушных выбросов пищевых предприятий и предприятий АПК от фенольных соединений: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2002. 184 с.
4. Стадник Н.М. Методы очистки воздуха // Строительство и архитектура – 2015: материалы междунар. Науч.-практ. Конф. «Современное состояние и перспективы развития инженерно-экологических систем, строительных технологий, материалов и качества в строительстве» (Ростов-на-Дону, 26–27 ноября 2015 г.). Ростов-н/Д., 2015. С. 50–52.
5. Патент 2747863 С1 Российская Федерация, МПК В01D 53/04 (2006.01) В01D 35/01 (2006.01) В01J 20/06 (2006.01) В01J 20/10 (2006.01). Способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений. Автор: Н.А. Литвинова, Заявка № 2020136575, 06.11.2020. Опубликовано 17.05.2021, Бюл. № 14.
6. Сигета Е., Касаи С., Накамура Е. Микробиологическая обработка дурнопахнущих веществ // Санге когай, 1984. Т. 20, № 9. С. 351–357.
7. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1980. С. 5–15.
8. Claus G., Kutzner H.T. Steinmuller W. Mikrobiologische abwasserbehandlung // Staub, Reinhaltung der Luft, 1979, Vol. 39, №. 5. P. 149–152.
9. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений / Пер. с англ. под ред. Я.Б. Чертова. М.: Мир, 1981. С. 504.
10. Кинасси Хироясу. Дезодорация с помощью микроорганизмов // MOL-1983. № 3. С. 63–68.

11. Vinarov A. Intesification gaz-liquid-cells interaction media // IChemE «8th Europ.Conf. on Mixing». Cambrige, UK. 1994. P. 78.
12. Prajapati A., Singh M.R. Assessment of Artificial Photosynthetic Systems for Integrated Carbon Capture and Conversion // Sustainable Chemistry and Engineering. 2019. P. 30.
13. Патент 2714242 С1 Российская Федерация, МПК А01П 31/02 (2003.01) Гидропонная установка. Авторы: Амерханов Р.А., Григораш О.В., Кириченко А.С., Антонов В.И., Армаганян Э.Г., Дворный В.В., Апиш М.И. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». Заявка№ 2019117655, 06.06.2019. Опубликовано 13.02.2020, Бюл. № 5.
14. Тимофеева С.С. Современные фитотехнологии очистки воздуха. Часть 1. Технологии очистки воздуха закрытых помещений: медико-экологический фитодизайн // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т.2, № 1 (5). С. 55–69.
15. Мансуров Р.Ш., Гурин М.А., Рубель Е.В. Влияние концентрации углекислого газа на организм человека // Universum: технические науки. 2017. № 8. С. 4.
16. Cheung I. Impact of Interior Living Walls on Indoor Air Quality: Study in a Dynamic Environment // Vancouve: the university of british columbiac. 2017. P. 5–95.
17. Robertson D.S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health // Med. Hypotheses. 2001. P. 4.
18. Seppanen O.A. Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings // Indoor Air. 1999. P. 52.
19. Чусов А.Н., Воробьев К.В. Аппаратно-биологический комплекс для повышения качества воздуха помещений // Биосфера. 2015. Т. 7, № 1. С. 39–49.
20. Воробьев К. В., Мешалкина М. Н., Пшелко Н. С., Рублевская О.Н. Спичкин Г.Л. Поглощение органических и неорганических газовых загрязнителей высшими растениями в условиях антропогенных нагрузок // Биотехносфера. 2014. № 5 (25). С. 23–29.
21. Медико-экологический атлас г. Ижевска / Под ред. Семакиной А.В. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2020. С. 7–72.
22. Экология и природопользование на территории города Ижевска / Д.А. Адаховский, И.С. Анисимов, А.А. Артемьева [и др.], М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Ин-т естеств. наук; под ред. И.И. Рысина, О.Г. Барановой. Ижевск: Удмуртский ун-т, 2018. 271 с.
23. Ван дер Неер Я. Всё о комнатных растениях, очищающих воздух. СПб.: ООО «СЗКЭО «Кристалл», 2006. 128 с.
24. Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д. Фитонцидные растения в интерьере. Оздоровливание воздуха с помощью растений. Новосибирск: Новосибирское кн. изд-во, 2000. 109 с.
25. Билл Вулвертон. Как вырастить свежий воздух: 50 растений для дома и офиса. 2023. URL: <https://recyclemag.ru/article/kakie-komnatnie-rasteniya-udalyayut-toksini-vozduha> (дата обращения: 18.05.2022).
26. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональная публикация ВОЗ, Европейская серия. 2001. № 85. 293 с.
27. Bennett J.H., Hill A.C. Interactions of air pollutions with canopies of vegetation // Responses of Plants to Air Pollution. New York - San Francisco - London: Academic Press, 1975. P. 273–306.
28. Hill A.C. Vegetation: A sink for atmospheric pollutants // J. Air Pollut. Control Assoc, 1971. 21 (6). P. 341–346.
29. Влияние углекислого газа на здоровье человека // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской республике – Чувашии». URL: <https://www.cge21.ru/news/2879> (дата обращения: 02.05.2023).
30. Васильева Т.В., Петрушенко В.В., Шихалеева Г.Н, Эннан А.А. Биологическая утилизация техногенных загрязнений в системе «почва-растение-атмосферный воздух» // Вестник ИрГСХА. 2011. № 44–8. С. 92–97.

Поступила в редакцию 07.06.2023

Семакина Алсу Валерьевна, кандидат географических наук, доцент,  
доцент кафедры экологии и природопользования  
E-mail: [alsen13@list.ru](mailto:alsen13@list.ru)

Бузмакова Мария Ивановна, студентка  
E-mail: [buzmascha10@mail.ru](mailto:buzmascha10@mail.ru)

Петухова Лариса Николаевна, кандидат географических наук, доцент,  
заместитель директора по учебной работе  
E-mail: [petlar75@mail.ru](mailto:petlar75@mail.ru)

Платунова Гузель Рашидовна, кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры экологии и природопользования  
E-mail: [dyukina-guzel@yandex.ru](mailto:dyukina-guzel@yandex.ru)  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)

Засыпкин Дмитрий Владимирович, технический директор компании Wonderwall

E-mail: zasypkinDV@gmail.com

Лабинская Екатерина Юрьевна, генеральный директор компании Wonderwall

E-mail: katushalabinskaya@gmail.com

426008, Россия, г. Ижевск, ул. К. Маркса, д. 246

**A.V. Semakina, M.I. Buzmakova, L.N. Petukhova, D.V. Zasyppkin, E.Yu. Labinskaya, G.R. Platonova**  
**TO ASSESS THE FILTRATION CAPABILITIES OF A VERTICAL GARDENING SYSTEM**

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-3-289-298

A quantitative assessment of the filtration properties of vertical landscaping systems during air purification of administrative premises has been carried out. A study was conducted in one of the offices of Izhevsk, during which more than 1,500 measurements were performed. According to the data obtained, graphs of changes in the concentrations of four gaseous pollutants were plotted in the presence and absence of a vertical gardening system. The average concentrations of all the pollutants studied were within the established sanitary and hygienic standards (average daily maximum permissible concentrations), except for formaldehyde. When processing the results, it was found out that this system with plants is able to effectively reduce the concentrations of carbon dioxide, marginal hydrocarbons, formaldehyde. The conclusion is made about the absorbing ability of the *Epipremnum marble queen* plant used in the vertical gardening system.

**Keywords:** vertical gardening system, *Epipremnum (Epipremnum marble queen)*, marginal hydrocarbons, formaldehyde, carbon monoxide, carbon dioxide.

#### REFERENCES

1. Long Kim. *Zdaniya, effektivnye dlya pol'zovatelya* [Buildings that are effective for the user], Denver: Aardex Corporation, 2004, pp. 14-16 (in Russ.).
2. Arustamian E.A., Borisova N.I., Borisov A.V. [Environment housing and public health], in *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii [Modern scientific researches and innovations]*, 2016, no. 4, pp. 220-225 (in Russ.).
3. Ryabkin M.V. [Development of biotechnology for purification of gas-air emissions of food enterprises and agricultural enterprises from phenolic compounds], Cand. Techn. sci. diss., Moscow, 2002, 184 p. (in Russ.).
4. Stadnik N.M. *Metody ochistki vozdukh* [Methods of air purification], in *Stroitel'stvo i arkhitektura – 2015: Mater. mezhd. nauch.-prakt. konf. "Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya inzhenerno-ekologicheskikh sistem, stroitel'nykh tekhnologiy, materialov i kachestva v stroitel'stve"*, Rostov-on-Don, 2015, p.50-52 (in Russ.).
5. *Sposob ochistki ot gazoobraznykh zagryaznitelej pritochnogo vozduha pomeshchenij* [Pat. 2747863 C1 Russian Federation, IPC B01D 53/04 (2006.01) B01D 35/01 (2006.01) B01J 20/06 (2006.01) B01J 20/10 (2006.01). Method of purification from gaseous pollutants of indoor supply air, Author N.A. Litvinova], No. 2020136575, application 06.11.20; publ. 17.05.2021, Bul. No. 14 (in Russ.).
6. Sigeta E., Kasai S., Nakamura E. *Mikrobiologicheskaya obrabotka durnopakhnushchikh veshchestv* [Microbiological treatment of foul-smelling substances], in *Sange kogai*, 1984, vol. 20, no. 9, pp. 351-357 (in Russ.).
7. Yakovlev S.V., Karyukhina T.A. *Biokhimicheskie protsessy v ochistke stochnykh vod* [Biochemical processes in wastewater treatment], Moscow: Stroyizdat Publ., 1980, pp. 5-15 (in Russ.).
8. Claus G., Kutzner H.T. Steinmuller W. Mikrobiologische abwasserbehandlung, in *Staub, Reinhaltung der Luft*, 1979, vol. 39, no. 5, p.149-152 (in Germ.).
9. Bertoks P., Radd D. *Strategiya zashchity okruzhayushchey sredy ot zagryazneniy* [Strategy of environmental protection from pollution], translated from English, Chertkov Ya.B. (ed), Moscow: Mir Publ., 1981, P. 504 (in Russ.).
10. Kinashi Hiroyasu. *Dezodoraciya s pomoshch'yu mikroorganizmov* [Deodorization with the help of microorganisms], in *MOL-1983*. 1983, no. 3, pp. 63-68 (in Russ.).
11. Vinarov A. Intesification gaz-liquid-cells interaction media, in *ICHEME "8th Europ.Conf. on Mixing"*, Cambridge, UK, 1994, P. 78.
12. Prajapati A., Singh M.R. Assessment of Artificial Photosynthetic Systems for Integrated Carbon Capture and Conversion, in *Sustainable Chemistry and Engineering*, 2019, p. 30.
13. *Gidroponnaya ustanovka* [Pat.2714242 C1 Russian Federation, IPC A01P 31/02 (2003.01), Authors: Amerkhanov R.A., Grigorash O.V., Kirichenko A.S., Antonov V.I., Armaganyan E.G., Dvorny V.V., Apish M.I. Applicant and the patent holder of the Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin"], No. 2019117655, application 06.06.2019, publ. 13.02.2020, Bul. No. 5 (in Russ.).
14. Timofeeva S.S. [Modern phytotechnologies of air purification. Part 1. Technologies of air purification in closed rooms: medical and ecological phytodesign], in *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2017, Vol.2, no. 1 (5), pp. 55-69 (in Russ.).

15. Mansurov R.Sh., Gurin M.A., Rubel' E.V. *Vliyanie kontsentratsii uglekislogo gaza na organizm cheloveka* [The effect of carbon dioxide concentration on the human body], in *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2017, no. 8, p. 4 (in Russ.).
16. Cheung I. Impact of Interior Living Walls on Indoor Air Quality: Study in a Dynamic Environment, in *Vancouver: the university of british columbia*, 2017, P. 5-95.
17. Robertson D.S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health, in *Med. Hypotheses*, 2001, P. 4.
18. Seppanen O.A. Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings, in *Indoor Air*, 1999, p. 52.
19. Chusov. A.N., Vorobyov K.V. [A bio-instrumental apparatus from improving indoor air the air quality], in *Biosphera*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 39-49 (in Russ.).
20. Vorob'ev K. V., Meshalkina M. N., Pshchelko N. S., Rublevskaya O.N. Spichkin G.L. *Pogloshchenie organicheskikh i neorganicheskikh gazovykh zagryazniteley vysshimi rasteniyami v usloviyakh antropogennykh nagruzok* [Absorption of organic and inorganic gas pollutants by higher plants under anthropogenic loads], in *Biotekhnosfera*, 2014, no. 5 (25), pp. 23-29 (in Russ.).
21. *Mediko-ekologicheskiy atlas g. Izhevsk* [Medical and ecological atlas of Izhevsk], Semakina A.V. (ed), Izhevsk: Udmurt. Univ., 2020, pp. 7-72 (in Russ.).
22. *Ekologiya i prirodopol'zovanie na territorii goroda Izhevsk* [Ecology and nature management on the territory of the city monograph], Rysin I.I., Baranova O.G. (ed), Izhevsk: Udmurt. Univ., 2018, 271 p. (in Russ.).
23. Van der Neer Ya. *Vse o komnatnykh rasteniyakh, ochishchayushchikh vozdukh* [All about indoor plants that purify the air], St. Petersburg: SZKEO "Crystal" Publ., 2006, 128 p. (in Russ.).
24. Tsybulya N.V., Fershalova T.D. *Fitontsidnye rasteniya v inter'ere. Ozdoravlivanie vozdukh s pomoshch'yu rasteniy* [Phytoncidal plants in the interior. The healing of the air with the help of plants], Novosibirsk: Novosibirskoe kn. izd-vo, 2000, 109 p. (in Russ.).
25. Bill Wolverson «*Kak vyrastit' svezhiy vozduh: 50 rastenij dlya doma i ofisa*» ["How to grow fresh air: 50 plants for home and office"], 2023. Available at: <https://recyclemag.ru/article/kakie-komnatnie-rasteniya-udalyayut-toksini-vozduha> (accessed: 05.18.2022) (in Russ.).
26. *Monitoring kachestva atmosfernogo vozdukh dlya otsenki vozdeystviya na zdorov'e cheloveka* [Monitoring of atmospheric air quality to assess the impact on human health], in *Regional'naya publikatsiya VOZ, Evropeyskaya seriya*, 2001, no. 85, 293 p. (in Russ.).
27. Bennett J.H., Hill A.C. Interactions of air pollutions with canopies of vegetation, in *Responses of Plants to Air Pollution*, New York - San Francisco - London: Academic Press, 1975, pp. 273-306.
28. Hill A.C. Vegetation: A sink for atmospheric pollutants, in *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 1971, 21 (6), pp. 341-346.
29. *Vliyanie uglekislogo gaza na zdorov'e cheloveka, Sayt Federal'noy sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka Federal'nogo byudzhnogo uchrezhdeniya zdravookhraneniya «Tsentr gigieny i epidemiologii v Chuvashskoy respublike- Chuvashii»* [The impact of carbon dioxide on human health / Website of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being of the Federal Budgetary Healthcare Institution "Center for Hygiene and Epidemiology in the Chuvash Republic- Chuvashia"], 2017. Available at: <https://www.cge21.ru/news/2879> (accessed: 02.05.2023) (in Russ.).
30. Vasilyeva T.V., Petrushenko V.V., Shikhaleeva G.N., Ennan A.A. [Biological utilization of industrial pollution in the "soil-plant-air" system], in *Vestn. Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2011, no. 44-8, pp. 92-97 (in Russ.).

Received 07.06.2023

Semakina A.V., Candidate of Geography, Associate Professor at Department of Ecology and Nature Management  
E-mail: alsen13@list.ru

Buzmakova M.I., student  
E-mail: buzmascha10@mail.ru

Petukhova L.N., Candidate of Geography, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs  
E-mail: petlar75@mail.ru

Platunova G.R., Candidate of Biologh, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management  
E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru

Udmurt State University  
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034

Zasypkin D.V. echnical Director of Wonderwall  
E-mail: zasypkin DV@gmail.com

Labinskaya E.Yu., CEO of Wonderwall  
E-mail: katushalabinskaya@gmail.com

K. Marksa st., 246, Izhevsk, Russia, 426008