

Применение аппаратно - биологических комплексов
для снижения уровня углекислого газа в воздухе помещений

М.П.Федоров, К.В. Воробьев, Г.Л. Спичкин
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Качество воздушной среды помещений в мегаполисах и крупных промышленных городах, в которых сосредоточено значительное количество трудоспособного населения, постоянно ухудшается – в воздухе возрастает концентрация газовых загрязнителей и, в частности, углекислого газа. Аэробный тип дыхания, характерный для человека, протекает в митохондриях клеток и приводит к появлению в качестве конечных продуктов углекислого газа и воды. Дополнительным источником углекислого газа в воздухе помещений также являются газовые приборы для приготовления пищи, горение табака при курении.

В зарубежных стандартах концентрация углекислого газа в воздухе помещений служит индикатором содержания более вредных газовых органических загрязнителей, индикатором качества воздуха.

Отношение к содержанию углекислого газа в воздухе помещения в настоящее время существенно изменяется. Появляется все больше научных публикаций, касающихся исследований влиянию уровня CO_2 на физиологию человека. Так, в частности, было предложено считать [1] безопасным уровнем содержания CO_2 в воздухе уровень 426 ppm ($1 \text{ ppm} \approx 1,8 \text{ мг/м}^3$).

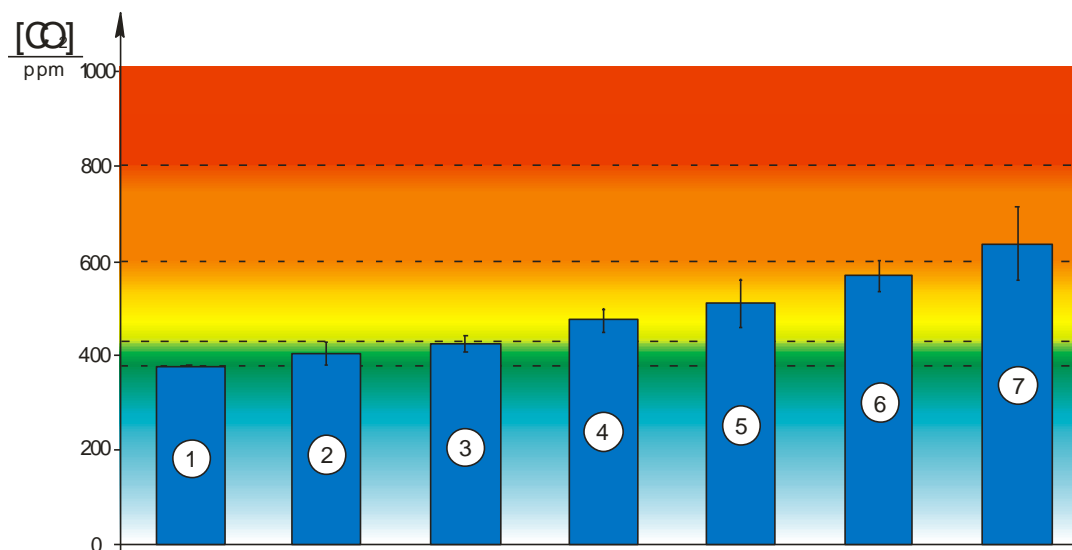
При содержании углекислого газа, превышающем данное значение, происходит снижения уровня pH крови, что способствует развитию ацидоза. По мере возрастания степени ацидоза появляется сонливость и состояние беспокойства. Как следствие этих изменений – снижение физической активности, ухудшение психоэмоционального состояния человека. При уровне 600 ppm у большинства людей возникает ощущение ухудшения самочувствия: повышается утомляемость, ощущается усталость, а при достижении уровня 1000 ppm у людей появляются такие симптомы, как воспаление глаз и носоглотки, головная боль, возникают проблемы с дыханием, снижение концентрации внимания [2].

Содержание углекислого газа в помещении зависит от его концентрации в наружном воздухе, а также, от типа и производительности вентиляции.

На рис. 1 приведены гистограммы концентраций углекислого газа в наружном воздухе, полученные в летний период, в дневное время в различных районах г. Санкт – Петербург.

Для измерения концентрации углекислого газа использовался инфракрасный переносной газоанализатор фирмы ADC Bioscientific Ltd. Co, UK, (модель LCA – 4). Замеры концентрации углекислого газа проводились не менее пяти раз, после чего результаты измерений усреднялись. Для полученных усредненных значений определялся их доверительный интервал.

Рис. 1. Гистограммы концентраций углекислого газа в наружном воздухе

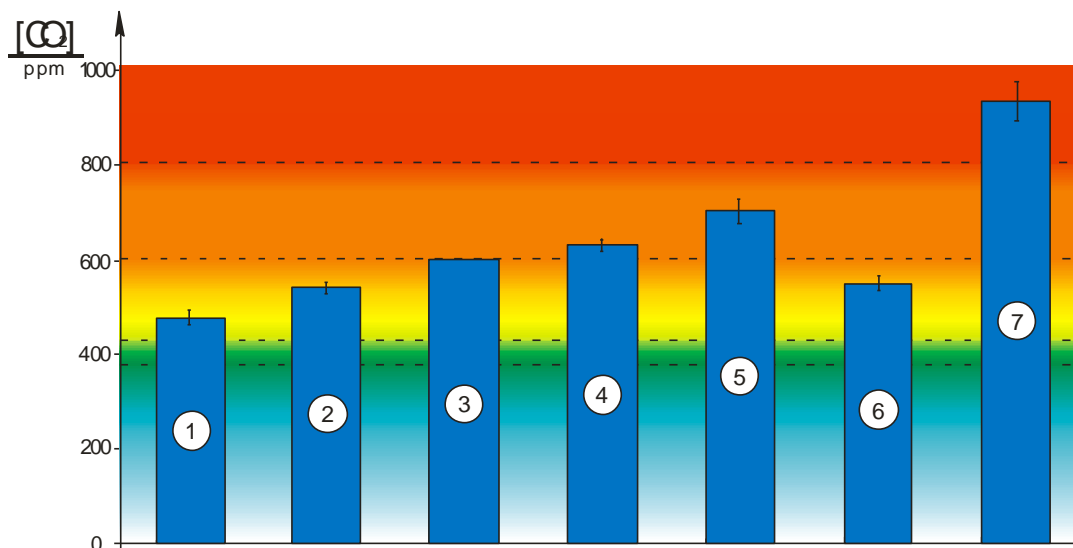


1. концентрация CO_2 в воздухе парка на расстоянии 300 м от городской магистрали - 378 ± 2 ppm,
2. концентрация CO_2 в воздухе парка на расстоянии 150 м от городской магистрали - 405 ± 15 ppm,
3. концентрация CO_2 в воздухе двора с большим количеством взрослых деревьев - 420 ± 10 ppm,
4. концентрация CO_2 в воздухе двора с незначительным количеством взрослых деревьев - 475 ± 15 ppm,
5. концентрация CO_2 в воздухе на набережной - 510 ± 30 ppm,
6. концентрация CO_2 в воздухе городской магистрали при средней интенсивности движения - 570 ± 20 ppm,
7. концентрация CO_2 в воздухе городской магистрали при низкой интенсивности движения и больших «пробках» - 635 ± 45 ppm

Как следует из данных, приведенных на рис. 1, для вентиляции непромышленных помещений имеет смысл использовать наружный воздух, забираемый из «зеленых» зон, характеризующихся наличием значительного количества деревьев и растений. При заборе воздуха городских магистралей изначальное содержание CO_2 в воздухе будет значительно превышать «условно безопасный» уровень 426 ppm. И для того, чтобы обеспечить содержание CO_2 в воздухе помещений хотя бы на уровне 600 ppm кратность воздухообмена должна быть весьма значительной – на уровне 30 м³/час на одного человека [3].

На рис. 2 приведены гистограммы концентраций углекислого газа в воздухе непромышленных помещений различного назначения с искусственной и естественной вентиляцией.

Рис. 2. Гистограммы концентраций углекислого газа в воздухе непромышленных помещений различного назначения



1. концентрация CO_2 в приточном воздухе 475 ± 15 ppm, забор воздуха производится со двора с незначительным количеством взрослых деревьев,
2. концентрация CO_2 в комнате для переговоров (90 м^3 , присутствуют 4 человека, замер осуществляется через 30 минут после начала переговоров, воздухообмен – естественный, через форточки) - 540 ± 10 ppm,
3. концентрация CO_2 в кабинете (20 м^3 , приточно-вытяжная вентиляция отключена, 3 сотрудника, замер осуществляется через 5 минут после вхождения сотрудников в кабинет) – 600 ppm,
4. концентрация CO_2 в помещении проектного бюро офиса (250 м^3 , количество сотрудников – 11 человек, время измерения - 15-00, работает приточно-вытяжная вентиляция, воздухообмен из расчета $30 \text{ м}^3/\text{час}$ на человека) - 630 ± 10 ppm,
5. концентрация CO_2 в помещении проектного бюро офиса (250 м^3 , количество сотрудников – 11 человек, время измерения - 18-00, работает приточно-вытяжная вентиляция, воздухообмен из расчета $30 \text{ м}^3/\text{час}$ на человека) - 700 ± 20 ppm,
6. концентрация CO_2 в рекреации (75 м^3 , 6 крупногабаритных растений, рекреацию периодически посещают от 2 до 4 человек, время измерения - 18-00, воздухообмен – естественный, через форточку) - 550 ± 15 ppm,
7. концентрация CO_2 в холле городской больницы (воздухообмен – естественный, через открытую входную дверь, в холле постоянно находятся 20 – 30 человек, время измерения - 11-00) - 935 ± 35 ppm.

Данные, приведенные на рис.2, еще раз подчеркивают тот факт, что используя для вентиляции помещений городской наружный воздух, имеющий достаточно высокое исходное содержание углекислого газа даже при наличии приточно-вытяжной вентиляции с рекомендуемыми расчетными параметрами воздухообмена не удастся поддерживать уровень содержания CO_2 в пределах 600 ppm. При наличии же только естественной вентиляции (открытые двери, форточки) концентрация углекислого газа достаточно быстро возрастает до опасных значений – 600 – 1000 ppm.

В ходе периодических, в течение дня, замеров содержания CO_2 в воздухе рекреации, в которой были установлены растения со значительной площадью листовой мозаики около 6 м^2 , был отмечен постепенный рост концентрации углекислого газа. Тем не менее, его содержание в воздухе рекреации не превышало 550 ppm, несмотря на то, что в рекреации периодически находились сотрудники.

Очевидно, что растения (растительные сообщества) помогают очищать как наружный воздух, так и воздух помещений от углекислого газа, являясь основным регулятором качества атмосферного воздуха. Отметим, что помимо поглощения углекислого газа и выделения кислорода растительные сообщества снижают запыленность и загазованность воздуха (нейтрализуют органические загрязнители), насыщают воздух фитонцидами, уничтожающими болезнетворные микробы, нивелируют колебания температуры и влажности.

Однако любая индустриализованная урбосистема, в частности, город создает дополнительную нагрузку на растительные сообщества, приводя их к угнетению и, следовательно, к снижению их функциональных возможностей. Поэтому в настоящий момент большое значение приобретает локальная очистка в конкретных местах, имеющих ту или иную степень изолированности. Так, если в городской черте по каким-либо причинам проблематично обеспечить необходимое количество зеленых насаждений, часть зеленых насаждений, а попросту, растений, естественно разместить внутри помещений.

По-видимому, следуя этой логике в документе «ВРЕМЕННЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА проектирования планировки и застройки участков территории высотных зданий – комплексов, высотных градостроительных комплексов в городе Москве, МГСН 1.04-2005» указано, что... «площадь озеленения на участках застройки определяется из расчета не менее 5 кв.м на одного человека с учетом озеленения эксплуатируемых крыш и специальных помещений - рекреаций (зимние сады), распределенных по этажам здания.

Размещение растений внутри здания оправдано и с точки зрения сезонности функционирования зеленых насаждений – уличные растения не обеспечивают возложенные на них функции по оздоровлению воздушного бассейна в зимний и, частично, в осенний и весенний периоды. Более того, оперируя техническими средствами, способными воздействовать на растения, т.е. создавая аппаратно-биологические комплексы, можно обеспечивать нормальное функционирование растительных сообществ в автоматизированном режиме и повышать эффективность очистки воздуха растениями [4,5], тем самым, снижать количество необходимых для жизнедеятельности человека растений, существенно экономить используемую площадь помещений.

Период индустриального развития общества привел к некоторой идеализации технических систем и игнорированию возможностей естественных экосистем. Однако следует отметить, что подобная практика является опасным заблуждением. Известно, что благодаря своей способности к фотосинтезу растения поглощают углекислый газ и, в качестве побочного продукта, выделяют кислород.

Использование экологически чистого «биологического» метода снижения уровня CO_2 в воздухе помещений имеет ряд преимуществ перед сугубо техническими средствами: «биологический» метод экономичнее технических систем как с точки зрения капитальных, так и эксплуатационных затрат, не требует значительного энергопотребления и, как следствие, не способствует повышению уровня CO_2 в атмосфере в результате сжигания топлива, не требует периодической регенерации и очистки абсорбентов [6].

Какие же растения целесообразно использовать в аппаратно-биологических комплексах, предназначенных в первую очередь, для снижения углекислого газа в воздухе помещений и какова эффективность использования растений для этих целей.

Для ответа на этот вопрос были проведены эксперименты по видимому фотосинтезу растений, являющихся достаточно распространенными в комнатном растениеводстве, имеющих высокие декоративные характеристики и, что весьма важно, характеризующиеся высокими декларируемыми показателями по эффективности фотосинтеза [7].

Итак, в эксперименте были задействованы мирт обыкновенный, традесканция *Tradescantia fluminensis* Vell., азалия и хлорофитум. Эти растения адаптированы к освещенности на уровне 100 ФАР, 1 ФАР \approx 80 люкс (область фотосинтетической радиации ФАР определяется излучением в спектральном диапазоне 400 – 700 нм, имеющем наибольшее значение для жизнедеятельности растений). Для освещения растений в настоящей работе использовались люминесцентные энергосберегающие лампы, характеризующиеся высоким коэффициентом передачи потребляемой энергии в излучение в области ФАР.

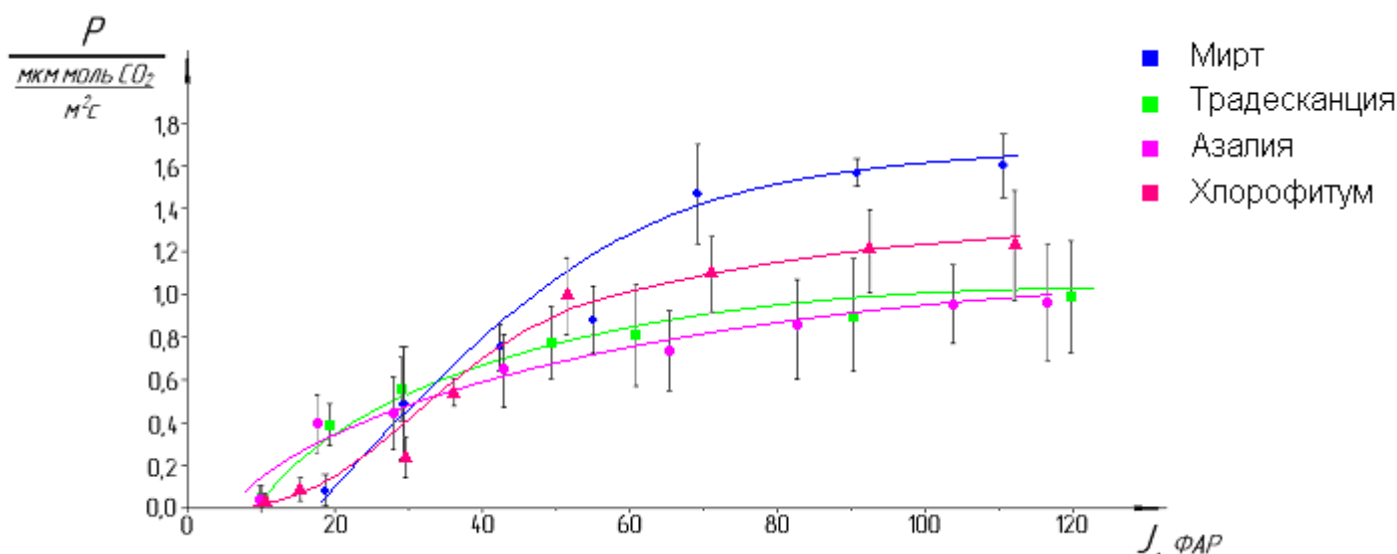
Для измерения скорости фотосинтеза растений, как и при определении концентрации углекислого газа в уличном воздухе и воздухе помещений, использовался газоанализатор фирмы ADC Bioscientific Ltd. Co, UK, (модель LCA – 4), позволяющий определять разницу в концентрациях углекислого газа в атмосферном воздухе и в газовой смеси, которая формируется в рабочей камере газоанализатора, расположенной на поверхности листа растения. Замеры поглощения углекислого газа проводились не менее, чем для пяти различных листьев, находящихся при одинаковой освещенности, каждого из растений, после чего результаты измерений усреднялись. Для полученных усредненных значений определялись их доверительные интервалы.

Результаты экспериментов представлены на рисунке 3.

Как следует из рисунка, при интенсивности искусственной освещенности 120 ФАР (около 10 000 люкс), для большинства исследованных растений значения скорости поглощения углекислого газа находятся в пределах 1 – 1,2 мкм моль/м² сек. Максимальное значение скорости поглощения углекислого газа получено для мирта – 1,6 мкм моль/м² сек. При интенсивности освещенности 60 – 70 ФАР (около 5000 люкс) для всех исследованных растений наблюдается переход к насыщению зависимости скорости поглощения углекислого газа от интенсивности освещенности. По-видимому, данное значение интенсивности освещенности может использоваться в инженерных расчетах при выборе ламп, используемых в аппаратно – биологических комплексах.

Также в инженерных расчетах будем принимать значение скорости поглощения углекислого газа растениями, входящими в состав аппаратно-биологических комплексов, на уровне 1 мкм моль/м² сек.

Рис. 3. Скорость поглощения углекислого газа миртом, традесканцией, азалией и хлорофитумом



При построении аппаратно-биологического комплекса, предназначенного, в первую очередь, для снижения уровня углекислого газа в воздухе помещения, предъявляются в основном те же требования, что и для аппаратно-биологических комплексов общего назначения [4,5]:

- растительные сообщества должны состоять из растений, предпочитающих, по возможности, идентичный тип полива (верхний, нижний или смешанный),
- растения должны характеризоваться высокой активностью дневной формы фотосинтеза, иметь примерно одинаковые характеристики эффективности фотосинтеза от интенсивности освещенности,
- растения должны быть адаптированы к климатическим параметрам помещений (температуре, влажности и подвижности воздуха), иметь высокие декоративные характеристики и сочетаемость друг с другом.

Кроме исследованных в настоящей работе растений (мирт, азалия, традесканция и хлорофитум), в аппаратно-биологических комплексах могут также использоваться и другие растения, характеризующиеся высокой поглощающей способностью углекислого газа [8,9]. Большинство этих растений являются достаточно распространенными и повсеместно районированными комнатными растениями, и их выбор для использования в аппаратно – биологических комплексах не представляет больших сложностей.

В состав технических средств аппаратно-биологических комплексов кроме систем автоматического полива и фотосинтетически активного освещения, как правило, входит генератор биполярных аэроионов, формирующий аэроионный фон в зоне действия комплекса в соответствии с санитарными нормами СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных зданий», а также блок автоматики. Данный блок включает в себя набор датчиков, позволяющих осуществлять контроль

характеристик микроклимата помещения и почвы, а также, устройство автоматизированного управления, обеспечивающее нормальное функционирование комплекса в соответствии с выбранным алгоритмом и с учетом сезонности и специфики посещения людьми помещения, в котором предполагается установка комплекса.

Один из вариантов использования растений в аппаратно-биологическом комплексе «ЗЕЛЕНАЯ СТЕНА» представлен на рис. 4.



Рис.4. Фотография типового модуля аппаратно – биологического комплекса общего назначения «ЗЕЛЕНАЯ СТЕКА»

Основные технические характеристики типового модуля аппаратно – биологического комплекса «ЗЕЛЕНАЯ СТЕКА»:

- площадь листовой кроны – около 10 м²,
- средняя интенсивность освещенности растений – 3000- 5000 лкс,
- зона действия комплекса (зона распространения высоко кондиционного воздуха) - около 2,5 м,
- потребляемая мощность – не более 250 Вт.

Проведем оценку скорости поглощения углекислого газа растениями типового модуля аппаратно – биологического комплекса «ЗЕЛЕНАЯ СТЕКА».

Скорость поглощения углекислого газа растениями с площадью листовой кроны S при постоянном давлении определяется выражением

$$V / \Delta t = S R T P^{-1} (\Delta p / \Delta t S), \quad (1)$$

где P - давление (кПа), V – объем поглощаемого растениями углекислого газа (л), Δp - число молей, R = 8,31 Дж/моль К – универсальная газовая постоянная, T- температура (К).

Скорость поглощаемого углекислого газа с единицы листа растения ($S^{-1} \Delta p / \Delta t$) на основании экспериментальных данных составляет 10⁻⁶ моль/м² с.

На основании (1) скорость поглощения углекислого газа с единицы площади листьев составляет 1,5 мл/ м² мин. или 90 мл/ м² час. При площади листовой кроны на уровне S = 20 м² растения типового модуля поглощают углекислый газ со скоростью v около 2 л/час.

Напомним, что средний взрослый человек выделяет углекислый газ со скоростью от 15 л/час в состоянии покоя до 30 л/час при обычной деятельности, что существенно превышает возможности поглощения углекислого газа одним аппаратно – биологическим комплексом (один комплекс поглощает примерно от 7 до 15 % углекислого газа, продуцируемого одним взрослым человеком).

Если считать, что основным газовым загрязнителем в офисном помещении является углекислый газ, на удаление которого рассчитана приточно – вытяжная вентиляция, можно утверждать, что один типовой аппаратно – биологический комплекс в первом приближении позволяет снизить затраты на вентиляцию примерно на те же самые 7 – 15%.

Аппаратно – биологические комплексы могут использоваться и в условиях выключенной приточно – вытяжной вентиляции.

Оценим объем помещения, например, гермозоны, который способен очистить такой модуль.

Предположим, что время для очистки воздуха составляет $T = 12$ часов (половину суток растения «отдыхают», половину суток – «работают») и что в помещении.

К моменту начала функционирования комплекса концентрация углекислого газа находится на уровне 1000 ppm (0,1 %), а хотелось бы довести ее до уровня 400 ppm (0,04 %). Таким образом, ставится задача понизить уровень содержания углекислого газа на $\Delta = 0,06$ % за $T = 12$ часов при скорости поглощения 2 л/час без привлечения приточно-вытяжной вентиляции.

На основании (1) объем очищаемого от углекислого газа помещения с учетом заданных предположений составляет около 50 м^3 .

Не следует забывать, что по мере роста растений существенно прибавляется зеленая масса. При нормальной подкормке прирост зеленой массы составляет 0,5 - 1 м²/месяц, что еще более увеличивает интенсивность поглощения углекислого газа.

Помимо способности поглощать углекислый газ аппаратно-биологические комплексы обладают рядом особенностей и преимуществ:

- конструкция модуля обеспечивает удобное построение «растительных зеленых объектов» различной конфигурации в виде протяженных «зеленых стенок или перегородок», вписывающихся во внутренний дизайн помещений различного назначения;
- конструкция комплексов обеспечивает возможность их перемещения внутри помещения в случае необходимости;
- при функционировании комплексов обеспечивается возможность формирования физико-химического состава воздуха помещения, максимально приближенного к составу природного воздуха,
- в зоне действия комплекса обеспечивается элиминация микроорганизмов, а в воздухе всего помещения - угнетение жизнедеятельности бактерий и вирусов;
- комплекс осуществляет экологически чистую биологическую очистку воздуха от органических загрязнителей, экологически чистое биогенное, на молекулярном уровне, увлажнение воздуха помещений с эффектом саморегуляции уровня влажности,
- генератор биполярных аэроионов комплекса обеспечивает концентрацию легких аэроионов в зоне действия комплекса на уровне оптимальных «природных» значений.

Как следствие реализации особенностей функционирования аппаратно - биологических комплексов - существенное снижение у сотрудников уровня стресса психоэмоционального характера, восстановление и поддержание высокого уровня работоспособности, создание и поддержание адекватного визуального ряда, соответствующего образам живой природы в лаконичных интерьерах с целью задания позитивного эмоционального настроения.

Список использованной литературы.

1. Robertson D.S. The rise in the atmospheric concentration of carbon dioxide and the effects on human health. *Med.Hypotheses*, 2001.
2. Seppanen O.A. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings, *Indoor Air*, 1999.
3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
4. Федоров М.П., Воробьев К.В., Замараева В.С., Спичкин Г.Л. «Аэроионы для здоровья». *Экология и жизнь*, № 8(81), 2008, с.76 – 82.
5. Федоров М.П., Спичкин Г.Л., Воробьев К.В. «Комнатные растения против органических загрязнителей». *Экология и жизнь*, № 11(84), 2008, с.80 - 85.
6. Силенко М. «СО₂ – проблема и решение». *Сантехника, отопление, кондиционирование*. № 4, 2008, с. 83 – 85.
7. Спичкин Г.Л. , Воробьев К.В., Федоров К.В., Кудрявцев О.Ю., Войцеховская О.В. "Влияние экспериментальных аэроионных воздействий на фотосинтез *TRADESCANTIA FLUMINENSIS*". *Успехи современной биологии*, том 129, № 5, 2009, с. 464 - 468.
8. Ван дер Неер. Все о комнатных растениях, очищающих воздух. – СПб: ООО «Кристалл», 2005. – 128 с., ил.
9. Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д. Фитонцидные растения в интерьере (оздоровление воздушной среды с помощью растений). – Новосибирск: Новосибирское книжное изд-во, 2000 - 112 с.