

Оценка количества органических загрязнителей, поглощаемых комнатными растениями

Спичкин Г.Л., Воробьев К.В., Мешалкина М.Н., Кудрявцев О.Ю.

По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения, городской житель проводит в помещениях почти 80% своего времени. По данным ученых, сравнивавших воздух в квартирах с загрязненным городским воздухом, оказалось, что воздух в комнатах в 4-6 раз грязнее наружного и в 8-10 раз токсичнее. В воздухе жилища выявлено свыше 1000 химических и биологических агентов; более четверти веществ, обнаруживаемых в воздушной среде помещений, являются аллергенами. Американское агентство по Охране окружающей среды признало загрязнение воздуха проблемой номер один для здоровья людей [1].

В настоящее время существует проблема длительного пребывания людей в помещениях, воздух которых перенасыщен газовыми органическими и неорганическими загрязнителями, причиной которых являются как уличная среда, так и сами люди, продуцирующие большое количество органических загрязнителей.

Еще более сложная задача, с которой столкнулись гигиенисты и специалисты в области среды обитания человека, связана с длительным пребыванием людей в замкнутых изолированных пространствах. Эта проблема обозначилась во время разработок, связанных с освоением космоса и с военной тематикой.

Традиционно такие задачи решались с помощью технических средств. Тем не менее, состояние персонала, пребывающего в гермозонах, внушало опасение врачам, так как никакими техническими средствами не удавалось полностью смоделировать среду обитания человека, адекватную по физико-химическому составу и по гамме абиотических и биотических характеристик природному воздуху, к которому адаптирован человек. В частности, использование технических средств увеличивало шумовую и электромагнитную нагрузку, деионизировало воздух и лишало человека привычной видеозоологической среды. В конечном итоге это приводило к выходу человека, находящегося в замкнутом пространстве, из экологической зоны комфорта и ухудшало характеристики его функциональности.

Наиболее полно проблема длительного пребывания людей в замкнутых пространствах была сформулирована специалистами Национального агентства по авионавтике и исследованию космического пространства (NASA). Ими были проведены исследования по поиску альтернативных средств очистки воздуха в жилых и рабочих отсеках космических кораблей и орбитальных станций.

Одним из перспективных средств очистки воздуха были признаны высшие растения, относящиеся к нескольким семействам отдела покрытосемянных [12]. В частности, было установлено, что некоторые комнатные растения эффективно нейтрализуют основные органические и неорганические газовые загрязнители (формальдегид, толуол, стирол, углекислый газ, аммиак), присутствие которых вероятно в воздухе помещений [11]. Одним из наиболее распространенных комнатных растений, эффективно поглощающих органические загрязнители, является традесканция. Традесканция (*Tradescantia*), род растений семейства коммелиновых, представлен несколькими видами: *T. Virginiana*, *T. Albiflora*, *T. fluminensis* и другие (всего 32 вида).

Считается, что традесканция – является растением, которое характеризуется способностью эффективно очищать воздух от формальдегида [8]. Традесканция весьма неприхотлива и, будучи тропическим растением, способна при хорошем освещении поддерживать внесезонную очистительную активность.

Следует отметить, что вопрос поглощения и утилизации органических соединений растениями на данный момент является недостаточно хорошо изученным и представляется важным как с фундаментально-научной точки зрения, так и с

практической. В частности, представляет интерес выяснить, какое количество и каких органических загрязнителей может поглотить без особого вреда для себя одно комнатное растение и отчего зависит эта поглотительная способность?

В соответствии с поставленными вопросами в настоящей работе исследовалась поглотительная способность традесканций (*Tradescantia Albiflora* и *Tradescantia Virginiana*), по отношению к ацетону, бензину - растворителю и газообразным смолам, входящим в состав табачного дыма. Выбор этих химических объектов был обусловлен очень высокой их распространенностью в воздухе рабочих помещений, при этом, следует отметить, что выбранные токсиканты позволяют в должной мере оценить как внешние (бензин), так и внутренние источники загрязнений (ацетон и фракции табачного дыма).

В ходе экспериментов были поставлены следующие задачи:

- определение поглотительной способности традесканции по отношению к указанным загрязнителям в условиях различного освещения,
- определение поглотительной способности традесканции при первичном и при повторном воздействии на растения выбранными загрязнителями,
- определение возможности управления (небиогенной регуляции) поглотительной способностью традесканций путем воздействия на растения слабыми физическими факторами, например, ... ионами отрицательной и положительной полярности.

Эксперименты проводились на специально подготовленном стенде, который моделировал гермообъект. Основным элементом стенда являлась камера из нержавеющей стали объемом 300 л.

Искусственное загрязнение воздуха камеры парами ацетона или бензина производилось путем впрыскивания нескольких капель жидкого ацетона или бензина на дно камеры с последующим их быстрым испарением с помощью перемешивающих воздушных потоков. Количество испаряемой жидкости рассчитывалось таким образом, чтобы при ее полном испарении и переходе в газообразную фазу, концентрация загрязнителя в камере примерно была на уровне ПДК.

Напомним, что предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ацетона в воздухе рабочей зоны производственных помещений - 200 мг/м^3 , а предельно допустимая концентрация паров бензина - растворителя - 300 мг/м^3 .

При моделировании загрязненности воздуха камеры газообразными смолами камера заполнялась дымом от одной сигареты.

В состав табачного дыма входит около 4000 веществ и представляет смесь разных фракций, которые образуются в результате термической возгонки листьев *Nicotiana glauca* [10]. Табачный дым содержит аэрозольную и газовую составляющую. Аэрозольная составляющая табачного дыма состоит из смолы, которая, в свою очередь, состоит из многих химических веществ, никотина и бензопирена. В состав газовой фазы входят такие загрязнители, как оксид углерода, аммоний, диметилнитрозамин, формальдегид и многие другие.

Перед загрязнением воздуха в камеру устанавливались традесканции с общей площадью листовой мозаики около $0,5 \text{ м}^2$. Камера имела прозрачную для видимого света крышку, через которую растения могли получать искусственную досветку контролируемой интенсивности. Досветка осуществлялась люминесцентными лампами «белого» света, имеющими в своем спектре повышенное количество наиболее любимого растениями красного и синего цвета. Для определенности средний уровень искусственной освещенности растений выбирался равным 1100 и 80 люкс. Кроме того, в отдельных экспериментах растения вообще не получали искусственной досветки. В этом случае уровень их освещенности не превышал 4 люкс. Другими словами, исследовалась возможность нейтрализации растениями органических загрязнителей в условиях их «сна» или «отдыха».

Для исследования влияния ионизированного воздуха на растения испытательную камеру заполняли отрицательными или положительными ионами в концентрации до

200 000 ионов/ см³. Генерация ионов осуществлялась непосредственно в камере в потоке воздуха, проходящего через зону разряда коронного типа.

Для равномерного заполнения камеры органическими загрязнителями и ионами во всех экспериментах обеспечивалось перемещение воздуха в камере с подвижностью на уровне 1 м/с.

Исследования поглотительной способности растений по отношению к органическим загрязнителям проводились в течение 1 – 8 часов.

Живой организм имеет пороговые пределы любой функции, которые определяются так называемой нормой реакции и представляют собой индивидуальные особенности модификационной изменчивости, характерной для данного вида. Это означает, что поглотительная способность растений исследуемых видов достаточно жестко регламентирована видовыми характеристиками. Кроме этого, в работе учитывалась биогенная динамика процесса поглощения, а именно его циклическая составляющая (процесс поглощения – насыщение – регенерация – процесс поглощения). Для определения периода регенерации (восстановления поглотительной активности традесканций по отношению к газовым загрязнителям) растения после первичного «химического» воздействия повторно помещались в камеру с загрязненным воздухом, после чего повторно определялась эффективность нейтрализации загрязнителя.

Измерение концентрации загрязнителей осуществлялись с помощью прибора «Колион – 1А», проградуированным на различные органические загрязнители, в том числе, на ацетон и бензин. Поэтому измерения концентрации данных загрязнителей в камере были получены в абсолютных значениях. При определении поглотительной способности растений по отношению к газообразным смолам были получены в относительных величинах.

Основные результаты экспериментов приведены на рис 1.

Анализ зависимостей поглотительной способности традесканций по отношению к органическим газовым загрязнителям показал следующее.

В присутствии растений концентрация органических загрязнителей в испытательной камере со временем уменьшается (рис.1). Имеется определенная закономерность данного уменьшения: падение концентрации имеет два характерных участка - участок быстрого спада концентрации, который можно характеризовать как этап «высокой эффективности поглощения» и участок замедленного спада концентрации, соответствующий этапу «низкой эффективности поглощения».

Первый участок (этап «высокой эффективности поглощения») характеризуется высокими скоростями поглощения. Его продолжительность составляет 1 - 2 часа. Максимальные значения скорости поглощения для интактных растений, т.е. растений, не подвергавшихся ранее интенсивному химическому воздействию, как для паров бензина, так и для паров ацетона, приходится на первые 15 – 30 минут химического воздействия и в среднем составляют:

- на единицу листовой мозаики - 3,75 мг/м² мин.,
- в пересчете на одно растение (площадь листовой мозаики каждого из использованных в эксперименте растений составляла около 0,06 м²) - 0,2 мг/мин.

К концу первого участка скорость поглощения падает примерно в 10 – 15 раз. Примерно такой же темп снижения скорости поглощения растениями наблюдается и для газообразных смол, входящих в состав табачного дыма.

Второй участок характеризуется низкими скоростями поглощения. Характерной особенностью второго участка является примерное постоянство скорости поглощения органических загрязнителей, во всяком случае, в течение времени проведения экспериментов – до 8 часов.

Значения скоростей поглощения органических загрязнителей на этом участке для интактных растений для паров бензина и ацетона не превышают:

- на единицу листовой мозаики - 0,06 мг/м² мин.,

- в пересчете на одно растение - 3 мкг/мин.

Очевидно, что величина скорости поглощения органических загрязнителей на этом участке составляют не более 1,5 % от максимальной скорости поглощения.

Таким образом, можно считать, что основное поглощение органических загрязнителей растениями осуществляется в течение первых одного - двух часов от начала химического воздействия, что и следует учитывать в прикладных задачах, связанных с очисткой воздуха от органических загрязнителей с помощью растений.

Количество поглощенной органики одним растением за первые 2 часа очистки достигает 6 мг, что в пересчете на единицу листовой мозаики растения соответствует значению 0,1 г/м².

При использовании растений для очистки воздуха от выбросов органических загрязнителей необходимо иметь в виду, что реализация токсикантов в растениях может протекать по нескольким механизмам. Все механизмы в той или иной степени основываются на энергетической или на пластической составляющей метаболизма растения. Поэтому процессы насыщения и переработки того или иного экзогенного субстрата напрямую ограничены наличием соответствующего ему фермента или иной метаболической группы и, таким образом, не могут продолжаться бесконечно и должны иметь циклы накопления и реализации химических реагентов клеточного происхождения [7]. Следовательно, растения после химического воздействия не сразу восстанавливают свои поглотительные способности. Для этого необходимо достаточно продолжительное время. Так, если в камеру с растениями, подвергшимися первичному химическому воздействию, повторно ввести газовый загрязнитель, например, пары бензина, с концентрацией на уровне ПДК, т.е. с примерно той же концентрацией, что и при первичном воздействии, максимальная скорость поглощения растениями загрязнителя значительно падает и составляет всего 6 – 10 % от максимальной скорости поглощения. Количество поглощенного загрязнителя (паров бензина) в течение первого часа интактными растениями и растениями, уже подвергшимися химическому воздействию, различаются в несколько раз (рис.2). Для повышения (восстановления) поглотительной способности растение должно «отдохнуть», как минимум, в течение суток (рис. 2).

«Заставить» растения «быстро» восстанавливаться и повторно поглощать органические загрязнители с высокой интенсивностью оказалось возможным, создав в камере с растениями высокую концентрацию аэроионов на уровне 200 000 ион/ см³. При аэроионном воздействии скорость поглощения органических загрязнителей растениями, уже подвергавшихся химическому воздействию, примерно соответствовала максимальной, а общее количество поглощенной органики значительно возросло.

На рис.3 приведены результаты опытов, описывающих поочередное одночасовое воздействие загрязнителя (паров бензина) с начальной концентрацией на уровне ПДК на растения, установленные в испытательной камере, в следующей последовательности.

В течение первого часа загрязнитель поглощался интактными растениями. По окончании первого часа в испытательную камеру повторно поступал загрязнитель также с концентрацией на уровне ПДК. Поступление в камеру загрязнителя осуществлялось также по окончании второго, третьего и четвертого часа эксперимента. В течение второго часа в камеру подавались аэроионы отрицательной полярности, в течение третьего часа – аэроионы положительной полярности, в течение четвертого часа – аэроионное воздействие отсутствовало, а в течение пятого часа – снова подавались аэроионы отрицательной полярности. Важным результатом эксперимента является следующее:

- вследствие аэроионного воздействия резко возрастает поглотительная способность даже у подвергшихся химическому воздействию растений,
- значительно возрастает общее количество органических загрязнителей, которое растения способны поглотить и «переработать» за короткое время,
- эффект аэроионного воздействия - достаточно устойчивый: после резкого спада поглотительной способности растений в отсутствии аэроионного воздействия в

течение четвертого часа эксперимента, данная способность снова возвращалась при воздействии на растения аэроионами в течение пятого часа.

- Декоративные качества растений после аэроионного воздействия не ухудшались, однако некоторое время отмечалась «шершавость» поверхности листьев, что свидетельствовало об изменении состояния опушенности листьев, характерной для используемых в эксперименте традесканций. По-видимому, изменение опушенности связано с изменением электрического заряда клеток эпидермиса листа [1].

Интенсивность поглощения растениями органических загрязнителей зависит от освещенности: чем больше освещенность, тем выше скорость поглощения (Таблица 1).

Таблица 1. Значения максимальной скорости поглощения паров бензина «свежими» растениями при различных уровнях освещенности

Уровень освещенности растений, люкс	1100	80	4
Максимальная скорость поглощения в пересчете на единицу листовой мозаики, мг/м ² мин.	3,75	1,2	< 0,1

Обсуждение результатов экспериментов.

Способность растений поглощать и перерабатывать токсические газы в воздухе не является неожиданной для растений, более того она вполне оправдана их историческим развитием. Известно, что древнейшие растительные формы обитали в земной атмосфере, которая очень сильно отличалась от современной атмосферы по газовому составу и была насыщена вулканическими газами. Поскольку именно деятельность растений привела к созданию современной атмосферы, способность не только дезактивировать, но и использовать вредные для человека газы, является вполне ожидаемой функцией растений. Данная функция у современных растений, безусловно, несколько редуцирована по сравнению с аналогичной функцией у древнейших растительных форм, но, тем не менее, существует.

Органические газообразные вещества используются растениями в качестве источников микроэлементов (С, N, H, O, P, S). Для осуществления жизнедеятельности растения включают органические газы в свои клеточные метаболические пути, т.е. попросту используют эти вещества как «продукты питания» [5].

Метаболические процессы, а именно то их звено, которое относится к реакциям пластического обмена или синтеза, у растений представлено очень большой группой реакций и очень развито, поскольку растения относятся к автотрофным организмам и все необходимые им органические продукты способны синтезировать сами.

Освещенность для растения является основным запускающим механизмом всех процессов и реакций, в том числе, реакций автотрофного синтеза (их в растениях около 200), поэтому трудно переоценить влияние освещенности на растения и с точки зрения их поглотительной способности.

Если влияние освещенности на поглотительную способность растений относительно понятно и предсказуемо, то чем можно объяснить наличие порога насыщения поглотительной способности растений по отношению к газовым загрязнителям и почему при аэроионном воздействии на растения величина порога увеличивается в несколько раз?

Как уже было сказано выше, порог насыщения связан с расходом циркулирующих субстратов или ферментов и зависит от работы устьиц - специальных

отверстий, которые ограничены чрезвычайно чувствительными клетками [6]. Эти клетки открывают и закрывают входы во внутренние паренхимальные каналы тканей листа, через которые растение осуществляет газообмен с внешней средой. Свободная диффузия газовых загрязнителей через устьица, характерный поперечный размер которых находится на уровне 10 мкм, а длина – на уровне 100 мкм, ощутима при значительных начальных диффузионных градиентах, т.е. при высоких начальных уровнях концентраций загрязнителей и заметно падает при снижении концентрации загрязнителей. Возможно, именно диффузионным механизмом может быть объяснено наличие участков с «высокой эффективностью поглощения» и участков с «низкой эффективностью поглощения».

Устьичные клетки реагируют на малейшие изменения условий окружающей среды (температуру, влажность), тем более, они реагируют на изменение ионного состава воздуха [4]. Под действием аэроионов происходит изменение заряда и электрического поля на мембранах клеток эпидермиса листьев и, соответственно, изменение механизма работы устьиц. Возможно также, что вследствие электростатического расталкивания, обусловленного наличием униполярно заряженных молекул газовых загрязнителей, увеличивается интенсивность их транспорта через устьица во внутренние каналы тканей листьев – на диффузионную составляющую транспорта накладывается дрейфовая составляющая движения заряженных молекул в электрическом поле. Интенсивность транспорта молекул газового загрязнителя приводит, в конечном итоге, к увеличению поглотительной способности растений.

Изменение порога насыщения поглотительной способности растений при аэроионном воздействии также может быть связано с влиянием активных форм кислорода (O_2^- и O_2^+), которые часто выступают как катализаторы клеточных процессов [2].

Выводы.

Поглощение растениями рода *Tradescantia* экзогенных органических веществ, относящихся к низкомолекулярным и среднемолекулярным фракциям ароматических и алифатических углеводородов, представляет собой циклический процесс, который включает в себя этапы активного поглощения, вторичного поглощения, регенерации и восстановления способности к насыщению.

Данный циклический процесс поддается экзогенной регуляции с помощью изменения освещенности растений и с помощью аэроионного воздействия.

Полученные данные позволяют рекомендовать данные методы регуляции при проектировании фитомодулей, предназначенных для интенсивной очистки воздуха помещений от органических загрязнителей.

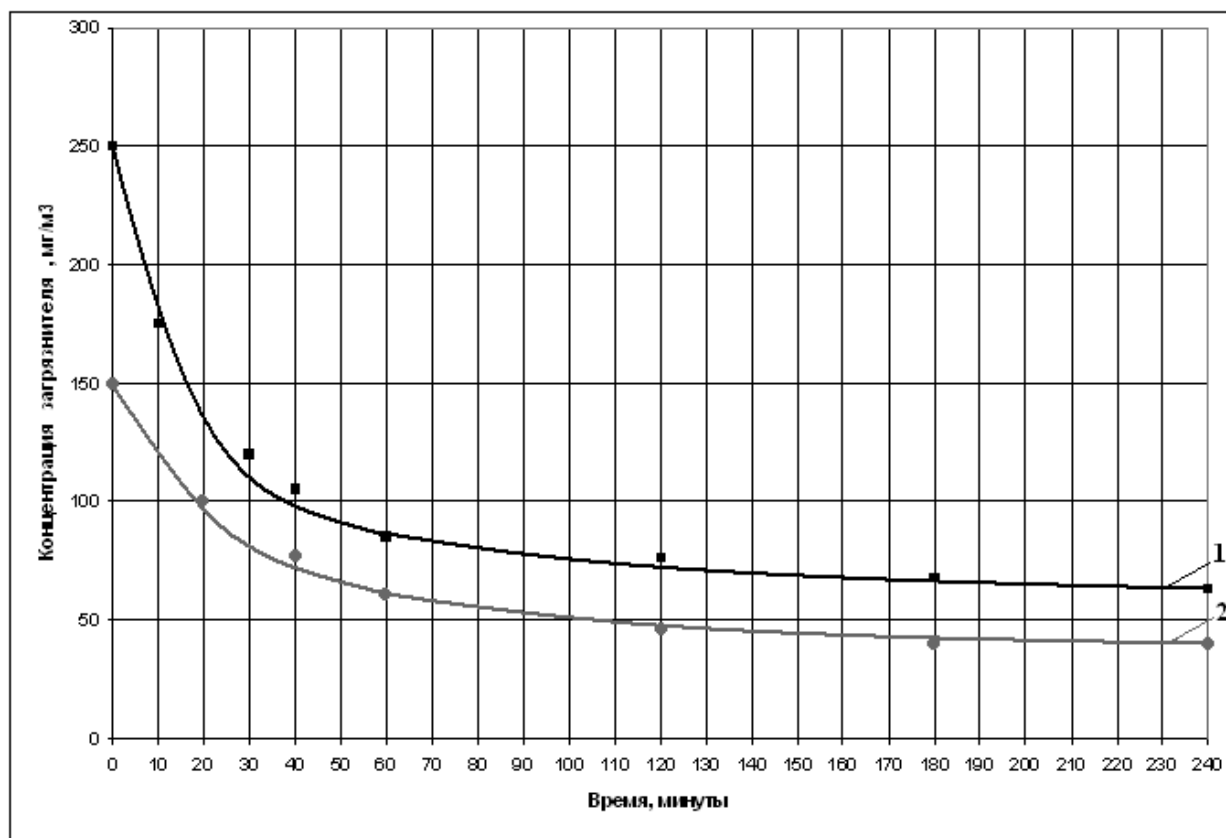
Использованная литература.

1. Беркинблит М.Б., Глаголева Е.Г. Электричество в живых организмах. М - Наука, - 1988, - с. 287.
2. Веселовский В.А. О роли биоантиоксидантов в устойчивости растений к неблагоприятным условиям существования. Биоантиоксиданты в регуляции метаболизма в норме и патологии. М.- Наука, - 1982. - с. 150-162.
3. Воронин В.А. Главный жизненный ресурс: воздушная среда помещений. – СПб.: Издательство ДЕАН – 2004. – с.128.
4. Жолкевич В.Н. Транспорт воды в растении и его эндогенная регуляция. – Наука - 2001. – с.73.
5. Олейников А.Н. Геологические часы. Ленинград - Недр Ленинградское отделение - 1987. – с. 227.

6. Толокнова А.Н. Разработка концепции определения самоочищающей способности водных экосистем и ее аппаратурная реализация. Электронный научный журнал «Исследовано в России», с.1012.
7. Рубин Б. А., Арциховская Е.В., Аксенова В.А. Биохимия и физиология иммунитета растений. Изд. 3-е перераб. и доп. Учеб. Пособие для студентов биологических специальностей ун-тов. М. Высшая школа, - 1975. - с.318
8. Цыбуля Н.В., Рычкова Н.А., Дульцева Г.Г., Скубневская Г.И. Изучение возможностей некоторых декоративных растений как фильтров для очистки газовой среды помещений от формальдегида и других карбонильных соединений / Химия в интересах устойчивого развития, № 8, - 2000. – с. 881–884.
9. Cooke JP, Bitterman H. Nicotine and angiogenesis: a new paradigm for tobacco-related diseases. *Ann Med.* 2004 - 36(1) – 33340 - Review
10. Djordjevic MV, Stellman SD, Zang E. Doses of nicotine and lung carcinogens delivered to cigarette smokers. *Journal of the National Cancer Institute* 2000 – 90. – p.106–111.
11. Dyshinevich N.E., R. Sova Polymeric Constructive Materials and Air Quality in Buildings: Impact on the Health of the Population on Environment and Health. — 1998. — p. 236–241.
12. Wallace L., Pellizzari E. The influence of personal activities on exposure, to volatile organic compounds *Environ. Res.* — 1989. — 50, N1. — p. 37–55.

РИСУНКИ

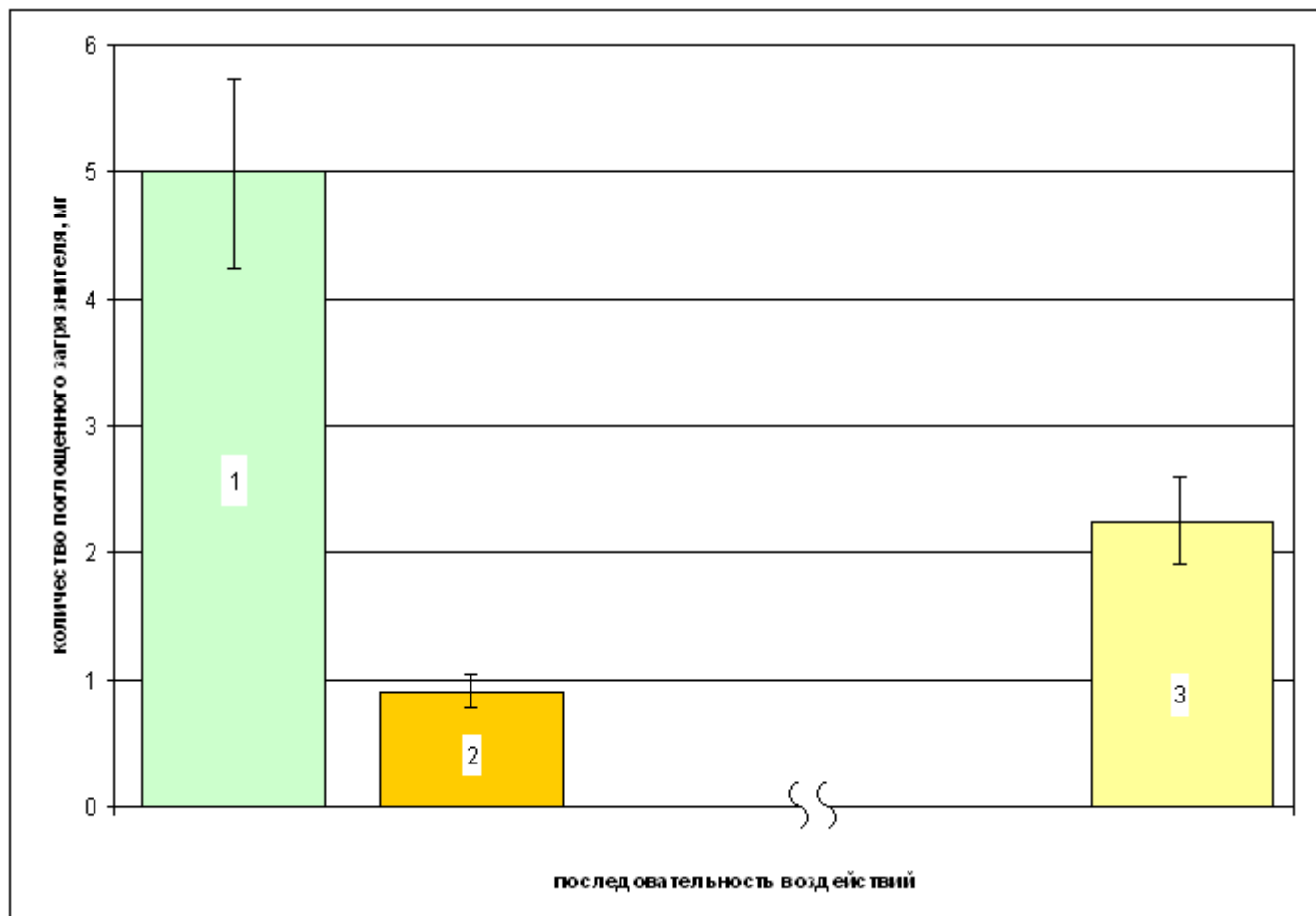
Рис.1. Зависимость концентрации паров ацетона (1) и концентрации газообразных смол (2), входящих в состав табачных дымов, в испытательной камере объемом 300 л, заполненной интактными растениями



Освещенность традесканций – 1100 люкс,

Общая площадь листовой мозаики традесканций - около 0,5 м²

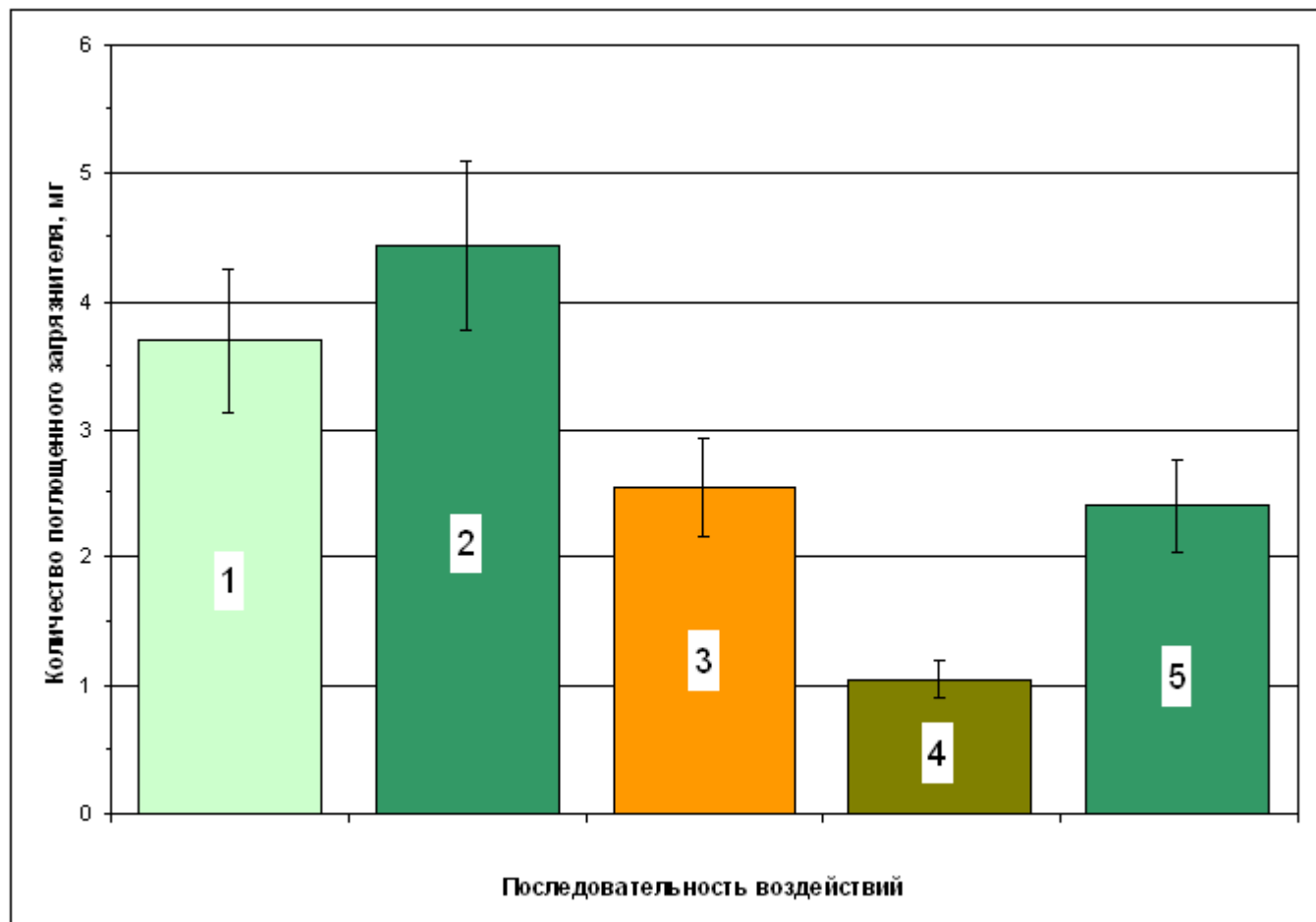
Рис.2. Количество поглощаемых паров бензина одним растением (традесканцией) с площадью листовой мозаики около 6 дм² за интервал времени 1 час



1 – интактное растение, 2- растение, подвергшееся повторному химическому воздействию сразу после предыдущего воздействия, 3 - растение, подвергшееся повторному химическому воздействию через 20 часов после предыдущего воздействия.

Освещенность растения – 1100 люкс.

Рис.3. Количество поглощаемых паров бензина одним растением (традесканцией) с площадью листовой мозаики около 6 дм² за интервал времени 1 час



1 интактное растение, 2- растение, подвергшееся повторному химическому воздействию и воздействию аэроионов отрицательной полярности, 3 - растение, подвергшееся повторному химическому воздействию и воздействию аэроионов положительной полярности, 4 - растение, подвергшееся только повторному химическому воздействию (аэроионное воздействие отсутствует), 5 - растение, подвергшееся повторному химическому воздействию и воздействию аэроионов отрицательной полярности.

Освещенность растения – 1100 люкс.