

125<sup>П</sup>



**ПОЛИТЕХ**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого



*В. В. Глухов*

# КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРУДА

*Учебное пособие*



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

*В. В. Глухов*

КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕГО  
ВОЗДУХА  
И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРУДА

Учебное пособие



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург

2024

ББК 65.246  
Г55

Р е ц е н з е н т ы:

Академик Российской академии наук, доктор экономических наук,  
профессор, научный руководитель института проблем региональной  
экономики РАН

*Окрепилов Владимир Валентинович*

Кандидат военных наук, доцент, директор высшей школы  
техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого

*Андреев Андрей Викторович*

*Глухов В. В. Качество окружающего воздуха и продуктивность труда : учебное пособие / В. В. Глухов. — СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2024. — 62 с.*

Борьба с загрязнением воздуха требует экстренных мер. В пособии рассмотрены источники загрязнения воздуха, особенности его влияния на здоровье людей и экономику страны. Особо выделены вопросы влияния загрязнения воздуха на работу в помещениях, учебных классах.

Материал пособия ориентирован на студентов, преподавателей и работников вузов. Он помогает осознать серьезность проблемы и ориентирует на выработку мероприятий по снижению загрязнения окружающего воздуха.

Пособие рекомендуется использовать в рамках основной образовательной программы и повышения квалификации по дисциплине «Охрана труда».

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Глухов В. В., 2024

© Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, 2024

ISBN 978-5-7422-8619-6

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                  | 4  |
| 1. Всемирный рейтинг качества воздуха .....                     | 7  |
| 2. Виды загрязнения воздуха .....                               | 12 |
| 3. Расчет индекса качества воздуха .....                        | 17 |
| 4. Как уменьшить загрязнение воздуха .....                      | 21 |
| 5. Участие государства в охране атмосферного воздуха .....      | 23 |
| 6. Нормативы ПДК .....                                          | 28 |
| 7. Качество воздуха в помещении .....                           | 30 |
| 8. Приборы контроля воздуха .....                               | 39 |
| 9. Влияние качества воздуха на здоровье .....                   | 42 |
| 10. Инновационные решения при очистке воздуха в помещении ..... | 46 |
| 11. Комнатные растения для очистки воздуха .....                | 51 |
| 12. Стоимость загрязнения воздуха .....                         | 53 |
| Заключение.....                                                 | 56 |
| Контрольные вопросы .....                                       | 57 |
| Нормативные термины .....                                       | 58 |
| Дополнительная литература .....                                 | 61 |

«...В России необходимо сформировать систему экологического мониторинга... От планов нужно быстрее переходить к действиям. Нам предстоит отработать и внедрить систему мониторинга качества воздуха. В дальнейшем распространить такой контроль на всю страну. Причем не только за состоянием воздуха, но и воды, и почвы, то есть сформировать полноценную систему экологического мониторинга...»

*Президент Российской Федерации В.В. Путин*

## ВВЕДЕНИЕ

Человек может жить без еды до месяца (20–25 дней), без воды – 10–15 суток, а без воздуха – не более 5 минут! Человек за сутки вдыхает 12–24 кг воздуха, что превышает количество выпитой воды и съеденной пищи. Показатели наглядно иллюстрируют значимость этих ресурсов для жизни человека.

Однако, если сравнить внимание, которое уделяется качеству еды, воды и воздуха, то проявится обратная ситуация. Множество инструментов, методов, технических средств, информационных передач используется для оценки качества пищи и воды, но практически не контролируется и не оценивается качество окружающего воздуха, его изменение, степень влияния на процессы в организме. А если и контролируется, то мы мало обращаем на это внимания.

Атмосферный воздух – это бесцветная и непахучая смесь газов, часть которых составляет 78 % азота, 21 % кислорода. Кроме того, имеются благородные газы, углекислый газ (0,03 %), а также водяной пар и примеси органического и минерального происхождения.

Под качеством атмосферного воздуха понимают совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Загрязняющие вещества легко распространяются в воздухе, и поэтому они влияют на всю окружающую среду. Время пребывания загрязнения в атмосфере может варьироваться от нескольких дней до многих лет. Например, для  $\text{NO}_x$  – 1 день;  $\text{SO}_2$  – 3 дня;  $\text{H}_2\text{S}$  – 4 дня;  $\text{CO}$  – 60 дней;  $\text{CH}_4$  – 9 лет;  $\text{N}_2\text{O}$  – 120 лет;  $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$  – 380 лет.

Исследование, опубликованное в журнале Nature, показало, что загрязнение воздуха в помещении стало причиной преждевременной смерти у 3,2 млн чел. в 2020 г. По данным специалистов Всемирной организации здравоохранения, в том же году из-за загрязнения наружного воздуха ушли из жизни 3,5 млн чел. Лечение заболеваний, вызванных загазованностью, стоит примерно 1 триллион долларов в год.

Загрязнение воздуха – серьезная угроза не только здоровью населения, но и окружающей среде. Возрастная группа от 20 до 39 лет в настоящее время больше всего страдает от загрязнения воздуха.

Чистый воздух остался лишь на одном проценте территории земного шара.

На сайте компании Маклауд размещены оценки (средние) влияния загрязнения воздуха по отдельным событиям<sup>1</sup>:

– если вы жили рядом с лесными пожарами на западном побережье США 2020 г., то это стоило вам 2,4 дня жизни;

– развести по-настоящему дымный огонь (и подышать этим) стоит 1 день жизни;

– жечь конусное благовоние – 2,3 часа жизни;

– одну ночь использовать ультразвуковой увлажнитель воздуха – 50 минут жизни;

– выкурить одну сигарету – 11 минут жизни;

– задуть свечу перед сном – 10 минут жизни.

Тревожными результатами научной работы поделилось издание ScienceAlert. Согласно опубликованным данным, загрязнение воздуха, которое наблюдается в большинстве городов, сокращает жизни людей как минимум на два года, и это в лучшем случае. По словам исследователей, жители особенно сильно загрязненных

---

<sup>1</sup> Невидимые убийцы в воздухе: как продлить себе жизнь, контролируя уровень чистого воздуха и  $\text{PM}_{2,5}$  // Блог компании Маклауд. 2021.

Индии и Бангладеша сокращают свои жизни почти на 10 лет. Этот показатель можно считать актуальным и для Китая, на некоторых территориях которого имеются существенные загрязнения воздуха<sup>2</sup>.

Австралийские ученые из Университета Монаша определили место с самым чистым воздухом на Земле. Им оказалось пространство над Южным океаном, омывающее Антарктиду. Исследование опубликовано в журнале *Climate and Atmospheric Science*. Обеспечивают чистоту воздуха отсутствие человеческой деятельности, активность фитопланктона, интенсивные осадки.

Решением Организации Объединенных Наций с 2019 г. день 7 сентября объявлен как «Международный день чистого воздуха ради голубого неба».

В 2023–2024 гг. под эгидой Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) была проведена первая глобальная оценка национального законодательства о загрязнении воздуха в 194 государствах и Европейском союзе. Его авторы пришли к выводу, что треть стран не имеют никаких нормативных актов, определяющих стандарты качества воздуха.

Повышение качества воздуха — это дополнительная жизнь с минимальными затратами денег, времени, усилий или силы воли!

Настоящее пособие предназначено для студентов, изучающих предмет «Экология», для слушателей курсов повышения квалификации по предмету «Охрана труда».

---

<sup>2</sup> Ганиев Р. На сколько лет загрязненный воздух сокращает жизни людей? // Hi News.ru. 2020.

## 1. ВСЕМИРНЫЙ РЕЙТИНГ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

Значение качество воздуха воспринимается очень остро Всемирной организацией здравоохранения. Выделяются огромные средства для построения и сопровождения всемирного мониторинга качества воздуха.

Разработан и используется рейтинг стран, регионов и городов по чистоте воздуха. Самый чистый город в 2024 г. – Сидней. Самый грязный воздух в Чад, Бангладеш, Пакистане, Индии (это более 2 млрд чел.).

Шкала оценки качества воздуха предусматривает 6 степеней: хорошо (показатель от 0 до 50), умеренный (50 – 100), нездоровый для чувствительных групп (100–150), нездоровый (150 – 200), очень нездоровый (200 – 300), опасный (300 – 500). Структура шкалы показывает сложившуюся неблагоприятную ситуацию. Здесь две ступеньки относятся к нормальной ситуации и четыре к нарастающей.

Рейтинговые оценки качества воздуха содержат следующие характеристики:

– «хорошо» – качество воздуха считается удовлетворительным, а загрязнения представляют собой небольшой риск или вообще отсутствуют;

– «умеренный» – качество воздуха приемлемое, некоторые загрязнители создают небольшой риск для здоровья незначительного числа людей, которые сверхчувствительны к загрязнению воздуха;

– «нездоровый для чувствительных групп» – представители групп риска могут испытывать проблемы со здоровьем;

– «нездоровый» – каждый может начать испытывать последствия для здоровья, члены чувствительных групп могут испытывать более серьезные последствия для здоровья;

– «очень нездоровый» – предупреждения опасности для здоровья в чрезвычайных ситуациях, все граждане в зоне риска;

– «опасный» – возможны серьезные негативные последствия для здоровья, необходимо воздержаться от любой физической активности на воздухе.

Для контроля качества воздуха используют Всемирный Индекс качества воздуха – IQAir (World Air Quality Index). Применяется он в реальном режиме времени и в глобальном масштабе. По каждой контролируемой точке на территории измеряют и отображают в информационных базах данных:

– качество воздуха в реальном времени;

– 7-дневное загрязнение воздуха;

– исторические данные о загрязнении воздуха в реальном времени;

– прогнозирование ситуации;

– Всемирную карту загрязнения воздуха;

– текущие события по загрязнению воздуха.

По всему миру применяются более 30 000 станций в более 80 странах. Станции используют лазерные датчики контроля частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  (наиболее вредные загрязнители воздуха), передают информацию по сети WiFi в центры обработки информации, работают на солнечной батарее. Индекс качества воздуха основан на измерении твердых частиц ( $ТЧ_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ), озона ( $O_3$ ), двуокси азота ( $NO_2$ ), диоксида серы ( $SO_2$ ) и выбросов окиси углерода ( $CO$ ). Все измерения основаны на часовых показаниях: например, AQI, сообщаемый в 8 AM, означает, что измерение проводилось с 7 до 8 AM.

В сети Интернета имеется набор актуальных Интерактивных карт и порталов, которые в реальном времени отражают ситуацию с чистотой воздуха:

– карта пожаров СКАНЭКС – обобщает данные со спутников, которые работают по принципу тепловых точек, то есть спутники замечают пожар по инфракрасному излучению;

– World Air Quality Index – некоммерческий проект, который начал работать в 2007 г. (карта объединяет более 10 тыс. станций

мониторинга. Сервис собирает информацию как с официальных источников и от частных лиц);

– Climate Watch – визуальные данные по выбросам парниковых газов, ранжированные по странам, отраслям и видам парниковых газов;

– сайт «Земля в режиме реального времени» с приложением показывает температуру; концентрацию углекислого газа, угарного газа, озона и водяного пара; уровень гравитационного поля; влажность почвы; уровень и соленость моря.

«Нормативы ВОЗ по качеству воздуха – это научно обоснованный и практический инструмент для улучшения его качества, от которого зависит вся жизнь. Я призываю все страны и тех, кто борется за защиту нашей окружающей среды, использовать их для уменьшения страданий людей и спасения жизней», – генеральный директор ВОЗ Тедрос Аданом Гебрейесус, (2021).

Считается, что 91% людей дышат вредным воздухом, 7 млн человек ежегодно умирают от воздействия тонкодисперсных веществ в загрязненном воздухе (Всемирная организация здравоохранения). Исследование Чикагского университета говорит о том, что грязный воздух сокращает продолжительность жизни индийцев в среднем на 5,3 года<sup>3</sup>.

Плохое качество воздуха оказывает сильное воздействие на детский организм, отмечают эксперты ВОЗ. У детей могут наблюдаться проблемы с функцией легких, замедление роста, респираторные инфекции и обострение астмы. Сильное загрязнение воздуха часто приводит к диабету и нейродегенеративным заболеваниям.

Твердые частицы  $PM_{2,5}$  в воздухе образуются в результате сжигания ископаемого топлива, пыльных бурь и лесных пожаров. Они способны глубоко проникать в легкие и попадать в кровеносную систему, поражая сердечно-сосудистую и дыхательную системы. Воздействие наночастиц  $PM_{2,5}$  способствует развитию или усугубляет течение имеющихся заболеваний, включая астму, рак, инсульт и болезни легких.

---

<sup>3</sup> <https://www.tadviser.ru/index.php>

Швейцарская компания IQAir, которая производит системы для очистки воздуха, представляет ежегодные анализы данных о качестве воздуха в городах в разных странах мира. Исследование показывает, например, что в 2023 г. только в семи странах содержание в воздухе микроскопических частиц, опасных для здоровья, соответствовало требованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Исследователи собирают данные с более чем 30 тыс. станций мониторинга качества воздуха, охватывающие 7 812 городов, расположенных в 134 странах. Эксперты анализируют количество микроскопических частиц  $PM_{2,5}$ . ВОЗ считает безопасным для здоровья уровень концентрации этих микроскопических частиц менее  $5 \text{ нг/м}^3$ <sup>4</sup>.

Для России средний показатель составил  $10 \text{ нг/м}^3$ . При этом ситуация отличается в разных городах: например, в Челябинске, по данным анализа, средняя концентрация  $PM_{2,5}$  составила всего  $2,8 \text{ нг/м}^3$  (отмечается ограниченное количество источников данных), в Санкт-Петербурге —  $7 \text{ нг/м}^3$ , а в Красноярске —  $26 \text{ нг/м}^3$ .

По показателям на 2022 г. самый чистый воздух оказался на острове Гуам. Это самый крупный из Марианских островов, расположенных в западной части Тихого океана. Там показатель вещества  $PM_{2,5}$  составил  $1,3 \text{ мкг/м}^3$ . Также в пятерку благополучных попали Французская Полинезия ( $2,5 \text{ мкг/м}^3$ ), Виргинские острова ( $2,9 \text{ мкг/м}^3$ ), Бермуды ( $3 \text{ мкг/м}^3$ ) и три общины, подчиненные Нидерландам, в Карибском море — Бонайре, Синт-Эстатиусе и Сабе ( $3,3 \text{ мкг/м}^3$ ).

В 2023 г Россия в мировом рейтинге на 94-м месте, в рейтинге столиц Москва — на 81-м месте<sup>5</sup>.

В индийской столице Нью-Дели зафиксированы самые высокие в мире показатели содержания в воздухе загрязняющих веществ. Связано это с сезонным сжиганием отходов сельскохозяйственных культур в пригородных районах, вредными выбросами от огромного количества транспортных средств, строительными работами и деятельностью угольных электростанций.

---

<sup>4</sup> <https://hightech.fm/2024/03/20/ai>

<sup>5</sup> <https://kudago.com/all/news/opublikovan-otchyot-o-kachestve/?ysclid=lujhrbqjjw552245619>

Оценку степени воздействия загрязняющих частиц в воздухе на здоровье человека можно сделать на основе опубликованных результатов исследований<sup>6</sup>:

- длительное воздействие уровня 33,3  $\text{PM}_{2,5}$  стоит 1 год жизни;
- перемещение из места, где нет твердых частиц, в место с уровнем 100  $\text{PM}_{2,5}$  стоит 3 года жизни;
- при 2500  $\text{PM}_{2,5}$  теряются годы жизни;
- воздействие уровня 5000  $\text{PM}_{2,5}$  в течение 3 часов стоит 6 часов жизни.

Большинство частиц в воздухе являются результатом деятельности человека. Источниками частиц являются электростанции (особенно угольные), заводы, антропогенные пожары, автомобили.

В большинстве мест в мире есть средства измерения частиц в реальном времени. Некоторые погодные веб-сайты представляют данные о мелких частицах в воздухе.

«Руководящие принципы по качеству воздуха», выпускаемые Всемирной организацией здравоохранения, — это справочная информация, которую правительства стран мира могут использовать при установке внутренних нормативов качества воздуха. Показатели AQI помогают странам предпринять верные шаги к улучшению экологии.

Например, власти могут разработать национальные стандарты, принять нормативы предельно допустимых выбросов и сбросов загрязняющих веществ, ограничить использование ископаемого топлива, перейти к использованию экологически чистой бытовой энергии, больше инвестировать в энерго эффективное жилье и производство электроэнергии.

Показатели воздуха могут помочь людям правильно распределить свою деятельность, ограничивая свое пребывание на территории в наиболее неблагоприятное время, чтобы максимально защитить свое здоровье. Например, в сильную жару и при повышенном загрязненном воздухе не рекомендуется гулять и заниматься спортом на «свежем воздухе».

---

<sup>6</sup> Невидимые убийцы в воздухе: как продлить себе жизнь, контролируя уровень чистого воздуха и  $\text{PM}_{2,5}$  // MagisterLudi, 2021.

## 2. ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

По источникам загрязнения выделяют:

- естественное;
- антропогенное.

По характеру загрязнения атмосферы разделяют:

- физическое – механическое (пыль, твердые частицы), тепловое загрязнение;
- химическое – загрязнение газообразными веществами и аэрозолями (оксид углерода (IV), оксиды азота, диоксид серы, углеводы, альдегиды, амиак, пыль, радиоактивные изотопы, тяжелые металлы (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr) ;
- биологическое – загрязнение микробной природы (загрязнение воздуха вегетативными формами, спорами бактерий и грибов, вирусами, а также их токсинами и продуктами жизнедеятельности).

Наиболее распространенные загрязнители следующие.

**Двуокись углерода** (CO<sub>2</sub>) – углекислый газ – бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Необходимый газ для фотосинтеза, являющегося главным источником свободного кислорода на Земле. В малых концентрациях не опасен, при повышенных концентрациях в воздухе по воздействию на дышащие живые организмы его относят к удушающим газам. ВОЗ впервые ввела допустимую среднесуточную концентрацию угарного газа – 4000 мкг/м<sup>3</sup>.

Воздействие угарного газа вызывает отравление (нарушение связывания кислорода с гемоглобином) у людей, боль в груди, сердечные заболевания, снижение умственных способностей, проблемы со зрением и способствует образованию смога. Показатель оценки безопасного воздействия используется в качестве национального

критерия AQI. Безопасный уровень воздействия, по данным правительства Индии, составляет 0–0,4 мг/м<sup>3</sup> (1 час), а по данным Агентства по охране окружающей среды США 0–9,4 частей на миллион за 8 часов.

**Оксид углерода (CO)** – бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ». Образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, газа, нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При вдыхании угарный газ за счет имеющейся в его молекуле двойной связи образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь.

**Диоксид серы (SO<sub>2</sub>)** – сернистый ангидрид – образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Он, в первую очередь, участвует в формировании кислотных дождей. Общемировой выброс SO<sub>2</sub> оценивается в 190 млн т в год. Этот газ имеет кислую и коррозионную природу и может реагировать в атмосфере с другими соединениями с образованием серной кислоты и других оксидов серы.

Выбросы от автомобилей, промышленности, сжигания ископаемого топлива, выработки электроэнергии и т. д. являются причинами поступления диоксида серы в атмосферу. Диоксид серы является основной причиной дымки, кислотных дождей, повреждения листвы, памятников и зданий, вступает в реакцию и образует твердые частицы. У людей он вызывает дискомфорт при дыхании, астму, раздражение глаз, носа и горла, воспаление дыхательных путей и сердечные заболевания.

Диоксид серы используется, например, правительством Индии и Агентством по охране окружающей среды США в качестве параметра для расчета индекса качества воздуха (AQI). Безопасный уровень воздействия составляет 0–80 мкг/м<sup>3</sup> (24 часа) и 0–75 частей на миллиард (1 час), по данным правительства Индии и Агентства по охране окружающей среды США соответственно.

ВОЗ допускает повышение среднесуточной концентрации диоксида серы с 20 до 40 мкг/м<sup>3</sup>. Разовая допустимая концентрация диоксида серы сохранилась на уровне 500 мкг/м<sup>3</sup>.

Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит вначале к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем — к воспалению или отёку лёгких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания.

**Оксиды азота** (оксид и диоксид азота) — газообразные вещества: монооксид азота  $\text{NO}$  и диоксид азота  $\text{NO}_2$  объединяются одной общей формулой  $\text{NO}_x$ . При всех процессах горения образуются окислы азота, причем большей частью в виде оксида. Чем выше температура сгорания, тем интенсивнее идет образование окислов азота.

Другим источником окислов азота являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения. Количество окислов азота, поступающих в атмосферу, составляет 65 млн т в год. От общего количества выбрасываемых в атмосферу оксидов азота на транспорт приходится 55 %, на энергетику — 28 %, на промышленные предприятия — 14 %, на мелких потребителей и бытовой сектор — 3 %. Двуокись азота является высокореактивным газом, присутствующим в атмосфере.

Отравление двуокисью азота не менее опасно, чем отравление угарным газом. Он при вдыхании может вызвать серьезное поражение сердца, всасывание в легкие, воспаление и раздражение дыхательных путей. Образование смога и повреждение листьев являются некоторыми видами воздействия диоксида азота на окружающую среду.

Например, правительство Индии и Агентство по охране окружающей среды США используют диоксид азота в качестве параметра для расчета AQI. По данным правительства Индии, безопасное воздействие составляет 0–80  $\text{мкг/м}^3$  (24 часа), а по данным Агентства по охране окружающей среды США 0–53 частей на миллиард (1 час).

ВОЗ установила допустимую среднегодовую концентрацию диоксида азота в 10  $\text{мкг/м}^3$ . Кроме того, введена среднесуточная предельная концентрация диоксида азота — 25  $\text{мкг/м}^3$ . Разовый норматив содержания диоксида азота — 200  $\text{мкг/м}^3$ .

**Озон** ( $O_3$ ) – газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений. Озон выделяется из промышленных предприятий, автомобильных выхлопов, паров бензина, растворителей, химикатов и электронных устройств. Оксиды азота ( $NO_x$ ) и общее количество летучих органических соединений (tVOC) также способствуют образованию приземного озона.

Грунтовый озон препятствует процессу дыхания растений и повышает восприимчивость к факторам окружающей среды. Когда люди вдыхают озон, наблюдается снижение функции легких, воспаление дыхательных путей и раздражение глаз, носа и горла.

Озон является одним из критериев AQI. По данным, например, правительства Индии, безопасное воздействие составляет  $0–100$  мкг/м<sup>3</sup> (8 часов), а по данным Агентства по охране окружающей среды США  $0–0,054$  частей на миллион (8 часов).

Допустимая концентрация на протяжении 8 часов, по рекомендации ВОЗ, –  $100$  мкг/м<sup>3</sup>.

**Углеводороды** – химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т. д.

**Аммиак** представляет собой бесцветный, реактивный и растворимый щелочной газ с сильным резким запахом. Основными источниками аммиака являются сельскохозяйственная деятельность, животноводство, удобрения, различные промышленные процессы, выбросы автомобилей, улетучивание из океанов и почвы и т. д.

Аммиак является основной причиной эвтрофикации водоемов. Он способствует изменению климата, образованию твердых частиц, снижению видимости и атмосферному осаждению атомов азота. Люди испытывают немедленное жжение в глазах, носу, горле и дыхательных путях, слепоту и повреждение легких при воздействии высоких уровней. Он может вызвать кашель и раздражение глаз, носа и горла при воздействии низкой концентрации.

**Свинец** (Pb) – серебристо-серый металл, токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства красок, боеприпасов, типографского сплава и т. п. Около 60 % мировой добычи свинца ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Основным источником (около 80 %) загрязнения атмосферы соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств.

Свинец агрессивен и устойчив по своей природе, но легко тускнеет на воздухе. Он выделяется при обработке металлов, сжигании отходов, сжигании ископаемого топлива, отработавших батареях, выбросах от транспортных средств, сжигании ископаемого топлива и т. д.

Воздействие свинца может вызвать нефротоксичность, нейротоксичность, деформацию костей, снижение репродукции, трудности с обучением, сердечно-сосудистые эффекты, утрату биоразнообразия, снижение плодородия почвы и загрязнение воды. Безопасный уровень воздействия свинца составляет 0–1 мкг/м<sup>3</sup> (24 часа).

**Промышленные пыли** в зависимости от механизма их образования подразделяются на следующие 4 класса:

- механическая пыль – образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса;

- возгоны – образуются в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат, установку или агрегат;

- летучая зола – содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении;

- промышленная сажа – входящий в состав промышленного выброса твердый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Основными источниками антропогенных аэрозольных загрязнений воздуха являются теплоэлектростанции, потребляющие уголь. Сжигание каменного угля, производство цемента и выплавка чугуна дают суммарный выброс пыли в атмосферу, равный 170 млн т в год.

### 3. РАСЧЕТ ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

В разных странах существуют свои индексы качества воздуха, соответствующие различным национальным стандартам качества воздуха: Европейский показатель, индекс США, Канадский индекс качества воздуха, Малайзийский индекс загрязнения воздуха и Сингапурский индекс загрязнения окружающей среды.

В США работы по расчету индекса качества воздуха в районах столиц начались в 1968 г. В ноябре 2017 г. Европейское агентство по окружающей среде объявило о Европейском индексе качества воздуха (ЕАQI) и стало поощрять его использование на веб-сайтах для информирования общественности о качестве воздуха.

Европейский ИКВ (European AQI) основан на значениях концентрации для 5 основных загрязнителей:

- твердых частиц ( $PM_{10}$ );
- твердых частиц ( $PM_{2,5}$ );
- озона;
- диоксида азота;
- диоксида серы.

При этом ИКВ отражает лишь краткосрочную ситуацию. Индекс не характеризует долгосрочную (годовую) обстановку по состоянию воздуха, которая может существенно отличаться. ИКВ не является инструментом проверки соответствия стандартам качества воздуха и не может применяться ко всем загрязняющим примесям, а только к тем, для которых установлены краткосрочные нормативы<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Индекс загрязнения воздуха: что это такое, как вычислить, значения в разных городах.

<https://rcycle.net/ekologiya/atmosfera/indeks-zagryazneniya-vozduha-cto-eto-takoe-kak-vychislit-znacheniya-v-raznyh-gorodah> (дата обращения 29.04.2024).

Индекс качества воздуха может повышаться из-за увеличения выбросов в атмосферу. Например, во время интенсивного движения транспорта в час пик или при возникновении лесного пожара с подветренной стороны, а также из-за недостаточного рассеивания загрязняющих веществ в воздухе. Зстой воздуха, часто возникающий из-за антициклона, температурной инверсии или низкой скорости ветра, способствует высокой концентрации загрязняющих веществ, химическим реакциям между загрязняющими веществами, образованию агрессивного тумана.

Правило расчета разных индексов опирается на отличающийся состав учитываемых веществ. Определяющими для большинства методик являются:

- твердые частицы  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ;
- озон;
- диоксид азота;
- диоксид серы;
- монооксид углерода.

В Европе учитывают концентрацию шести загрязняющих веществ, указанных выше. В Индии, помимо приведенных выше веществ, также учитывается концентрация аммиака.

Кроме основного показателя, рассчитывают:

- индекс качества воздуха за период усреднения длительностью от 1 до 24 часов;
- пороговые значения уровней концентрации (для разных шкал устанавливаются разные пороговые значения загрязняющих веществ);
- основной загрязнитель, который представляет наибольшую угрозу здоровью.

Для измерения качества воздуха используются различные методы, что влияет на итоговые значения. Организации, занимающиеся контролем качества воздуха, могут замерять показатели самостоятельно, опираться на данные коммерческих датчиков или использовать аналитические модели. Например, Google использует результаты мониторинга со всего мира, опираясь на данные:

- с коммерческих датчиков;
- со спутников;

- о погодных условиях;
- о загруженности дорог;
- о пожарах;
- о почвенно-растительном покрове.

Рассмотрим алгоритм расчета показателя AQI, учитывающего несколько видов загрязняющих веществ, –

$$I_p = [(I_{Hi} - I_{Lo}) / (BP_{Hi} - BP_{Lo})] (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} ,$$

где  $I_p$  – индекс загрязняющего вещества  $p$ ;

$C_p$  – усеченная концентрация загрязняющего вещества  $p$ ;

$BP_{Hi}$  – контрольная точка концентрации, т. е. больше или равна  $C_p$ ;

$BP_{Lo}$  – контрольная точка концентрации, т. е. меньше или равна  $C_p$ ;

$I_{Hi}$  – значение AQI, соответствующее  $BP_{Hi}$ ;

$I_{Lo}$  – значение AQI, соответствующее  $BP_{Lo}$ .

Например, если необходимо рассчитать AQI на основе  $PM_{2,5}$ , CO и озона:

- рассчитываем субиндекс для каждого параметра отдельно;
- если текущая концентрация  $PM_{2,5}$  составляет  $110 \text{ мкг/м}^3$ , то применительно к диапазону AQI, согласно стандартам,  $BP_{Hi} = 120$ ,  $BP_{Lo} = 91$ ,  $I_{Hi} = 300$  и  $I_{Lo} = 201$ ;

– подставляем значения в уравнение –

$$\text{Субиндекс} = [(300 - 201) / (120 - 91)] (110 - 91) + 201 = 265,86;$$

– точно так же для других параметров можно рассчитать субиндекс;

– наихудший субиндекс показывает AQI.

Загрязнение воздуха в России отображается на сайте Russia Индекс качества воздуха (AQI) – уровень загрязнения воздуха в режиме реального времени. Здесь показано загрязнение шестью веществами (твердые частицы  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ; озон; диоксид азота; диоксид серы; монооксид углерода), индекс загрязнения воздуха по городам, карта качества воздуха, индекса качества воздуха в метро городов, исторический график качества воздуха за 24 часа, 7 дней и 1 месяц.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы I, вычисляется по следующей формуле:

$$I = \sum_i I_i = \sum_i c_i (x_i / \text{ПДК}_i),$$

где  $x_i$  – среднегодовая концентрация загрязнителя  $i$ ;

$\text{ПДК}_i$  – среднесуточная ПДК загрязнителя  $i$ ;

$c_i$  – безразмерный коэффициент для приведения уровня загрязнения воздуха загрязнителем  $i$  к уровню загрязнения воздуха диоксидом серы. Значения  $c_i = 1,5; 1,3; 1,0; 0,85$ , соответственно, для 1-го, 2-го, 3-го, 4-го классов опасности вещества.

#### 4. КАК УМЕНЬШИТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА

Основными путями снижения и полной ликвидации загрязнения атмосферы служат: разработка и внедрение очистных фильтров на предприятиях, использование экологически безопасных источников энергии, безотходной технологии производства, борьба с выхлопными газами автомобилей, озеленение территории.

Для снижения загрязнения воздуха в регионе можно предпринять следующие действия<sup>9</sup>:

- сокращать использование транспортных средств,
- экономить энергию,
- использовать энергосберегающие технологии,
- использовать возобновляемые источники энергии,
- уменьшать использование огня,
- снижать промышленные выбросы,
- использовать альтернативные виды топлива,
- разбавлять загрязняющие вещества в воздухе,
- увеличивать озеленение.

В помещении снижение загрязнения воздуха можно обеспечить за счет: проветривания, использования воздухоочистителей, обеззараживателей, бризеров и увлажнителей.

Правильный воздухообмен, или вентиляция призваны улучшать качество воздуха по основным показателям: свежести, чистоты, влажности и температуры. При отсутствии принудительной вентиляции этот вопрос решается с помощью естественной вентиляции: проветривания через окна и поступления свежего воздуха внутрь зданий через неплотности, поры, микрощели и трещины в строительных конструкциях. С помощью проветривания можно

---

<sup>9</sup> Air Pollution Control – Definition, Types, Causes and Effects.

избавиться от углекислого газа, но одновременно с этим в квартиру попадет уличный загрязненный воздух.

В дополнение к регулярному и правильному проветриванию, для повышения качества воздуха, необходимо использовать специальное оборудование для улавливания загрязнителей. В домашних условиях для этого проще всего использовать воздухоочистители – устройства, оснащенные фильтрующими элементами. Производители этих приборов рекомендуют закрывать окна, иначе их эффективность будет стремиться к нулю.

Одновременное использование двух функций, проветривание и очищение воздуха, можно обеспечить с помощью бризера.

Бризер относится к классу вентиляционно-климатических устройств: он обеспечивает приток свежего воздуха и очищает его перед подачей в помещение с помощью системы фильтров. В холодное время приточный воздух подогревается до комфортной температуры, чтобы не образовывались сквозняки.

Простейшие правила личного участия в мероприятиях, направленных на снижение загрязнения воздуха.

1. Ограничьте частое использование транспортных средств.
2. Бросить курить табак.
3. Не используйте и не сжигайте пластик.
4. Минимизируйте производство отходов.
5. Используйте продукты и вещи с минимальными отходами.
6. Минимизируйте использование кондиционеров, хладагентов и других хладагентов.
7. Переключитесь на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия и энергия ветра.
8. Регулярно очищайте дымоходы, кондиционеры, вентиляцию.

## **5. УЧАСТИЕ ГОСУДАРСТВА В ОХРАНЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА**

Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных.

Государственное управление в области охраны окружающей среды осуществляется Правительством Российской Федерации непосредственно или через федеральный орган исполнительной власти в области охраны окружающей среды.

К полномочиям органов государственной власти Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха относятся:

- формирование и проведение единой государственной политики в области охраны атмосферного воздуха на территории Российской Федерации;

- установление порядка разработки и утверждения гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха и нормативов качества окружающей среды для атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок, предельно допустимых уровней физического воздействия на атмосферный воздух и других нормативов в области охраны окружающей среды для атмосферного воздуха в целях охраны атмосферного воздуха;

- формирование единой нормативно-методической базы в области охраны атмосферного воздуха; формирование и обеспечение реализации федеральных целевых программ охраны атмосферного воздуха;

- установление порядка разработки и утверждения предельно допустимых выбросов, временно разрешенных выбросов для стационарных источников, предельно допустимых нормативов физических воздействий на атмосферный воздух;

- установление порядка выдачи разрешений на выбросы радиоактивных веществ в атмосферный воздух и на физические воздействия на атмосферный воздух;
- осуществление федерального государственного экологического контроля (надзора) в части соблюдения обязательных требований в области охраны атмосферного воздуха;
- организация и финансирование государственного мониторинга атмосферного воздуха и обеспечение его проведения;
- координация деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха;
- определение величины снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и сроков, в которые будет осуществлено такое снижение, в соответствии с федеральными целевыми программами охраны атмосферного воздуха и международными обязательствами Российской Федерации в данной области;
- организация информирования населения о загрязнении атмосферного воздуха и выполнении федеральных целевых программ охраны атмосферного воздуха;
- осуществление иных полномочий в области охраны атмосферного воздуха в соответствии с законодательством Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха;
- утверждение методик разработки (расчета) и установления нормативов предельно допустимых выбросов;
- установление порядка разработки и утверждения методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками;
- формирование и ведение перечней методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками и методик (методов) измерения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- утверждение методов расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;
- определение правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию;

– утверждение методик разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух;

– утверждение методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха;

– утверждение требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий;

– утверждение порядка проведения экспертизы программ для электронных вычислительных машин, используемых для расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;

– утверждение методических указаний по определению фоновго уровня загрязнения атмосферного воздуха.

К полномочиям органов государственной власти субъектов Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха относятся:

– принятие законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации в соответствии с федеральным законодательством, а также осуществление их контроля;

– разработка и реализация региональных целевых программ охраны атмосферного воздуха;

– проведение мероприятий по защите населения при чрезвычайных ситуациях, представляющих угрозу для жизни и здоровья людей в результате загрязнения атмосферного воздуха;

– осуществление в пределах своей компетенции координации деятельности физических и юридических лиц в области охраны атмосферного воздуха; информирование населения о состоянии атмосферного воздуха, его загрязнении и выполнении программ улучшения качества атмосферного воздуха и соответствующих мероприятий;

– участие в проведении государственной политики в области охраны атмосферного воздуха на соответствующей территории субъекта Российской Федерации;

– право принятия и реализации региональных программ в области охраны атмосферного воздуха, в том числе в целях снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сокращения использования нефтепродуктов и других видов топлива, сжигание которых приводит к загрязнению атмосферного воздуха, и стимулирования производства и применения экологически безопасных видов топлива и других энергоносителей;

– осуществление регионального государственного экологического контроля (надзора) в части соблюдения обязательных требований в области охраны атмосферного воздуха;

– введение ограничений на передвижение транспортных средств в населенных пунктах, местах отдыха и туризма, на особо охраняемых территориях в целях снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

– предъявление исков о возмещении вреда окружающей среде, причиненного в результате нарушения законодательства в области охраны атмосферного воздуха;

– установление целевых показателей объема или массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории субъекта Российской Федерации и сроков их снижения.

В целях наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, комплексной оценки и прогноза его состояния, а также обеспечения органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и населения текущей и экстренной информацией о загрязнении атмосферного воздуха Правительство Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления организуют государственный мониторинг атмосферного воздуха и в пределах своей компетенции обеспечивают его осуществление на соответствующих территориях Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований.

В Российской Федерации наблюдения за качеством атмосферного воздуха организованы на трех уровнях — федеральном, региональном и локальном.

**Федеральная сеть** пунктов наблюдения за качеством атмосферного воздуха входит в зону ответственности Росгидромета. Пункты наблюдения оборудованы пробоотборными устройствами, оснащены аналитическим оборудованием, газоанализаторами, в рамках сети работают передвижные лаборатории.

Преимуществами данного уровня организации является:

- широкий территориальный охват,
- огромный профессиональный опыт сотрудников,
- единые методологические подходы и стандарты,
- широкая номенклатура загрязняющих веществ.

**На региональном уровне** ответственность возложена на территориальные системы наблюдений за качеством атмосферного воздуха субъектов РФ. Основным инструментом для проведения измерений являются автоматические станции контроля за качеством воздуха павильонного типа и передвижные лаборатории.

**Локальные наблюдения** за состоянием атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны в рамках производственного экологического контроля проводят предприятия в соответствии с утвержденными программами наблюдений. Измерения концентрации загрязняющих веществ выполняют собственные или внешние аккредитованные лаборатории. Особенностью таких наблюдений является контроль специфических загрязнителей.

## 6. НОРМАТИВЫ ПДК

ПДК – это предельно допустимая концентрация химических элементов и их соединений в воздухе, которая не влияет на здоровье человека и его генетику. В России ПДК веществ в воздухе установлены на государственном уровне. За концентрацией вредных соединений следят станции мониторинга воздуха, а результат представляют в долях ПДК.

Основным критерием установления нормативов ПДК является масштаб воздействия содержащихся в воздухе вредных веществ на организм человека. Оценка качества атмосферного воздуха рассчитывается по двум категориям:

- определяются среднесуточные показатели – выявляются вещества, которые способны накапливаться в организме человека;
- рассчитываются максимальные разовые показатели вредных примесей, которые воспринимаются человеком через органы чувств.

Основные документы, определяющие предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе, следующие.

1. СанПиН № 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест», регламентирующий нормативы содержания вредных веществ в атмосферном воздухе. Индекс загрязнения воздушных масс подразделяется на три уровня:

- повышенный – превышение до 6 раз,
- высокий – превышение 6 – 14 раз,
- очень высокий – превышение более 14 раз.

2. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны предприятий», устанавливающий четыре класса опасности вредных веществ, содержащихся в воздухе:

I класс – чрезвычайно опасные, в их число входят свинец, ртуть и прочие;

II класс – высоко опасные, к ним относятся серная кислота, соляная кислота и прочие;

III класс – умеренно опасные, в данную категорию внесены табак, ксилол и другие;

IV класс – малоопасные, сюда отнесены керосин, ацетон и другие.

3. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

5. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

6. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (раздел III).

7. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» – основной документ, устанавливающий допустимые концентрации вредных веществ в воздухе городских и сельских поселений в России.

СанПиНом введены три норматива по каждому вредному веществу в воздухе:

– максимальная разовая ПДК – концентрация вещества, которая не влияет на здоровье человека в течение 20 – 30 мин;

– среднесуточная ПДК – концентрация химических элементов и их соединений, не оказывающая отрицательного воздействия на организм в течение 24 ч;

– среднегодовая ПДК – концентрация вещества, которая не сказывается на здоровье человека в течение года.

8. СанПин 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».

## 7. КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Воздух в помещении играет важную роль в здоровье людей. Его качество в помещении зависит от нескольких факторов, таких как свежесть, чистота, температура и влажность. Свежий воздух богат кислородом и помогает улучшить самочувствие людей.

Все служебные помещения являются местами длительного пребывания людей, поэтому они обязательно должны быть комфортными и безопасными. Экологическая безопасность жилых и общественных зданий определяется их способностью обеспечивать нормативные значения условий комфортности проживания и не оказывать негативное влияние на здоровье людей.

Состав воздуха в квартире или в офисе напрямую зависит от качества атмосферного воздуха, который попадает в помещение с улицы. Угарный газ, пыль и другие токсичные вещества проникают вместе с воздухом внутрь помещения. Помимо этого, негативное влияние на состояние воздуха в закрытых помещениях оказывают отделочные полимерные материалы, отходы неполного сгорания газа<sup>10</sup>. Вот почему длительное нахождение в помещении вызывает усталость, головную боль и раздражительность.

Мероприятия, обеспечивающие снижение загрязнения воздуха в помещении:

- чаще проводите влажную уборку дома;
- не допускайте использования при внутренней отделке жилых помещений дешевых экологически опасных материалов;

---

<sup>10</sup> Взаимосвязь между здоровьем и воздухом, которым мы дышим. сайт МедУнивер. [https://meduniver.com/Medical/profilaktika/zdorovie\\_i\\_vozdux\\_kotorim\\_mi\\_dishim.html?\\_ysclid=lul48rz6nl317587063](https://meduniver.com/Medical/profilaktika/zdorovie_i_vozdux_kotorim_mi_dishim.html?_ysclid=lul48rz6nl317587063) MedUniver (Дата обращения: 29.04.2024).

- исключите курение в помещении;
- используйте увлажнители (если относительная влажность воздуха ниже 10 %, то работоспособность человека сильно снижается, он чувствует сухость в горле, во рту и носовой полости).

Таблица 1

**Сводные данные по всем показателям качества воздуха в жилом помещении, в соответствии с нормативными документами**

| Параметр микроклимата                                      | Оптимальный показатель для жилых помещений в холодное время года | Оптимальный показатель для жилых помещений в теплое время года | Допустимый показатель для жилых помещений в холодное время года | Допустимый показатель для жилых помещений в теплое время года |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Температура воздуха                                        | 20–22 °С                                                         | 22–25 °С                                                       | 18–24 °С                                                        | 20–28 °С                                                      |
| Влажность воздуха*                                         | 30–45 %                                                          | 30–60 %                                                        | 30–60 %                                                         | 30–65 %                                                       |
| Свежесть воздуха (концентрация CO <sub>2</sub> )           | Не более 800 ppm                                                 | Не более 800 ppm                                               | 1000–1400 ppm**                                                 | 1000–1400 ppm**                                               |
| Свежесть воздуха (норма воздухообмена на каждого человека) | Не менее 30 м <sup>3</sup> /ч                                    | Не менее 30 м <sup>3</sup> /ч                                  | Не менее 30 м <sup>3</sup> /ч                                   | Не менее 30 м <sup>3</sup> /ч                                 |
| Чистота воздуха                                            | Не выше ПДК, принятой в соответствии с СанПиН                    | Не выше ПДК, принятой в соответствии с СанПиН                  | Не выше ПДК, принятой в соответствии с СанПиН                   | Не выше ПДК, принятой в соответствии с СанПиН                 |

*Примечания:*

\*ВОЗ рекомендует придерживаться показателя 45 % независимо от времени года.

\*\*Врачи не рекомендуют превышать показатель 800 ppm.

Вещества, поступающие в помещение извне с загрязненным атмосферным воздухом, — самый значительный фактор загрязнения. Этот воздух содержит уличную пыль, содержащую мельчайшие взвешенные частицы, бактерии, вирусы, грибки, споры плесени, пыльцу и другие аллергены животного и растительного происхождения. Кроме того, городской уличный воздух всегда содержит летучие органические соединения, дым, сажу, продукты производства и сжигания топлива (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Сравнение допустимых среднесуточных концентраций вредных веществ в воздухе по рекомендации ВОЗ и по российским нормативам качества воздуха (СанПиН)**

| Вредное вещество  | Среднесуточная концентрация, ВОЗ, мкг/м <sup>3</sup> | Среднесуточная концентрация, СанПиН, мкг/м <sup>3</sup> | Разница в показателях               |
|-------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| PM <sub>2,5</sub> | 15                                                   | 35                                                      | Требования СанПиН ниже в 2,3 раза   |
| PM <sub>10</sub>  | 45                                                   | 60                                                      | Требования СанПиН ниже в 1,3 раза   |
| Озон              | 100*                                                 | 100*                                                    | Требования СанПиН соответствуют ВОЗ |
| Диоксид азота     | 25                                                   | 100                                                     | Требования СанПиН ниже в 4 раза     |
| Диоксид серы      | 40                                                   | 50                                                      | Требования СанПиН ниже в 1,25 раза  |
| Оксид углерода    | 4000                                                 | 3000                                                    | Требования СанПиН выше в 1,3 раза   |

*Примечание:* \* в расчете на 8 часов.

Таблица 3

**Сравнение допустимых среднегодовых концентраций вредных веществ в воздухе по рекомендации ВОЗ и по российским нормативам качества воздуха (СанПиН)**

| Вредное вещество  | Среднегодовая концентрация, ВОЗ, мкг/м <sup>3</sup> | Среднегодовая концентрация, СанПиН, мкг/м <sup>3</sup> | Разница в показателях             |
|-------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| PM <sub>2,5</sub> | 5                                                   | 25                                                     | Требования СанПиН ниже в 5 раз    |
| PM <sub>10</sub>  | 15                                                  | 40                                                     | Требования СанПиН ниже в 2,7 раза |
| Озон              | 60**                                                | 30                                                     | Невозможно сравнить               |
| Диоксид азота     | 10                                                  | 40                                                     | Требования СанПиН ниже в 4 раза   |
| Диоксид серы      | —                                                   | —                                                      | —                                 |
| Оксид углерода    | —                                                   | 3000                                                   | —                                 |

*Примечание:* \*\*шесть месяцев подряд (в рекомендациях ВОЗ и в СанПиН разные методики оценки).

Как видно из табл. 2, 3, предельно допустимые концентрации большинства основных загрязнителей воздуха в России значительно превышают показатели, рекомендуемые ВОЗ.

**Антропоксины** — вещества, которые образуются в процессе жизнедеятельности человека: углекислый газ, ацетон, аммиак, амины, фенолы и другие.

**Вещества, которые выделяются при ведении быта человеком**, — продукты сгорания бытового газа и вещества, образующиеся при приготовлении пищи, стирке и уборке; строительные и отделочные

материалы; мебель – источники формальдегида, бензола, толуола и других вредных соединений в помещении.

Материалы, используемые в декоре дома и для создания уютной атмосферы, также могут быть вредны для здоровья. Некоторые из них выделяют токсины из-за природы самого продукта или из-за обработки красками, герметиками и другими веществами. Например, листы фанеры изготавливают из специально подготовленного шпона, склеивая слои между собой. При этом клей часто содержит формальдегид, который медленно высвобождается при эксплуатации изделий.

К основным специфическим загрязнителям воздуха закрытых пространств относят *углекислый газ* или *диоксид углерода* (CO<sub>2</sub>). В норме он всегда присутствует в атмосферном воздухе, однако, поскольку относится к антропоксинам и непрерывно выделяется в процессе дыхания человека, становится опасным, если его концентрация превышает.

При превышении концентрации CO<sub>2</sub> наблюдаются негативные симптомы, которые связаны с нарушением окислительно-восстановительных процессов в организме. Они проявляются по нарастающей: от жалоб на духоту, до снижения концентрации, работоспособности, слабости.

***Повышенная влажность*** в доме и плохая вентиляция способствуют появлению плесени. Избавиться от нее очень тяжело, и часто без специализированной помощи этого не сделать.

Все виды плесени опасны для здоровья и являются токсинами. Они могут вызвать проявления аллергии, приступы астмы, раздражение глаз, носа, горла и кожи

***Освежители воздуха*** наполняют дом приятными ароматами, однако не так безобидны, как кажутся. В формулах большинства освежителей воздуха присутствуют токсичные вещества. Специалисты сравнивают их воздействие с токсичностью пассивного курения. Самые продаваемые освежители воздуха содержат значимое количество гликолевых эфиров на основе этилена, которые могут вызвать неврологические расстройства, включая появление сильной усталости, рвоту, тошноту, тремор.

**Чистящие средства** для плиты, ванны и унитаза, полироль для деревянных поверхностей, обезжириватели для духовки и гели для пола — все эти «помощники» содержат летучие органические соединения, которые могут причинить здоровью вред. Особенно опасно пользоваться одновременно средствами с аммиаком и продуктами с хлором.

Свежесть воздуха — это эмпирическая величина, которая показывает, насколько хорошо воздух насыщает организм кислородом, насколько им легко и приятно дышать. Но содержание кислорода трудно измерять: датчики сложные и дорогостоящие, поэтому в индустрии климата свежесть воздуха оценивают по уровню  $\text{CO}_2$ .

Согласно ГОСТ Р ЕН 13779, помещения разделяются на категории:

— помещения 1-й категории, в которых люди находятся в состоянии покоя и отдыха, то есть жилые помещения, отели;

— помещения 2-й категории, в которых люди заняты умственным трудом, учебной, сюда можно отнести как учебные заведения, так и офисы;

— помещения 3-й категории с массовым пребыванием людей, сюда относятся офисы, производственные предприятия и все общественные заведения;

— помещения 4-й категории для занятий подвижными видами спорта, то есть все спортивные залы, фитнес-центры и клубы, спортивные секции и т. д.

Микроклимат в помещениях складывается из нескольких параметров — температура, влажность, содержание кислорода, содержание углекислого газа. Существуют утвержденные нормы микроклимата — содержание кислорода должно быть на уровне 20–22 %; содержание  $\text{CO}_2$  — не более 400 ppm ( $\text{cm}^3$  газа в  $\text{m}^3$  воздуха). На уровне 600–1000  $\text{cm}^3$   $\text{CO}_2$  в  $\text{m}^3$  качество воздуха считается допустимым. В воздухе непроветренных помещений содержатся и другие вредные примеси: метан, аммиак, альдегиды, кетоны.

Человек, находясь в комнате 20  $\text{m}^2$  с потолками 2,5 м, повышает уровень углекислого газа на 580 ppm в час. Через 8 часов концентрация углекислоты приблизится к граничному уровню.

Главная причина появления духоты в доме — превышение нормативного уровня углекислого газа в помещении. Произойти это может по следующим причинам:

- присутствие в комнате человека (за сутки один человек может «выработать» до 1 кг углекислого газа);
- отсутствие воздухообмена с внешней средой (плотно закрытые пластиковые окна, неработающая вентиляционная система и т. д.);
- постоянно работающие отопительные приборы (дровяной камин, газовую плиту и колонку, отопительный котел);

На территории Российской Федерации действует отдельный нормативный акт, в котором обозначена норма углекислого газа для жилого помещения — ГОСТ 30494-2011. В соответствии с этим документом для нормального состояния организма и комфортного пребывания, содержание углекислого газа в воздухе должно быть на уровне 400–800 ppm. Смертельно опасной концентрацией CO<sub>2</sub> в помещении является 15 000 ppm. В этом случае человек получает сильнейшее отравление.

В душном помещении под действием углекислоты повышается артериальное давление, возбужденное состояние организма может сменяться заторможенностью, сонливостью. Характерны нарушения дыхания, которые проявляются изменением частоты, глубины и периодичности дыхательных движений. Духота в сочетании с высокой концентрацией углекислого газа, который мы выдыхаем, могут спровоцировать появление сухого кашля, мигрени.

Немалую роль в развитии неблагоприятных сдвигов в организме играет и недостаток в воздухе неветилируемых помещений отрицательно заряженных ионов и, наоборот, избыток ионов положительных. Именно отрицательные ионы, которых много в свежем воздухе, тонизируют вегетативную нервную систему через периферические рецепторы, заложенные в коже, в слизистых оболочках верхних дыхательных путей. В результате повышается жизненный тонус, появляются бодрость, хорошее настроение.

Стоит обратить внимание на общее самочувствие, появление головной боли, головокружения, тошноты, появление признаков обморочного состояния, возбуждения.

Вредит здоровью, если в комнате не происходит 5–6 воздухообменов в час. Воздухообмен 30 м<sup>3</sup>/ч, принятый нормативным для систем вентиляции в помещениях в России, не позволяет чувствовать себя комфортно в помещении. Европейский стандарт воздухообмена 72 м<sup>3</sup>/ч позволяет одерживать концентрацию углекислого газа, не влияющую на самочувствие человека. Международный показатель ASHRAE равен 0,42 м<sup>3</sup> в минуту на человека.

Способы снижения концентрация углекислого газа в помещении:

- естественная вентиляция,
- регулярное проветривание;
- снижение уровня CO<sub>2</sub> посредством безопасного проветривания;
- работа в режиме рециркуляции;
- запуск в комнату свежего воздуха, очищенного от вредных примесей.

Концентрация CO<sub>2</sub> внутри помещения, такого как классная комната, считается прекрасным индикатором внутренней загрязненности воздуха из-за находящихся там людей. Для расчета требуемого воздухообмена в час за основу берется максимально допустимая концентрация CO<sub>2</sub> равная 1,500 промилле. Концентрацию углекислого газа оценивают в PPM (частей на миллион) – количество кубических сантиметров CO<sub>2</sub> на 1 кубометр воздуха. Когда говорят: «Уровень CO<sub>2</sub> в помещении составляет 800 ppm» – это означает, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха содержится 800 см<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>.

При повышении концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе более 0,2 % или 2000 ppm возникает общая вялость, снижается работоспособность и концентрация внимания, появляется сонливость и слабость. Содержание CO<sub>2</sub> свыше 0,7 % или 7000 ppm считается опасным для здоровья человека.

В среднем за 1 час человек вырабатывает около 20 л углекислого газа, или 0,02 м<sup>3</sup>. Норма воздухообмена из расчета на 1 человека в час: 20 м<sup>3</sup>/ч для аудиторий и учебных классов, 80 м<sup>3</sup>/ч – для спортзалов, 20 м<sup>3</sup>/ч – для пищеблоков.

Вузы и другие учебные заведения относятся ко 2-му классу помещений и оптимальной концентрацией углекислого газа, где будут

считаться показатели, не превышающие 1000 ppm. В среднем в учебных кабинетах, где учатся 25–30 человек, концентрация CO<sub>2</sub> колеблется в пределах 2000–2500 ppm. Перед началом занятий уровень углекислого газа находится в пределах нормы, но затем начинает неуклонно расти и через 20 – 30 мин. оказывается выше нормы в 2 раза.

Помещения для занятий спортом относятся к 4-му классу помещений, в них допустимым содержанием CO<sub>2</sub> является 1400 ppm.

Количество углекислого газа в помещении зависит не только от количества человек, находящихся в нем, но и от вида их деятельности. Чем активнее деятельность, тем больше углекислого газа выделяется. Физические упражнения можно отнести к тяжелой работе. Занимаясь спортом, человек вырабатывает в 5 раз больше углекислого газа, чем человек, который просто сидит.

Для организации качественной вентиляции в учебных аудиториях могут использоваться следующие решения:

- проветривание через окно;
- естественный регулируемый приток;
- механическая вытяжка (принудительная);
- приточно-вытяжная вентиляция с подогревом приточного воздуха (из систем приточной вентиляции бризеры наиболее эффективно справляются с повышенным содержанием углекислого газа. Бризер позволяет проветривать помещение с закрытыми окнами 24 часа в сутки 365 дней в году и поддерживать оптимальный уровень CO<sub>2</sub>).

## 8. ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУХА

Приборы для контроля воздуха классифицируются по функциональному назначению. Есть устройства для контроля уровня угарного и углекислого газа, приборы для определения влажности и температуры. Для проверки уровня запыленности подходят устройства с датчиками частиц.

Наименования распространенных типов детектируемых параметров:

- сенсоры  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{1,0}$  и  $PM_{10}$  – датчики, улавливающие концентрацию взвешенных микрочастиц (твердые частицы, пыль, капельки жидкостей до 2,5, 1, 10 мкм, соответственно) в воздухе;
- сенсоры  $CO_2$  (углекислого газа) или  $CO$  (окиси), которые позволяют понять о превышении концентрации данных газов;
- сенсоры TVOC позволяют контролировать летучие органические вещества;
- сенсоры НСНО определяют концентрацию паров формальдегида в воздухе (это могут быть продукты распада различных химических веществ, формальдегиды могут выделяться из некачественной мебели, при нагревании ДСП и т. д.).

Для постоянного использования дома лучше приобрести стационарный датчик, который устанавливается в комнате и постоянно работает. Если вы проверяете уровень  $CO_2$  в разных помещениях, используйте автономные переносные приборы, типа Fluke CO-220.

Например, Tenmars TM-501 измеряет уровень углекислого газа, температуру и влажность воздуха в помещении. Бытовой датчик BSIDE EET100 определяет температуру, влажность и уровень запыленности воздуха.

В офисах, учебных аудиториях, в группах детских садов и в школьных классах важно постоянно контролировать уровень углекислого газа и запыленности.

Также время от времени можно проверять воздух в помещении на наличие опасных газов, например формальдегида. Такая проверка актуальна после покупки новой мебели или ремонта. Задачу можно решить с помощью прибора Fluke 975 AirMeter. Это устройство контролирует уровень угарного и углекислого газа, температуру и влажность воздуха.

Для проверки качества воздуха на производстве удобнее использовать многофункциональные приборы. Например, портативный датчик SEM DT-9881 определяет уровень запыленности, содержание формальдегида, CO, температуру и влажность воздуха.

Отдельного внимания заслуживают индивидуальные приборы для контроля воздуха. Например, Dräger Pac 7000 определяет содержание более 14 опасных газов, включая хлор, оксид серы, аммиак, окись азота и другие. Такое оборудование используют члены спасательных команд, а также работники на опасном производстве.

Монитор Weesky Air Master AM7 отображает  $PM_{0,3}$  –  $PM_{10}$ , температуру и влажность в помещении.

Технические характеристики:

- обнаружение микрочастиц,
- обнаружение органических летучих веществ,
- обнаружение формальдегидов и соединений,
- содержание углекислого газа,
- сводный индекс Air Quality,
- беспроводное подключение Wi-Fi.

Монитор качества воздуха Vosean оснащен большим цветным экраном и наглядно отображает состояние воздуха в помещении по ряду параметров. Дополнительно обеспечивает измерение температуры и влажности в помещении, расчет сводного показателя качества воздуха, построение графиков.

Технические характеристики:

- обнаружение микрочастиц,
- обнаружение органических летучих веществ,
- обнаружение формальдегидов и соединений,
- содержание углекислого газа,
- расчет сводного индекса Air Quality.

Недорогой настольный детектор качества воздуха с большим сегментным дисплеем, который отображает четыре параметра и сводный индекс качества.

Технические характеристики:

- обнаружение органических летучих веществ,
- обнаружение формальдегидов и соединений,
- измерение содержания углекислого газа,
- расчет сводного индекса Air Quality,
- беспроводное подключение: нет.

Монитор качества воздуха Honeywell HAQ интегрируется в среду умного дома Honeywell. Позволяет удаленно контролировать состояние воздуха в помещении. В общем индексе качества воздуха учитывается комфортное соотношение температуры и влажности.

Технические характеристики:

- обнаружение микрочастиц,
- обнаружение органических летучих веществ,
- обнаружение формальдегидов и соединений,
- содержание углекислого газа,
- сводный индекс Air Quality.

Монитор качества воздуха АТМО 8 обеспечивает контроль качества воздуха в помещении, показывает, когда настала пора проветрить помещение, измеряет температуру и влажность, строит графики изменений параметров.

Технические характеристики:

- обнаружение микрочастиц,
- обнаружение органических летучих веществ,
- обнаружение формальдегидов и соединений,
- содержание углекислого газа,
- сводный индекс Air Quality.

## 9. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ

Влияние загрязненного атмосферного воздуха на человека многогранно. Негативному влиянию подвержен организм целиком, но в первую очередь страдают органы дыхания.

Связь между высоким уровнем загрязнения воздуха РМ и неблагоприятными последствиями для здоровья известна с первой половины XX в. Случаи смога в долине Маас, Бельгия (1930 г.), Доноре, Пенсильвания (1948 г.) и Лондоне, Великобритания (1952 г.) вызвали резкое увеличение количества госпитализаций и смертей, особенно среди пожилых людей и людей с ранее существовавшими сердечными и респираторными заболеваниями<sup>11</sup>.

Сокращение продолжительности жизни из-за низкого качества воздуха связано с развитием опасных заболеваний и смертностью от них.

Если раньше основными причинами сокращения продолжительности жизни были курение, алкоголь и наркотики, то сейчас на первое место по вреду вышло загрязнение воздуха.

Потерянные годы жизни от внешних причин; в среднем по миру на человека, лет<sup>12</sup>:

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| загрязнение воздуха               | 2,20; |
| курение                           | 1,92; |
| алкоголь, наркотики               | 0,77; |
| небезопасная вода, антисанитария  | 0,59; |
| дорожно-транспортные происшествия | 0,39; |
| малярия                           | 0,28; |
| война, терроризм                  | 0,02. |

---

<sup>11</sup> Трудков С.Т. Загрязнение воздуха и здоровье. – <https://laboratoria.by/stat> (дата обращения 29.04.2024).

<sup>12</sup> Мишунина О, Конова А. Загрязнение воздуха: влияние на здоровье человека.

Частицы  $PM_{2,5}$  вместе с  $PM_{10}$  составляют большую часть пыли, они распространены повсеместно. Из-за мельчайшего размера они не оседают в носу, во рту или горле, а попадают в лёгкие. Частицы  $PM_{2,5}$  способны также попадать в кровоток и в любую ткань организма, вредить сердечно-сосудистой и дыхательной системам, а также вызывать рак. Постоянное вдыхание воздуха, загрязненного тонкодисперсными частицами  $PM_{2,5}$ , приводит к обострению болезней, вызывающих инфаркты, инсульты, приступы стенокардии. Помимо этого, вдыхание частиц  $PM_{2,5}$  вызывает инсулинорезистентность, диабет и другие заболевания, поражающие эндокринную систему.

В районах с повышенным загрязнением воздуха респираторные болезни не только чаще проявляются, но и тяжелее протекают, а также чаще приводят к летальному исходу.

Чем выше концентрация загрязнителей в воздухе, тем сильнее возрастает риск инфаркта. Причем эффект возникает очень быстро. По данным наблюдения более чем за миллионом жителей Китая, большая часть инфарктов, связанных с грязным воздухом, возникает в течение часа после его воздействия на людей<sup>13</sup>.

Американские ученые доказали, что повышение концентрации озона всего на три части на миллиард приводит к тому, что риск заболевания ХОБЛ вырос так же сильно, как у человека, который 30 лет подряд выкуривает по пачке сигарет в день.

Большое исследование, которое провели в 652 городах из 24 стран, показало, что увеличение концентрации крупных и мелких твердых частиц в воздухе на 10 мкг на 1 м<sup>3</sup> всего на два дня приводит к увеличению избыточной смертности от любых причин на 0,44 %, от сердечно-сосудистых болезней – на 0,36%, от заболеваний органов дыхания – на 0,47 %<sup>14</sup>.

Появился термин «синдром больного здания» (Sick Building Syndrome), введенный в литературу Всемирной организацией

---

<sup>13</sup> Загрязнение воздуха, шум окружающей среды и ХОБЛ: так ли высоки риски? Liu S, et al. Eur Respir J. 2021:2004594. doi: 10.1183/13993003.04594-2020. (Дата обращения: 15.04.2024).

<sup>14</sup> Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. Published August 21, 2019. VOL. 381 NO (Дата обращения: 15.04.2024).

здравоохранения 50 лет назад. Под этим термином понимают появление различных нарушений здоровья у людей после заселения в новые жилые здания. Такие нарушения нередко проявляются в снижении работоспособности, появлении различных аллергических реакций, быстрой утомляемости, частых головных болях и т. п.

В анализе, опубликованном в 2019 г. в журнале PLOS Biology, исследователи изучили данные о психическом здоровье 151 млн чел. в США и 1,4 млн чел. в Дании. В этом исследовании рассматриваются четыре конкретных психических расстройства:

- биполярное расстройство,
- большое депрессивное расстройство,
- расстройство личности (например, расстройство поведения),
- шизофрения.

Исследователи обнаружили, что длительное воздействие повышенного загрязнения воздуха, например, в крупных городах, может быть связано с увеличением числа случаев биполярного расстройства почти на 17 %.

Нормативная документация, на основании которой проводится оценка соответствия концентрации загрязняющих веществ в воздухе замкнутых помещений нормативным значениям:

В одном из исследований использовалось хорошо контролируемое обычное офисное помещение (как лаборатория с реальными условиями). В этом помещении обеспечивались два режима качества воздуха при помощи включения или исключения дополнительного, невидимого для служащих, источника загрязнения воздуха. Эти режимы отвечали новым европейским рекомендациям для проектирования систем обеспечения качества воздуха в помещении, в зданиях с низкими и повышенными условиями загрязнения.

Одни и те же люди выполняли смоделированную офисную работу в обоих режимах от 4 часов до 0,5 часа. Расход вентиляционного воздуха и другие факторы окружающей среды были одинаковыми для обоих режимов. Выявилось, что производительность служащих при режиме с хорошим качеством воздуха

была на 6,5 % выше ( $P < 0,003$ ), у них отмечалось меньшее число ошибок и они испытывали меньшее количество симптомов синдрома «нездорового» здания<sup>15</sup>.

Наряду с негативным влиянием воздуха среднего качества на производительность и самочувствие находящихся в помещении людей, недавние исследования показали, что в офисах с недостаточным качеством воздуха наблюдается большее число прогулов, чем в офисах с высоким качеством воздуха. В работе, в которой обследовались тысячи служащих крупных компаний, было обнаружено, что число прогулов на треть меньше в тех офисах, в которых расход вентиляционного воздуха вдвое больше обычного, при прочих равных условиях в зданиях.

---

<sup>15</sup> Фангер П. О. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей. АВОК. № 4. 2003.

## 10. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Пять принципов новой философии отличного качества воздуха в помещении.

1. Более высокое качество воздуха в помещении увеличивает производительность труда и уменьшает симптомы «нездорового» здания.

2. Все источники загрязнения внутреннего воздуха должны удаляться.

3. Для людей, находящихся в помещении, воздух постоянно должен быть прохладным и сухим.

4. «Персональная вентиляция», то есть подача чистого воздуха в небольших количествах, должна осуществляться очень мягко и индивидуально, вблизи зоны дыхания каждого человека.

5. Должно обеспечиваться индивидуальное управление климатическими параметрами в помещении.

6. Комнатные растения удаляют вредные вещества из воздуха. Например, герберы, маргаритки и хризантемы забирают формальдегид, плющ поглощает остатки табака, спатифиллум – бензол и аммиак.

*Инновационные очистители воздуха* устраняют загрязнения в виде частиц и газов с помощью двойного фильтра. Особенностью этих очистителей является отображение качества воздуха на индикаторе, расположенном на передней части прибора. Это позволяет визуально контролировать текущее качество воздуха в комнате: голубой цвет означает хорошее качество воздуха, оранжевый – среднее, а красный – плохое.

Автоматический режим позволяет очистителю настраивать свой режим работы. Комбинированный фильтр, очищающий

воздух одновременно от частиц и газов, имеет многослойную конструкцию. За удаление частиц отвечает часть фильтра из текстильных волокон с густым ворсом. Вторая часть фильтра — слой активированного угля. Он поглощает различные газообразные загрязнения воздуха.

**Мойки воздуха** используются в основном для повышения влажности воздуха в помещении (то есть функционируют как увлажнитель воздуха).

**Встроенная система вентиляции** обеспечивает многократную циркуляцию всего объема воздуха в комнате. Комнатный воздух вытягивается и заменяется свежим воздухом снаружи. Во время этого процесса тепло помещения используется теплообменником, и таким образом потенциально более холодный воздух извне нагревается снова.

Машина с тройной производительностью — это вентилятор и очиститель воздуха в одном. Воздухоочиститель удаляет до 99,97 % загрязняющих веществ, находящихся в воздухе, включая дым от лесных пожаров, а также различные запахи и токсины. В настройках 10 скоростей, ночной режим и таймер сна.

**Компактный воздухоочиститель** разработали инженеры японской компании Panasonic. В нем используется патентованная технология nanoe™ X на базе гидроксильных радикалов в водяной оболочке. Генератор собирает влагу из воздуха и под действием высокого напряжения производит гидроксильные радикалы. Они собираются в мельчайшие капельки воды размером 5–20 нм и разлетаются по помещению.

Радикалы нестабильны и стремятся к взаимодействию с другими элементами. Поэтому, встретив бактерии, вирусы, аллергены, споры плесени и другие вредные микроорганизмы, частицы nanoe™ X отнимают у них атомы водорода и таким образом нейтрализуют их.

Частицы nanoe™ могут уничтожать до 99,9 % бактерий и вирусов, находящихся в воздухе.

Портативный генератор nanoe X F-GPT01R-K от Panasonic создает 4,8 триллиона nanoe-частиц в секунду. По форме он напоминает термокружку, а его масса не превышает 400 г. Компактное

устройство можно носить с собой. На рабочем столе в офисе, в кафе или автомобиле оно будет эффективно очищать воздух вокруг, не отвлекая внимания.

**Фильтры электростатической очистки** воздуха известны достаточно давно. Пример такого устройства – люстра Чижевского. Под действием сильного электростатического поля воздух ионизируется и переходит в состояние низкотемпературной плазмы. Конструкция электростатических фильтров может быть различной.

К примеру, это может быть множество металлических пластин с проволокой, проходящей между ними. Между пластинами и проволокой создается разность потенциалов, из-за чего частицы ионизируются и оседают на пластинах, имеющим заряд противоположного знака. Электростатический фильтр способен «поймать» самую мелкую пыль с размером частиц от 0,01 мкм. Кроме того, в электростатическом поле погибают микроорганизмы, поэтому электростатические фильтры могут очищать воздух от вирусов и бактерий.

**Каталитическая очистка** воздуха подразумевает использование дополнительных веществ – катализаторов. Загрязнители взаимодействуют с одним из таких веществ и в результате этого превращаются в другие, но уже безопасные соединения. В воздухоочистительных системах в качестве катализатора используют диоксид титана (TiO<sub>2</sub>).

Такая очистка на молекулярном уровне сегодня является одной из самых современных технологий. Она обладает преимуществами перед другими известными системами фильтрации:

– во-первых, в процессе фотокатализа вредные примеси не накапливаются в фильтре, а разлагаются до безвредных компонентов естественной воздушной среды;

– во-вторых, размер уничтожаемых частиц – до 0,001 мкм. Это значит, что фотокаталитическим фильтрам под силу справиться с табачным дымом, формальдегидом, угарным газом, вирусами.

---

<sup>16</sup> **Марченко М. Н., Лапченко А. К.** Футуристические решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха в промышленном дизайне // Молодой ученый. 2016. № 7 (111). С. 1081–1086. — URL: <https://moluch.ru/archive/111/27939/> (дата обращения: 06.04.2024).

### *Проекты будущего*

1. Экомобиль «Viegia» (представлен корейскими дизайнерами)<sup>16</sup>.

Целью проекта является очистка воздуха от опасных канцерогенных соединений, таких как двуокись углерода, угарный газ, оксиды серы и азота. Планируется, что «зеленый» автомобиль во время езды будет забирать носовой частью загрязненный воздух, который затем попадет в фильтр, где система очистки избавит его от опасных оксидов и «выдует» из кормовой части автомобиля.

2. «Наручное дерево» («Hand - Tree») (в виде браслета, который надевается на запястье).

«Наручное дерево» поглощает загрязненный окружающий воздух и выделяет чистый (благодаря встроенному угольному фильтру), создавая вокруг пользователя атмосферу, наполненную тонким ароматом по его выбору. Изделие может функционировать в нескольких режимах, к примеру, в ручном, в автоматическом, в локальном и в наиболее эффективном глобальном, в котором произойдет объединение усилий множества устройств.

3. Биодинамический цемент.

Биодинамический цемент обладает следующим свойством: при нагревании солнечными лучами он способен удерживать содержащиеся в воздухе частицы, преобразовывать их в инертные соли. Таким образом происходит очищение атмосферного воздуха. Что касается состава этого удивительного материала, то около 80% в нем приходится на материалы вторичного использования, например, отходов от каррарского мрамора.

4. «Ферма водорослей».

В Швейцарии, на одной из дорожных магистралей была создана «ферма водорослей». Водоросли представляют собой разнородную группу организмов, которые, как и растения, генерируют энергию при помощи фотосинтеза, используя солнечный свет и углекислый газ они вырабатывают кислород.

5. Проект «Air Drop».

Проект «Air Drop» представляет собой очиститель воздуха, который использует растения для очистки воздуха от вредных газов, а также фильтр для удаления пыли и других частиц. Как и во многих

других аналогах, система фильтрации воздуха «Air Drop» осуществляется благодаря энергии, получаемой солнечными батареями, так как это делают растения. «Air Drop» удобен тем, что подвешивается к потолку и не занимает места на полу, таким образом, он будет находиться в поле зрения в качестве функционального и декоративного элемента.

#### 6. «Городская башня».

Городская башня для борьбы со смогом засасывает в себя воздух, щиты с электростатическим электричеством примагничивают частицы грязи, затем ионизатор убивает микробы и вирусы. Башня засасывает 30 тыс. м<sup>3</sup> воздуха в час и чистит его на уровне наночастиц. Воздух становится на 50–75% чище, чем в других районах города.

#### 7. «Умный» асфальт.

«Умный» асфальт очистит воздух, если в покрытие добавить природный абсорбент – брусит. Он действует как активированный уголь при отравлении и впитывает углекислый газ. Образуются при этом абсолютно безопасные для природы, окружающей среды и человека безопасные химические соединения<sup>17</sup>.

#### 8. Универсальный спрей.

В Испании разработали и применили универсальный спрей для покрытия дороги, автомобиля, здания и придорожных билбордов. Состав сделан на основе двуокиси титана. Под действием солнечного света он окисляет и расщепляет летучие органические соединения – бензол, стирол и другие вредные газы.

---

<sup>17</sup> «Умный» асфальт и летающие медузы: необычные способы очистки воздуха // World Vita. 2023.

## 11. КОМНАТНЫЕ РАСТЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

В 1989 г. исследование НАСА «Чистый воздух» показало, что растения являются средствами для очищения воздуха от вредных газов и веществ. Они не просто поглощают углекислый газ и активно обогащают воздух в помещениях кислородом, но и эффективно борются с летучими химикатами, токсинами, органическими соединениями<sup>18</sup>.

Из отдельных растений выделяются:

**английский плющ** – лучшее среди всех комнатных растений для фильтрации воздуха (отлично очищает воздух от формальдегида, токсинов, углекислого газа и аллергенов, обладает противовирусными и антибактериальными свойствами, легко выращивается в горшках, подвесных корзинах, банках с водой);

**фикус** прекрасно очищает воздух в городских квартирах, нейтрализует формальдегиды;

**листья драцены** абсорбируют вредные вещества, такие как ксилол, толуол;

**бамбуковые растения** обладают сверхспособностями. Они эффективно отфильтровывают формальдегид,

**арека** – декоративная пальма, нейтрализующая формальдегиды, бензол и трихлорэтилен;

**сциндапус золотистый** (или Потос) очищает воздух от бензола;

**комнатная хризантема** уничтожает аммиак, бензол, формальдегид (любимец офиса космического агентства NASA);

**хлорофитум** может очистить воздух от самых разных токсинов, в том числе и от формальдегида, частично нейтрализует даже

---

<sup>18</sup> Шумовская Т. 8 лучших комнатных растений-фильтров. Ботаничка. 28.10.2016. [https://www.botanichka.ru/article/8-luchshih-komnatnyih-rasteniy-filtrov/?ysclid=lus9\\_drgnhq807599936](https://www.botanichka.ru/article/8-luchshih-komnatnyih-rasteniy-filtrov/?ysclid=lus9_drgnhq807599936).

угарный газ. Радиус фитонцидной, очищающей и антибактериальной активности растений — до 5 м;

**мох** является эффективным средством борьбы с загрязнением воздуха. Он имеет способность поглощать и задерживать мельчайшие частицы, в том числе микропыль, споры плесени и бактерии, которые могут присутствовать в воздухе, способен фильтровать токсические вещества, такие как формальдегид, бензол и аммиак;

**стабилизированный мох** — это классический ягель, который находится в состоянии анабиоза. Достигается это состояние путем погружения свежего мха в емкость с глицерином и необходимым нам красителем. Глицерин вытесняет из мха природную влагу и наполняет его собой, в результате чего растение как бы консервируется.

## 12. СТОИМОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

ОЭСР в 2020 г. опубликовала первый доклад на основе данных по странам Европы, доказывающий, что загрязнение воздуха вызывает сокращение рыночной активности в масштабах всей экономики. В докладе указывается, что увеличение концентрации  $PM_{2,5}$  на  $1 \text{ мкг/м}^3$  приводит к сокращению реального ВВП на 0,8 %. 95 % этого воздействия обусловлено сокращением выпуска продукции в расчете на одного работника<sup>19</sup>.

Для оценки потерь от загрязнения воздуха необходимо рассмотреть направления его воздействия на человека, окружающую природу, материальные конструкции, показатели экономики. Организации «IQAir» и «Гринпис Юго-Восточной Азии» разработали методику и программу оценки, которая позволяет рассчитать медицинские и экономические затраты на загрязнение воздуха на территории (в регионе), используя глобальные базы данных о качестве воздуха.

Методика оценка использует статистические данные за годовой период:

- данные в режиме реального времени с наземных датчиков качества воздуха, включая данные о твердых частицах с диаметром 2,5 микрона или меньше ( $PM_{2,5}$ ) и диоксиде азота ( $NO_2$ );
- научные модели оценки риска;
- данные о численности населения и здоровье.

Оценка потерь опирается на расчет количество смертей и экономических последствий для региона (крупного города). В основе

---

<sup>19</sup> Какова стоимость загрязнения воздуха. Доклад ОЭСР. 2019 – [https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-economic-cost-of-air-pollution-evidence-from-europe\\_56119490-en](https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-economic-cost-of-air-pollution-evidence-from-europe_56119490-en) (Дата обращения: 15.04.2024).

модели лежит математическая зависимость смертности населения и экономических потерь от массы выбросов  $PM_{2,5}$  и  $NO_2$  за предшествующие 365 дней, с учетом распределения уровней загрязняющих веществ по дням. Например, в 2020 г. расчет показал 160 000 смертей на территории 5 крупнейших городов. Оценки по городам оказались следующими:

Токио, Япония: 40 000 смертей, потери – 43 млрд долл. на производительности труда (население – 37 000 000 чел.);

Нью-Дели, Индия: 54 000 смертей, потери – 8,1 млрд долл. на производительности труда (население – 30 000 000 чел.);

Шанхай, Китай: 39 000 смертей, потери – 19 млрд долл. на производительности труда (население – 27 100 000 чел.);

Сан-Паулу, Бразилия: 15 000 смертей, потери – 7,8 млрд долл. на производительности труда (население – 22 000 000 чел.);

Мехико, Мексика: 15 000 смертей, потери – 7 млрд долл. на производительности труда (население – 21 800 000 чел.).

Общее количество смертей – 163 000 чел.

Общая стоимость потерь – 85,1 млрд долл. на производительности труда.

И эти пять городов составляют всего 1,7 % населения мира<sup>20</sup>.

Разработанная методика позволяет производить оценку потерь с детализацией по видам загрязняющих веществ, таких как уголь, нефть и газ:

– 4,5 млн преждевременных смертей каждый год из-за загрязнения воздуха ископаемым топливом;

– 8 млрд долл. (3,3 % от общего мирового валового внутреннего продукта или ВВП) теряется каждый день в результате сокращения продолжительности жизни, преждевременных родов, болезней, приводящих к посещению больниц и пропуску работы, а также финансового бремени, вызванного болезнями;

– 40 000 смертей детей в возрасте до 5 лет каждый год от воздействия  $PM_{2,5}$ , образующегося при сжигании ископаемого топлива;

---

<sup>20</sup> Реальная стоимость загрязнения воздуха. Updated Jul 9, 2020. Authored By: IQAir Staff Writers.

– 1,8 млрд рабочих дней, потерянных из-за болезней в результате воздействия  $PM_{2,5}$  от ископаемого топлива, что привело к экономическим потерям в размере 101 млрд долл.

Эти оценки позволяют по-другому подходить к оценке эффективности перехода от загрязняющих видов топлива (уголь, нефть и газ) к альтернативным источникам энергии (ветер, солнце), учитывая потери на здоровье населения и экономические издержки, связанные с загрязнением воздуха.

В 2021 г. Минюст России зарегистрировал методику расчета вреда воздуху как компоненты окружающей среды. Разработанный Минприроды России алгоритм исчисляет вред, который наносят объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду I, II, III категорий. Для каждой установлен уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками, и если норматив будет превышать, то вред будет исчисляться по этой методике – сумма произведений массы выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и таксы, с дополнительным применением различные коэффициенты.

Например, для диоксида азота установлена такса в размере 64,3 тыс. руб. (за выброс одной тонны загрязняющего вещества), бензапирена – 19 млн руб., диэтилртути – 13,6 млн руб., диоксидов – 404 млрд руб. за т<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Васильева А., Смертина П. Проблемы экологии.// Коммерсантъ. 2021. № 22.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество воздуха имеет высочайшую значимость, так как загрязнение воздуха является самой большой экологической угрозой для здоровья в наше время. К сожалению, в учебной литературе данный аспект раскрывается слишком кратко.

Значение качество воздуха воспринимается очень остро Всемирной организацией здравоохранения. Выделяются огромные средства для построения и сопровождения всемирного мониторинга качества воздуха.

Знание теоретических и методических основ расчета, статистической информации позволит управлять своей деятельностью, по-другому оценивать принимаемые технические решения, обеспечивая комфортные условия по окружающему воздуху. Важно четко осознавать, что качество воздуха — это здоровье, производительность, продолжительность жизни значительных групп населения.

В глобальном контексте все более четко прослеживается тенденция к усилению приоритета сохранения здоровья человека при решении технических и технологических проблем, с целевой ориентацией на снижение загрязнения воздуха. Это связано с осознанием значительности социально-экономического вреда и ущерба от экологической деградации для качества жизни и развития человеческого потенциала.

По данным структур ООН, загрязнение воздуха является наиболее важным экологическим фактором для многих болезней, ежегодно приводя к преждевременной смерти миллионов человек и большим экономическим потерям. Денежная оценка потерь глобального благосостояния из-за этого загрязнения оценивается триллионами долларов в год.

Девять из десяти жителей городов дышат загрязненным воздухом, не отвечающим установленным требованиям Всемирной организации здравоохранения. По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), загрязнение воздуха становится причиной 24 % случаев смерти от инсульта, 25% случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний и 43 % (!) случаев смерти от болезней лёгких.

Россия имеет огромные территории лесов, болот, степей, которые в силу своих ассимиляционных способностей играют важнейшую роль в обеспечении чистоты воздуха на всех уровнях: локальном, региональном, национальном, глобальном. Однако от каждого жителя зависит, чтобы окружающий нас воздух был чистый, чтобы его показатели сохранились для следующих поколений.

Связь чистоты воздуха и здоровья должна быть элементом обучения, цель ключевых решений в стратегическом развитии, элементом национальных программ.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте характеристику составляющих Всемирного рейтинга качества воздуха.

2. Какие наиболее «чистые» города мира по оценке Всемирного рейтинга качества воздуха.

3. Назовите виды загрязнения воздуха?

4. Дайте алгоритм расчета индекса качества воздуха.

5. Систематизируйте мероприятия по уменьшению загрязнения воздуха

5. Какие основные требования Закона об охране атмосферного воздуха?

6. Назовите примеры нормативов ПДК для качества воздуха.

7. Какие параметры контролируются приборами контроля качества воздуха?

8. На какие составляющие здоровья человека влияет качество воздуха?

9. Какие имеются оценки влияния качества воздуха на продолжительность жизни?

10. Инновационные решения при очистке воздуха в помещении?

11. Какие комнатные растения помогают улавливать загрязнения воздуха?

12. Основные элементы алгоритма расчета стоимости загрязнения воздуха?

## НОРМАТИВНЫЕ ТЕРМИНЫ

**Качество воздуха** — характеристики воздуха, которые влияют на человека (например, на его безопасность и здоровье) и/или на окружающую среду.

**Атмосферный воздух** — жизненно важный компонент окружающей среды, представляющий собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений.

**Вредное (загрязняющее) вещество** — химическое или биологическое вещество либо смесь таких веществ, которые содержатся в атмосферном воздухе и которые в определенных концентрациях оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

**Загрязнение атмосферного воздуха** — поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

**Первичный загрязнитель** — загрязнитель воздуха, непосредственно выбрасываемый из источника.

Вторичный загрязнитель — загрязнитель воздуха, который может образовываться в воздухе в результате физических или химических процессов из одного или нескольких первичных загрязнителей или других веществ, присутствующих в результате выбросов из стационарных или мобильных источников.

**Вредное физическое воздействие на атмосферный воздух** — вредное воздействие шума, вибрации, ионизирующего излучения, температурного и других физических факторов, изменяющих температурные, энергетические, волновые, радиационные и другие физические свойства атмосферного воздуха, на здоровье человека и окружающую среду.

**Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха** — загрязнение атмосферного воздуха в результате переноса вредных (загрязняющих) веществ, источник которых расположен на территории иностранного государства; неблагоприятные метеорологические условия — метеорологические условия, способствующие накоплению вредных (загрязняющих) веществ в приземном слое атмосферного воздуха.

**Предельно допустимый уровень физического воздействия на атмосферный воздух** — норматив физического воздействия на атмосферный воздух, который отражает предельно допустимый максимальный уровень физического воздействия на атмосферный воздух, при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

**Предельно допустимый норматив вредного физического воздействия на атмосферный воздух** — норматив, который устанавливается для каждого

источника шумового, вибрационного, электромагнитного и других физических воздействий на атмосферный воздух и при котором вредное физическое воздействие от данного и от всех других источников не приведет к превышению предельно допустимых уровней физических воздействий на атмосферный воздух.

**Технический норматив выброса** – норматив выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для передвижных и стационарных источников выбросов, технологических процессов, оборудования и отражает максимально допустимую массу выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух в расчете на единицу продукции, мощности, пробега транспортных или иных передвижных средств и другие показатели.

**Предельно допустимая (критическая) нагрузка** – показатель воздействия одного или нескольких вредных (загрязняющих) веществ на окружающую среду, превышение которого может привести к вредному воздействию на окружающую среду.

**Предельно допустимый выброс** – норматив предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха при условии непревышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов.

**Временно согласованный выброс** – временный лимит выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для действующих стационарных источников выбросов с учетом качества атмосферного воздуха и социально-экономических условий развития соответствующей территории в целях поэтапного достижения установленного предельно допустимого выброса.

Мониторинг атмосферного воздуха – система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и за происходящими в нем природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха, его загрязнения.

**Охрана атмосферного воздуха** – система мер, осуществляемых органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, юридическими и физическими лицами в целях улучшения качества атмосферного воздуха и предотвращения его вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

**Гигиенический норматив качества атмосферного воздуха** – критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека.

**Экологический норматив качества атмосферного воздуха** – критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на окружающую среду.

**Качество атмосферного воздуха** – совокупность физических, химических и биологических свойств атмосферного воздуха, отражающих степень его соответствия гигиеническим нормативам качества атмосферного воздуха и экологическим нормативам качества атмосферного воздуха.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Маргын** Д. Ю., **Джанчаров** Т. М., **Лагутина** Н. В., **Насонов** А. Н. Методы определения качества воздушной среды. Учебное пособие. – М., «ДПК Пресс». 2022. – 120 с.
2. **Калюкова** Е. Н. Экологический мониторинг атмосферы: практикум для бакалавров направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» по профилю «Инженерная защита окружающей среды». – Ульяновск : УлГТУ, 2015. – 131 с.
3. **Колесниченко** И. Н. Практика пробоотбора и предотвращения загрязнения атмосферного воздуха : учебное пособие / И. Н. Колесниченко, Л. В. Павлова, И. М. Муханова. – Самара: Издательство Самарского университета, 2022. – 98 с.
4. **Штокман** Е. А. Очистка воздуха : учеб. пособие. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 312 с.
5. Рекомендации по качеству воздуха в Европе: пер. с англ. / науч. ред.: С.Л. Авалиани и др. – 2-е изд. – М. : Весь Мир, 2004. – 302 с.
6. **Гильмундинов** В. М., **Казанцева** Л. К., **Тагаева** Т. О. Проблемы охраны водных и атмосферных ресурсов России. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. – 166 с.
7. **Тихонова** И. О., **Тарасов** В. В., **Кручинина** Н. Е. Мониторинг атмосферного воздуха. – М. Форум. 2008. – 125 с.

*Глухов Владимир Викторович*

# **КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРУДА**

Учебное пособие

Компьютерная верстка *О. Б. Романенко*  
Дизайн обложки *Е. В. Гладышевой*

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 78.01.07.953.П.001342.01.07 от 24.01.2007 г.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, т. 2; 95 3005 – учебная литература

---

Подписано в печать 18.06.2024. Формат 60×84/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 3,5. Тираж 100. Заказ 3092.

---

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре  
Политехнического университета.  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.  
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.

