

Влияние изменений состава атмосферы на условия труда

Д.т.н. С.А. Кудж¹, к.т.н. доц. А.В. Трубицын¹, С.Н. Котельников^{1,2}

МГТУ МИРЭА

8(495)433-00-44

ИОФ РАН им. А.М. Прохорова

8(495)433-03-33

Аннотация. Изложено обострение проблематики влияния концентрации тропосферного озона на условия труда и окружающую среду. Отмечено повышенное внимание зарубежной науки к этой проблеме. Констатируется необходимость развития сети станций мониторинга концентрации тропосферного озона в Российской Федерации. Предлагаются пути защиты от избыточных концентраций.

Ключевые слова: тропосферный озон, изменчивость концентрации озона, мониторинг озона, загрязнение атмосферы, солнечная ультрафиолетовая радиация.

Тропосферный и стратосферный озон химически идентичны, однако, их роль в биосфере существенным образом зависит от высоты расположения. Стратосферный озон играет определяющую роль в поглощении жесткой солнечной ультрафиолетовой радиации, что обеспечивает достаточно низкий и биологически безопасный уровень этого излучения у поверхности Земли. Отсутствие озонового слоя привело бы к тому, что значительная часть жесткой компоненты ультрафиолетовой солнечной радиации достигала бы земной поверхности и губительно действовала бы на земные живые системы [9].

Тропосферный озон, особенно в приземном слое воздуха, непосредственно взаимодействует с живыми формами, обнаруживая и свои токсические свойства. В соответствии с ГОСТ 12.1.005-06 озон относится к веществам первой (высшей) категории опасности. В повышенных концентрациях озон отрицательно влияет на здоровье человека и животных, угнетает рост и жизнедеятельность растений [12 – 17]. Как показали биологические и медицинские исследования, повышенные концентрации озона в тропосфере являются сильнодействующим ядом, обладающим, помимо общетоксического действия, такими свойствами как мутагенность, канцерогенность, радиомиметический эффект (действие на кровь подобно ионизирующей радиации) [9, 12 – 17]. Помимо воздействия на человека и растительность, озон является мощнейшим окислителем, разрушающим резину, каучук, окисляющим многие металлы [18]. Имея продолжительное время жизни в атмосфере (от нескольких дней до нескольких месяцев) и интенсивные линии поглощения излучения, тропосферный озон играет значительную роль в парниковом эффекте [9]. По оценкам [9, 20, 21], его вклад превышает 8% общего нагревания воздуха, обусловленного поглощением солнечного излучения парниковыми газами. Более поздние оценки показывают, что величина этого вклада может быть и больше.

Такое многообразие возможных отрицательных последствий от увеличения концентрации тропосферного озона, как для человека, так и для окружающей среды требует повышенного внимания к тенденциям изменения его концентрации в приземном слое воздуха. Длительное время считалось, что концентрация озона в нижней атмосфере невысока. Поэтому его контроль осуществлялся на небольшом количестве станций [9]. Анализ имеющихся многочисленных длинных рядов измерений концентрации озона в приземном слое показывает, что имеется однозначная тенденция её увеличения в последние десятилетия. По данным измерений химическим методом в Париже за период с 1876 по 1986 г. (110 лет) средняя концентрация озона увеличилась в 2 раза с 10 до 20 млрд⁻¹ [9]. Дж. Межи с сотрудниками определили увеличение концентрации озона в фоновых районах Европы в 5 раз за 100 лет [9]. Начало же роста содержания озона в тропосфере относится ими к 1895 году [9]. На основании многочисленных измерений авторы приходят к выводу, что современный

рост содержания озона в тропосфере равен 1 – 3% в год и изменяется в зависимости от географического расположения места. По их мнению, увеличение концентрации тропосферного озона будет продолжаться и в будущем со скоростью 0.25% в год.

В последние 30-40 лет, когда опасность увеличения содержания озона в тропосфере стала очевидной, сеть пунктов наблюдения стала стремительно расти. В США и странах Европы десятки тысяч станций мониторинга приземного озона и его предшественников обеспечивают информацией, как граждан этих стран, так и государственные экологические службы [16]. В приземном слое тропосферы за образование озона ответственны несколько механизмов, основным из них считается серия неравновесных многоступенчатых химических реакций, предшественниками которых являются оксиды углерода, окислы азота, углеводороды, в избытке содержащиеся в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания. Эти неравновесные реакции могут идти как в сторону увеличения продуцирования озона при повышении температуры, так и в сторону снижения продуцирования озона и даже его нейтрализации при понижении температуры.

За последнее десятилетие на территории центральной России наблюдается существенное возрастание уровня озона в приземном слое атмосферы. Это обусловлено как ростом загрязненности атмосферного воздуха в городах из-за интенсификации автомобильного транспорта, так и изменениями климата в сторону потепления [1 – 7, 10]. Являясь вторичным загрязнителем, озон образуется в результате сложного цикла фотохимических реакций, протекающих с участием ультрафиолетового солнечного излучения и первичных загрязнителей атмосферы (молекул-предшественников типа оксида углерода, окислов азота, углеводородов), образуемых, в частности, при сгорании органического топлива.

Наблюдаемые [1 – 7, 21] в последние годы в центральной России концентрации озона в тропосфере существенно (в особо опасных случаях в разы) превышают безопасный уровень (максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{мп}) – 160 мкг/м³, среднесуточная ПДК_{сс} – 30 мкг/м³, ПДК промзоны – 100 мкг/м³). Эти явления носят регулярный характер и в весенне-летний период наблюдаются практически каждый безоблачный день в течение практически всего светового дня [6]. Опасно высокие концентрации озона (вплоть до 500 мкг/м³ и более) наблюдаются как в атмосфере крупных городов, так и в сельских и курортных районах [1 – 7, 21]. Причем, в пригородах крупных мегаполисов содержание озона в тропосфере может превышать содержание в городской атмосфере [21]. Впервые, такие особенности образования повышенных концентраций озона именно в загородных районах на территории России зафиксированы отечественными учеными [1, 3, 6, 21]. Так, летом 2010 г. в Зеленограде и районе Звенигорода максимальные среднечасовые концентрации приземного озона превышали 500 мкг/м³. В справочнике [14] приводятся данные о том, что в условиях эксперимента, 17% подопытных крыс погибали за 1 час пребывания в атмосфере, содержащей 500 мкг/м³ озона.

Из-за отсутствия полной и достоверной информации о содержании озона в атмосфере на территории нашей страны в настоящее время затруднительно точно оценить экономический ущерб от его воздействия на природу и здоровье населения. Согласно расчетам специалистов для некоторых регионов России, экономический ущерб от воздействия загрязненного атмосферного воздуха на здоровье населения (смертность и заболеваемость) составил в 2002 г.: в Екатеринбургской и Челябинской области 8% валового регионального продукта (ВРП), что выше темпов роста этого показателя; в Республике Башкортостан — 7% ВРП и 6% ВРП — в Нижегородской области. Экономический ущерб только от детской астмы, вызванной загрязненным атмосферным воздухом, составляет в нашей стране 11-15 миллиардов рублей в год. В целом для страны экономический ущерб в результате негативного воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения находится в диапазоне 3,1–5,8% от ВВП, то есть превышает бюджет на здравоохранение и охрану окружающей среды. Кроме того, 95% суммарных издержек обусловлены смертностью, вызванной загрязнением

атмосферного воздуха [24].

Проведенные впервые в России эпидемиологические исследования по влиянию приземного озона на здоровье населения в мало урбанизированном районе Кировской обл. и мегаполисе показали, что превышение ПДК озона приводит к статистически значимой связи между сердечнососудистыми заболеваниями, пневмонией и смертностью населения [22, 23] что хорошо согласуется с многочисленными зарубежными исследованиями [17]. В документах Всемирной Организации Здравоохранения [17] приводятся сведения о том, что в странах Европейского Союза при превышении приземных концентраций озона уровня 70 мкг/м^3 (среднее за 8 часов) происходит более 14000 госпитализаций, связанных с респираторными заболеваниями и более 21000 дополнительных смертей в год. Причем, превышения концентраций озона значений $50 - 70 \text{ мкг/м}^3$ (средние 1 часовые или 8 часовые) уже оказывают неблагоприятный эффект на здоровье населения и вызывают увеличение дополнительной смертности на 1-2% процента и этот эффект не зависит от температуры и других загрязнителей [17]. На рисунке 1 показан график зависимости роста дополнительной смертности от среднечасовых концентраций озона, приведённый в [17].

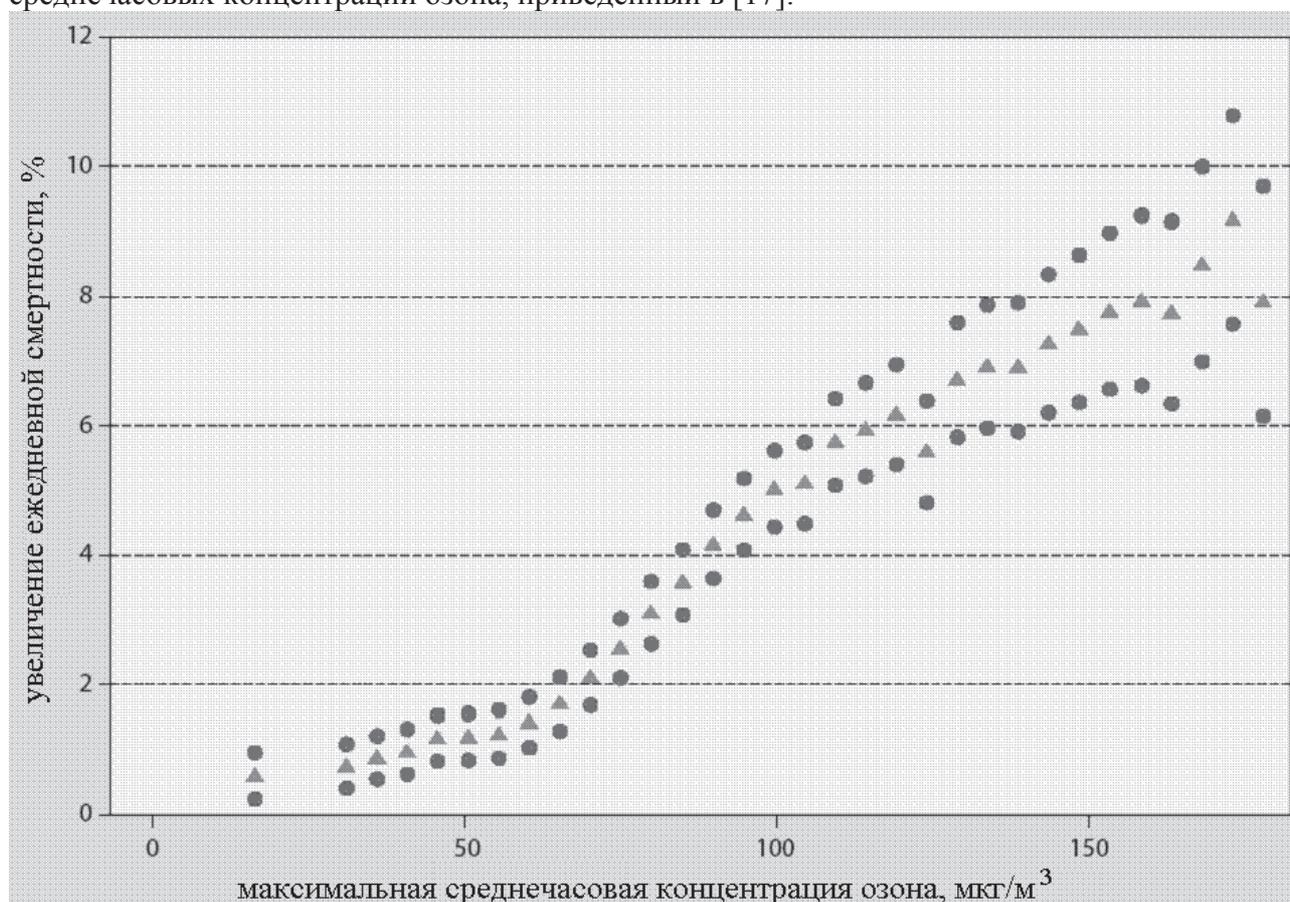


Рисунок 1. Зависимость роста дополнительной смертности от максимальных 1 часовых концентраций озона при лаге 0 – 1 [17, 9].

Точками отмечен 95% доверительный интервал

В России в настоящее время проблеме тропосферного озона уделяется недостаточно внимания. Отчасти это можно объяснить стремительностью роста автомобильного транспорта и климатическими изменениями, которые стали наиболее выраженными лишь в последние годы, а также отсутствием ясной картины происходящего. Такие страны как США, Германия, Франция, Италия, Испания, Япония, расположенные в более «солнечных» широтах, столкнулись с этой проблемой еще в 60-80-е годы XX века и к настоящему времени, благодаря комплексным программам всестороннего изучения проблемы, успели осознать тяжесть

экономических, экологических и социальных последствий повышения уровня озона в приземной атмосфере. Для решения проблемы негативного влияния колебаний концентрации тропосферного озона в этих странах предпринят ряд организационных и технических мер.

Опыт решения этой проблемы за рубежом свидетельствует о том, что первейшей задачей является обеспечение как можно более полной и достоверной информации о содержании озона в атмосфере на территории страны. В связи с этим в каждой из этих стран были созданы сети мониторинга качества атмосферного воздуха, состоящие из тысяч (!) станций наблюдения [16]. При этом мониторингу озона уделяется особое повышенное внимание, так как химически он наиболее опасен и образуется за счет первичных загрязнителей (оксида углерода, окислов азота, углеводородов), что может характеризовать общую загрязненность воздуха. Данные, получаемые с помощью таких сетей мониторинга, позволяют:

- контролировать обстановку по всей территории страны, изучать причины и закономерности образования озона в тропосфере, разрабатывать модели описания, оценивать риски;
- знать об опасных ситуациях, складывающихся в силу тех или иных погодных условий;
- оперативно предупреждать население о существующих рисках, рекомендовать меры предосторожности и, таким образом, минимизировать вредное воздействие на людей;
- вырабатывать технические и законодательные меры и программы действий, направленные на снижение выбросов первичных загрязнителей;
- минимизировать экономические потери, связанные с потерей здоровья, снижением урожайности и разрушением природных экологических систем и обусловленные влиянием повышенных концентраций озона в воздухе.

В России подобной сети мониторинга тропосферного озона не существует [9]. Есть лишь отдельные станции или лаборатории (в Москве, в Вятских Полянах, Долгопрудном и Томске), проводящие измерение уровня озона в городской атмосфере и использующие различные физико-химические методы анализа. С их помощью и было обнаружено наличие «проблемы тропосферного озона» в последние годы. В этом плане оказалась очень актуальные совместные работы, проводимые в ИОФ РАН им. А.М. Прохорова и МГТУ МИРЭА по созданию мобильного автоматического комплекса для исследований механизмов образования приземного озона [25], а так же работы, проводимые в МГТУ «МАМИ». Однако, полная картина происходящего на территории страны, даже в ее европейской части, отсутствует. В настоящее время особо необходим и актуален постоянный мониторинг тропосферного озона в ближайшем и дальнем Подмосковье, в областях Поволжья, Южного (Краснодарский и Ставропольский края), Центрального, Уральского и Северо-западного федерального округов.

Причиной появления в последние десятилетия новой производственной и общеэкологической угрозы – колебаний концентрации приземного озона в широком диапазоне, авторы склонны считать беспрецедентный рост численности автотранспорта и, следовательно, повышение концентрации предшественников озона, а также периоды аномального повышения температуры. Острота и актуальность этой проблемы требует ее детального изучения, тем более тщательного, что многими исследователями отмечалась иррациональность в ходе графиков изменения концентрации озона. Есть все основания предположить, что на изменение концентрации озона влияют еще не изученные механизмы.

Очевидно, путем смягчения остроты проблемы можно считать продолжение повышения экологических требований к выхлопам автотранспорта (переход на евростандарты более высоких категорий), а так же развитие гибридных и электромобилей.

Выводы и рекомендации

1. Развитие сети автоматизированных станций мониторинга концентрации приземного озона с возможностью дистанционного доступа к информации, например через сеть Интернет.
2. На основе растущего объема статистической информации по динамике концентрации приземного озона в различных регионах и прогноза погоды на доверительный период и в случае негативного прогноза выработка практических рекомендаций работникам предприятий и населению о необходимости конкретных профилактических мероприятий с использованием средств массовой информации.
3. Разработка и внедрение технических и технологических мероприятий по снижению выбросов предшественников озона в атмосферу.
4. Расширение спектра научных исследований по данной проблеме.

Литература

1. Котельников С.Н., Миляев В.А. Экстремально высокие уровни тропосферного озона в приземном слое атмосферы г. Таруса летом 2002 г. // Сборник трудов XI семинара геофака МГУ «Система планета земля» - 2003. С. 152-155.
2. Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Егоров В.И., Еланский Н.Ф., и др., 2004 Положительные аномалии приземного озона в июле-августе 2002 г. в Москве и ее окрестностях // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. № 1. С. 75-86
3. Котельников С.Н., Миляев В.А., Степанов Е.В.. Содержание озона в приземном слое атмосферы курортных районов и крупных городов. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XIX, Гидрометеиздат, С.Пб., 2004 г., С.64-71.
4. Котельников С.Н., Опасность тропосферного озона в московском регионе // 14-й Национальный конгресс Российского Респираторного Общества: тезисы докл. Москва, 2004. № 1667, С.440.
5. Котельников С.Н., Миляев В.А. Новая экологическая опасность для России – приземный озон // Охрана труда и социальное страхование. 2007. № 7. С. 59-63.
6. Котельников С.Н., Миляев В.А., Саханова В.В.. Положительные аномалии концентрации приземного озона в атмосфере некоторых фоновых районов. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. ИГКЭ, Т. XXII, 2009. С.227-234.
7. Звягинцев А.М., Котельников С.Н. и др. Аномалии концентраций малых газовых составляющих в воздухе Европейской части России и Украины летом 2010 г. // Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.: тезисы докл. Всерос. Совец. (Москва, 25.10.10г.). С. 12-13.
8. Режим доступа: <http://ifaran.ru/messaging/forum/news-details.html?id=7134>,
<http://ifaran.ru/docs/theses.pdf>
9. Белан Б.Д. Озон в тропосфере. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН 2010. 478 с.
10. Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Ленковская Т.Н. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Новосибирска приземным озоном // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 02, С.171-174.
11. Баллюзек Ф.Б., Арчба З.И., Челибанов В.П. // Озон в медицине. СПб.: 2005. 175 с.
12. Лазарев Н.В. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Вредные вещества в промышленности. Л.: Химия, 1971. 520 с.
13. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Л.: Химия, 1987. 352 с.
14. Филов В.А. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп. Л.: Химия, 1989. 592 с.
15. Гигиенический норматив ГН 2.1.5.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. 2003.

16. Агентство по охране окружающей среды США – US EPA – Environment Protection Agency. Режим доступа <http://www.epa.gov>, [www.epa.gov/air now](http://www.epa.gov/airnow), в Европе: режим доступа <http://www.eea.europa.eu/maps/ozone/map>
17. Markus Amann, Dick Derwent et al. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution WHO 2008 Regional Office for Europe, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf
18. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. -М.:МГУ, 1998. 480 с.
19. Atmosphere trace gases that are radiatively active and significance to global change // Earth Quest. 1990. V. 40. N 2. P. 10-11.
20. Akimoto H. Major concerns and research needs for our understanding of the chemistry of the atmosphere // Pure and Appl. Chem. 1995. V. 67. N 12. P. 2057-2064.
21. Звягинцев А.М., Котельников С.Н и др. Аномалии концентраций малых газовых составляющих в воздухе европейской части России и Украины летом 2010 г. // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 07. С. 582-588.
22. Котельников С.Н., Олюнин Э.А., Манаков М.А. Влияние аномально жаркой погоды, дыма от лесных пожаров и приземного озона на здоровье населения в г. Вятские Поляны летом 2010 г.// Донозоология и здоровый образ жизни. 2012. № 2(11) С. 61-65.
23. Котельников С.Н., Степанов Е.В. Влияние умеренных концентраций приземного озона на здоровье населения в г. Вятские Поляны и аномально высоких в г. Москва летом 2010 г. // Загрязнение атмосферы городов Труды конференции. СПб. 1-3 октября 2013 г. С.104-105.
24. Сидоренко В.Н. Моделирование и экономическая оценка ущерба здоровью населения регионов России от загрязнения атмосферного воздуха// Вестник Сам.ГУ – Естественнонаучная серия. 2006. №9(49) С. 270-276.
25. Котельников С.Н., Трубицын А.В. Мобильный автоматический комплекс для измерения приземного озона и физических параметров атмосферы // Сб. научных трудов 1-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» Радиоинфоком-2013. Москва. 2013. С.70-73.
26. Графкина М.В. Охрана труда и производственная безопасность - Велби, Изд-во Проспект, 2007.- 424с.