

Б.Д. Белан, Д.А. Колесников, О.Ю. Лукьянов, М.К. Микушев, О.И. Семьянова,
Г.Н. Толмачев, В.М. Усманова

ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА

Рассматривается динамика концентрации озона в приземном слое воздуха в районе г. Томска по данным нескольких лет измерений. Выявлены как общефизические ее закономерности, так и чисто региональные. Проведено сопоставление суточных ходов озона и других газов.

Измерения концентрации озона в приземном слое воздуха проводятся регулярно в ИОА СО РАН, начиная с 1989 года. Полученные наблюдения органично вписались в программу SATOR, выполнявшуюся в течение 1991 года, как базовые при сравнении результатов отдельных циклов. В настоящей статье рассматривается динамика концентрации озона в приземном слое за период 1989–1991 гг. и ее связь с другими параметрами воздуха, измерявшимися в период экспериментов по программе SATOR.

Наблюдения организованы на станции высотного зондирования, расположенной на северо-восточной периферии Томского академгородка. В качестве измерительного средства использовался переносной хемиллюминесцентный газоанализатор типа З-02П, разработанный и изготовленный в лаборатории ЛЭК (г. Ленинград) по заказу ИОА. Газоанализатор имеет следующие технические характеристики:

диапазон измеряемых концентраций	– 1 ... 1000 мкг/м ³
погрешность измерения	– 15%
быстродействие, не менее	– 1 с
параметры анализируемой среды (на входе воздухозаборной трубки длиной 5 м):	
температура	– –40 ... +50°С
давление	– 700 ... 820 мм рт. ст.
относительная влажность	– 30 ... 98%

В приборе имеется встроенный калибратор озона (по уровню 18,5 мкг/м³), что обеспечивает его периодическую проверку; аналоговый и цифровой выход для подключения к регистрирующим устройствам. Забор воздуха в прибор осуществляется через тифлоновую трубку с высоты 6 м. Измерения проводились круглосуточно. Отсчеты брались с шагом 10 мин и последующим осреднением за каждый час.

На рис. 1 приведен годовой ход концентрации озона в приземном слое за период с 1989 по начало 1992 года. Вертикальными линиями показаны среднеквадратические отклонения.

Из рис. 1 видно, что для района г. Томска характерно резкое возрастание концентрации озона от февраля к марту (3 раза), с последующим плавным ее уменьшением. Минимальные концентрации озона у поверхности земли наблюдаются в октябре–ноябре. После чего можно отметить незначительный ее рост к февралю.

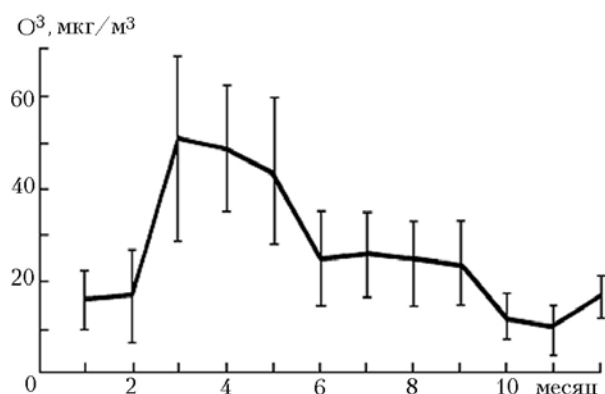


Рис. 1. Годовой ход концентраций озона

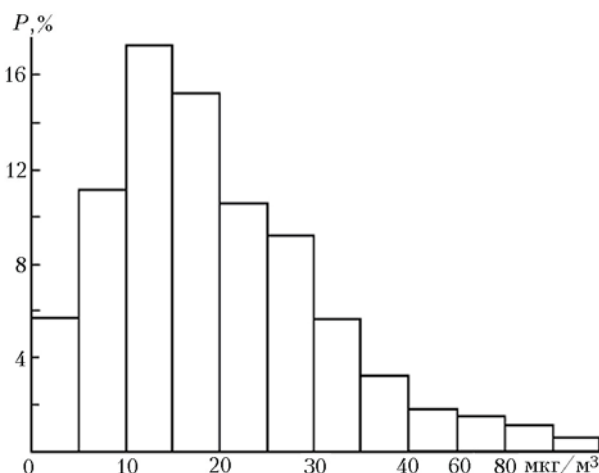


Рис. 2. Повторяемость различных значений концентрации приземного озона

Приведенный на рис. 1 годовой ход концентрации озона в приземном слое можно было бы считать типичным [1–3], если бы не столь раннее и резкое наступление его максимума в марте. По крайней мере, по собранным в [1–3] данным такого раннего максимума нигде не зафиксировано. По-видимому, основная причина наступления столь раннего максимума связана с географическим положением г. Томска, который окружен со всех сторон лесными массивами. Последние являются мощнейшими источниками генерации терпенов и изопренов, из которых в естественных условиях и образуется озон [3].

На рис. 2 приведена гистограмма повторяемости различных значений концентрации озона за рассматриваемый период. Для ее построения использовано свыше 18 тысяч среднечасовых отсчетов. Из рис. 2 видно, что 67% всех значений концентрации озона имеют величину менее 30 мкг/м³ (среднесуточная ПДК жилой зоны). Если бы озон в приземном слое не имел суточного хода, то оставшиеся 33% могли бы оказаться весьма опасным показателем. Поэтому целесообразно рассмотреть особенности его суточного хода.

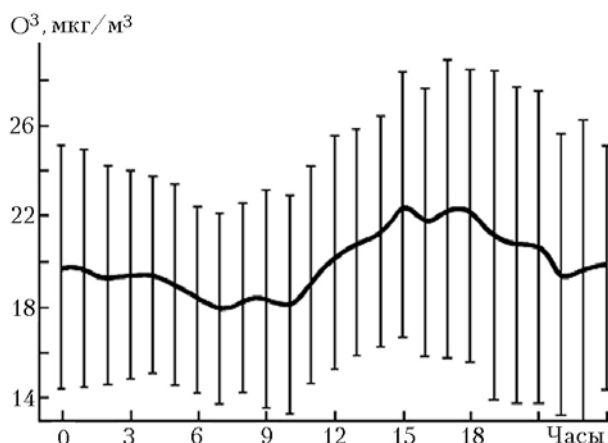


Рис. 3. Средний многолетний суточный ход озона

Суточный ход концентрации озона, рассчитанный по всему массиву данных, представлен на рис. 3. Вертикальными отрезками отложены среднеквадратические отклонения. Видно, что минимум концентрации наблюдается в период с 6 до 10 ч местного времени, максимум, несколько сглаженный, с 15 до 18 ч. Близкий по характеру суточный ход концентрации озона отмечен и в [2, 3]. Там же указывается, что амплитуда суточного хода зависит от времени года.

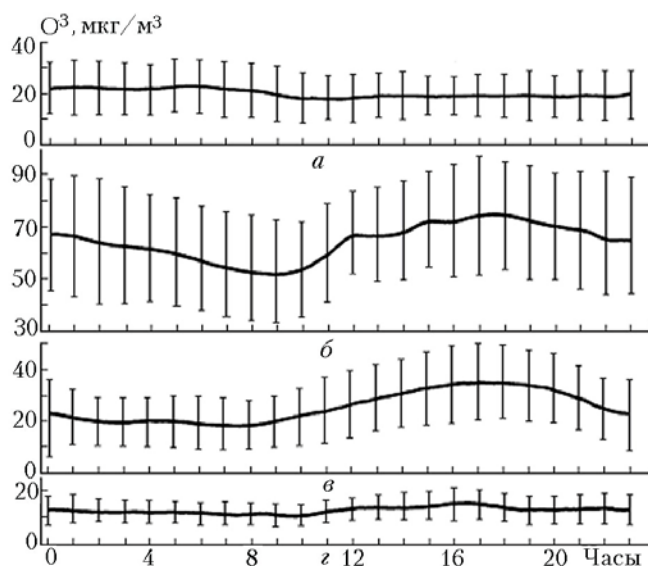


Рис. 4. Суточный ход озона: а – январь, б – апрель, в – июнь, г – октябрь

Последнее утверждение хорошо прослеживается по данным рис. 4. Так, если в январе суточный ход почти нейтральный и даже в некоторой степени обратный (небольшой максимум наблюдается в предутренние часы), то в апреле и июне, когда генерация озона происходит в приземном слое, ход концентрации озона становится классическим: минимум в утренние часы и максимум после полудня. Близким к нейтральному и классическому суточному ходу является ход, зафиксированный в октябре. Если рассматривать изменение амплитуды суточного хода в течение года, то видно, что она нарастает вместе с увеличением концентрации озона. Причем в апреле в г. Томске она превышает среднесуточную ПДК.

Возвращаясь к аномальности суточного хода в январе, можно предполагать, что она создается за счет оседания озона из вышележащих слоев, где его концентрация выше, а деструкция на снегу минимальна [2, 3]. К этому выводу приводят данные самолетного зондирования озона и его синхронные приземные измерения, выполненные нами ранее на Дальнем Востоке [4], где выявлено четкое оседание озона в ночное время в холодный период года.

Программа SATOR осуществлялась в два приема и включала в себя летний и осенний эксперименты. Летний эксперимент проходил по режиму круглосуточных наблюдений в период с 14 июня по 6 июля непрерывно. Всего было выполнено 24 полных круглосуточных цикла. Осенний эксперимент проводился 12-часовыми циклами с недельными интервалами со сменой графика день/ночь. По итогам осеннего эксперимента получилось 8 полных круглосуточных циклов.

Кроме концентрации озона в экспериментах SATOR синхронно с ним измерялись суммарная счетная концентрация, аэрозоля счетчиком АЗ-5, концентрация оксида и диоксида углерода газоанализаторами ГИАМ-15, выпускаемыми отечественной промышленностью. Фотоэлектрический счетчик АЗ-5 измеряет количество частиц в единице объема радиусом $\geq 0,2$ мкм в диапазоне $0 \dots 300 \text{ см}^{-3}$ с погрешностью 20%. Газоанализаторы ГИАМ-15, в зависимости от настройки, имеют следующие характеристики. При настройке на оксид углерода диапазон измерений составляет $0 \dots 100 \text{ ppm}$ при погрешности $\pm 5\%$; при настройке на диоксид углерода — $0 \dots 1000 \text{ ppm}$ при погрешности $\pm 10\%$. Счетчик АЗ-5 имеет встроенный калибратор, газоанализаторы ГИАМ-15 снабжены поверочными газовыми смесями, что позволяло проводить контроль функционирования инструментов в ходе ведения суточного цикла. Забор воздуха для указанных приборов осуществлялся аналогично описанному для озона.

Среднесуточный ход перечисленных выше компонентов и озона в приземном слое воздуха для летнего и осеннего этапов эксперимента SATOR показан на рис. 5 и 6 соответственно.

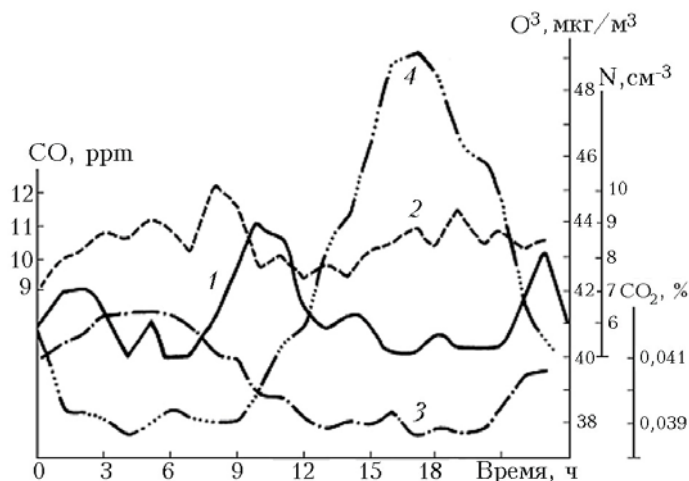


Рис. 5. Суточный ход счетной концентрации: кривая 1 — аэрозоля; 2 — оксида углерода; 3 — диоксида углерода; 4 — озона в летний период

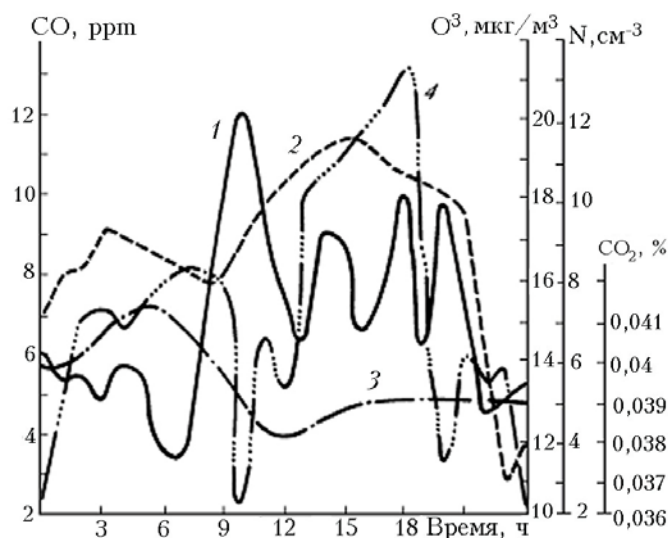


Рис. 6. Суточный ход аэрозоля, оксида и диоксида углерода, озона в осенний период. Обозначения кривых в подписи к рис. 5

Из рис. 5 видно, что озон и диоксид углерода в летний период имеют обратный ход. Озон изменяется по обычной схеме с минимумом в предутренние и утренние часы и четким максимумом после полудня. Диоксид углерода имеет максимум в предутренние часы и минимум после полудня. Такой суточный ход диоксида углерода объясняется жизнедеятельностью растений, которые, как известно [5], ночью во время дыхания выделяют диоксид углерода, а днем — кислород. Оксид углерода имеет более сложный характер изменения. Можно выделить два небольших максимума, которые наблюдаются в утренние и вечерние часы, что, по-видимому, связано с деятельностью автотранспорта. Вблизи пункта наблюдений располагалось автопредприятие, и эти максимумы соответствовали времени выезда и заезда автомобилей на его территорию. В суточном ходе оксида углерода имеется два неглубоких минимума: вблизи полуночи и полудня. Их появление также можно попытаться связать с интенсивностью дорожного движения, когда потоки машин ослабевают. Счетная концентрация аэрозоля показывает наиболее непонятный ход. Возможно, это суперпозиция нескольких процессов, таких как генерация аэрозоля из газов, сток озона через аэрозоль и просто турбулентный подъем и перенос пыли. Согласно ранее полученным данным [4], такое наложение разных процессов друг на друга наблюдается в городских условиях.

В ходе осеннего цикла измерений суточный ход рассматриваемых компонентов воздуха, за исключением диоксида углерода, резко изменяется. Как видно из рис. 6, у озона появляется вторичный ночной максимум, который нельзя объяснить ничем иным, как оседанием из вышележащих слоев воздуха. Счетная концентрация в своем суточном ходе обнаруживает несколько минимумов и максимумов, что можно объяснить только деятельностью периода измерений, когда в район измерений приходили различные воздушные массы и режим аэрозоля не успевал восстанавливаться [6], в отличие от газового состава, успевающего восстановиться за 1–2 дня [4]. Резко изменился и суточный ход оксида углерода. Однако объяснение этому факту пока не найдено.

Подводя итог работе в целом, отметим, что динамика концентрации приземного озона в районе Томска, подчиняясь общеклиматическим закономерностям, имеет в то же время и свои региональные особенности, такие, например, как раннее наступление весеннего максимума, наличие вторичного ночного максимума в суточном ходе. Качественное сравнение изменений озона в суточном ходе с другими газами и аэрозолем не дает устойчивых взаимосвязей, за исключением диоксида углерода в летнее время. Возможно, что здесь сказывается влияние промышленных объектов г. Томска, расположенных в нескольких километрах от точки измерения.

1. Хргиан А. Х. Физика атмосферного озона. Л.: Гидрометеониздат, 1973. 292 с.
2. Перов С. П., Хргиан А. Х. Современные проблемы атмосферного озона. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 288 с.
3. Ровинский Ф. Я., Егоров В. И. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 184 с.
4. Белан Б. Д., Микушев М. К., Панченко М. В. и др. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 9. С. 995–1005.
5. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. И. Г. Грингофа. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 528 с.
6. Белан Б. Д., Гришин А. И., Матвиенко Г. Г., Самохвалов И. В. Пространственная изменчивость характеристик атмосферного аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1989. 152 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
27 марта 1992 г.

B. D. Belan, L. A. Kolesnikov, O. Yu. Luk'yanov, M. K. Mikushev, O. I. Sem'yanova, G. N. Tolmachev, V. M. Usmanova. Ozone Number Density Variations in the Ground Atmospheric Layer.

In this paper the dynamics of the ozone content in the ground atmospheric layer is analyzed based on the data of many years observations in Tomsk. Both general physical features and regional peculiarities in the dynamics have been revealed in this study. A comparison of diurnal behaviors of the ozone and other gases is carried out.