

М.И. Белоглазов, Л.П. Боровков, Л.Л. Лазутин

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА

Рассматриваются быстрые вариации стратосферного озона по измерениям на аэростате на границе циркумполярного вихря, а также суточные и более быстрые вариации приземного озона в полярной и тропической областях.

Озон в нижней стратосфере и тропосфере используется как трассер, имеющий большое время жизни и позволяющий отслеживать движение воздушных масс. Вместе с тем отмечается высокая изменчивость содержания озона в воздухе как в стратосфере, так и в приземном слое атмосферы. Некоторые примеры такой изменчивости приводятся в данной статье.

Вариации озона в стратосфере

Структура озонового слоя в высокоширотной стратосфере определяется рядом физико-химических параметров: температурой, наличием аэрозоля и солнечной радиации, присутствием озоноразрушающих веществ, динамическими процессами. В зимне-весенние месяцы вблизи границы полярного вихря наблюдаются тонкие слои с резко отличающимся содержанием озона, являющиеся результатом дифференциальной адвекции и неустойчивостей границы вихря или волновых движений в стратосфере [1–4].

Во время эксперимента EASOE в зимне-весенний сезон 1991–1992 гг. Полярный геофизический институт (ПГИ) Кольского научного центра РАН проводил аэростатные измерения на шведском полигоне в Кируне. В качестве детектора использовался хемилюминесцентный озонметр, краткое описание которого приведено в [5], где представлены частично данные измерений 31 января 1992 г. В этом полете, согласно картам потенциального вихря, составляющимся Европейским центром среднесрочных метеопрогнозов, и данным расчета траекторий воздушных ячеек, аэростат, поднимавшийся до высоты 19 км, находился вне циркумполярного вихря, а с высоты от 23 до 25,5 км (максимальная высота) – внутри вихря [6]. Продрейфовал около получаса на максимальной высоте, аэростат начал спускаться со скоростью около 4 м/с, близкой к скорости подъема. На фазах подъема и спуска зарегистрированы большие вариации парциального давления озона, что неудивительно, учитывая предельную близость границы вихря и даже ее пересечение.

На рис. 1 приведены данные измерений давления озона и высоты полета аэростата на фазе дрейфа. Видны значительные вариации парциального давления озона при том, что высота полета, как по радиолокационным данным, так и по показаниям бортового датчика давления, менялась не более чем на 350 м от среднего значения. Нужно учитывать, что дрейфующий аэростат в статических условиях неподвижен относительно окружающего воздуха и должен регистрировать неизменное значение содержания озона, конечно, при условии, что оно не менялось.

Возможны два объяснения наблюдаемых вариаций. Первое – зафиксированы действительно изменения парциального давления озона, вызванные неким переменным фактором малоподвижного окружающего воздуха. Таким фактором может быть изменение температуры, которая во время дрейфа снизилась с -79 до -82°C , достигнув порогового значения для образования полярных стратосферных облаков тригидрата азотной кислоты. Однако быстрое чередование уменьшений–восстановлений озона склоняет в пользу второго объяснения – изменений содержания озона вследствие волновых перемещений окружающего аэростат воздуха при наличии горизонтального или вертикального градиентов озонового слоя. Вследствие

инерционности аэростат оказывается в смежных областях стратосферы, и озонметр регистрирует соответствующие значения давления озона.

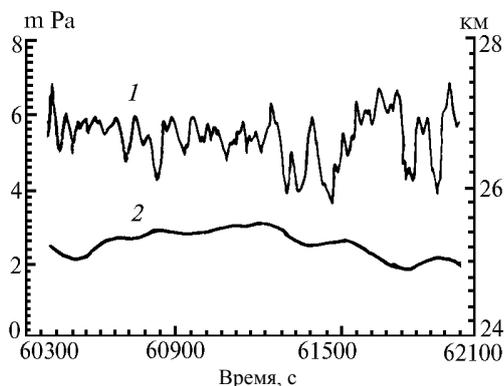


Рис. 1. Вариации парциального давления озона кривая (1) в стратосфере и высоты дрейфа аэростата (2). Кируна, 31 марта 1992 г.

Вариации приземного озона

1. Быстрые вариации и пульсации в тропиках

В тропосфере озон, как известно, является вторичным загрязнителем, образующимся в результате фотохимических процессов с участием окислов азота, углеводородов и других соединений. Эти вещества в значительной степени имеют антропогенное происхождение. Подавляющая часть экспериментальных данных по антропогенному влиянию на приземный озон относится к условиям средних широт северного полушария. При этом установлено, что повышение температуры и концентрации азотных окислов приводит к интенсивному образованию озона в приземном слое атмосферы и к увеличению вероятности возникновения озоновых смогов.

В полярных областях измерений подобного рода проведено гораздо меньше. Поэтому представляет большой интерес выяснить, как велико урбанистическое воздействие отдельно взятого города на содержание приземного озона в условиях высоких широт, и сопоставить с измерениями в тропическом районе южного полушария.

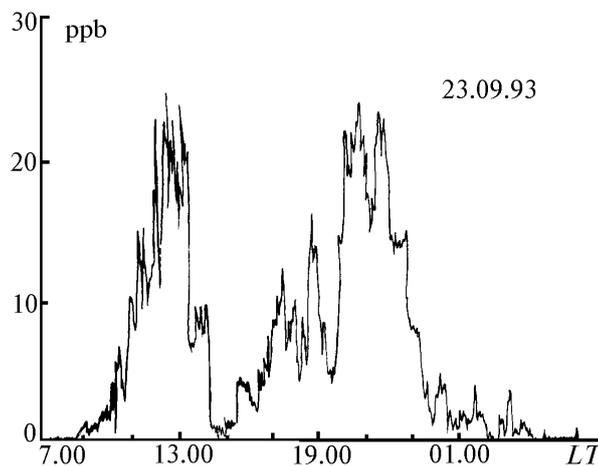


Рис. 2. Суточный ход концентрации озона на станции Кампинас, Бразилия 23.09.1993

В 1993 году ПГИ проводил измерения приземного озона совместно с Институтом физики им. Глеба Вагагина при Университете г. Кампинас штата Сан-Пауло, Бразилия. Измерения проводились хемилуминесцентным озонметром ПГИ в течение полугода; половина этого интервала попала на сухой сезон, а вторая половина на сезон дождей. Основные результаты этой работы опубликованы в [5]; отметим два из них. Во-первых, в этом промышленном шта-

те Бразилии, как и в промышленном Южном полушарии, часто наблюдаются значительные возрастания озона антропогенного происхождения, причем облака смога, в котором происходит фотохимическая генерация озона [7], образуются как промышленными выбросами, так и массовыми прожогами сухостоя и сахарного тростника перед уборкой. Второй результат работы – обнаружение целого спектра временных вариаций концентрации приземного озона, ставшее возможным благодаря непрерывной компьютерной регистрации данных с разрешением 1 с. Приведенные ниже примеры временной структуры приземного озона относятся к пригородной зоне г. Кампинаса.

На рис. 2 показан суточный ход концентрации озона (среднеминутные значения) в один из дней сезона дождей. Первые два резких спада концентрации после 13 ч местного времени совпадают с началом и усилением тропического ливня. Далее прямая связь утрачивается: вариации озона после 18 ч не совпадают с переменами метеоситуации.

Провалы концентрации озона наблюдались и в другие дни, без осадков и видимой перемены атмосферных условий. Часто резкий немонотонный характер имеет вечерний закатный спад концентрации озона. Помимо относительно медленных вариаций с периодом 5–10 мин, заметных на рис. 2, обнаруживаются более быстрые пульсации с периодом порядка минуты, характерные для солнечных дней с повышенной концентрацией озона. Частотный анализ, выполненный для большого числа аналогичных эпизодов, не выявил какой-либо доминирующей частоты или нескольких частот; наблюдается несколько максимумов в диапазоне 50–400 с; как правило, диапазон 100–200 с более выделен.

Рис. 3 представляет пример отрезков регистрограмм и соответствующих периодограмм, полученных по методу наименьших квадратов Ломб-Скаргла, в версии Жанга [8].

Места регистрации озона несколько раз менялись, но характер тонкой временной структуры оставался неизменным, что позволяет отклонить подозрения на возможность существования какого-либо локального источника разрушения озона. Авторы предполагают, что объяснение следует искать в нелинейном характере процессов генерации и разрушения озона в фотохимическом смоге. Изменения соотношения озона и NO, освещенности или других факторов могут приводить к прекращению генерации озона и началу его поглощения, причем этот процесс может носить характер взрывной неустойчивости.

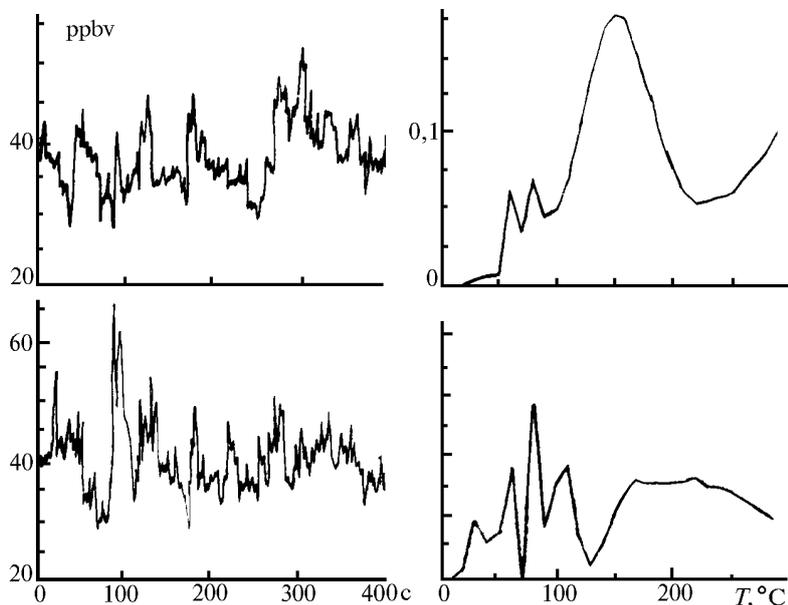


Рис. 3. Слева: два примера регистрации быстрых вариаций концентрации озона на ст. Кампинас с разрешением 1 с и протяженностью 400 с. Справа – периодограммы для этих интервалов регистрации

Естественно предположить, что возникновение неустойчивости, например при заходе Солнца, не будет одновременным на большой площади, но примет вид отдельных ячеек или струй и их чередование и может создать наблюдаемую структуру иррегулярных пульсаций.

2. Суточные вариации приземного озона в высоких широтах

Эксперименты проводились в районе г. Апатиты (Мурманская область) в течение 1993–1995 гг. [9,10]. В результате было установлено, что вблизи источников загрязнения атмосферы окислами азота и углеводородами (автомобильное движение, тепловые станции и т.п.) при температурах ниже 15°C, характерных для высокоширотных районов, происходит уменьшение содержания озона на десятки процентов. В определенных условиях (штиль, приземная температурная инверсия) озон может уничтожаться полностью, т.е. в этом смысле возникает ситуация, обратная той, которая наблюдается в средних широтах. При этом область урбанистического воздействия города со 100-тысячным населением простирается в среднем примерно до 10 км от границы города, а протяженность факела загрязнения атмосферы окислами азота может составлять десятки километров.

На больших удалениях от источников загрязнения и при наличии достаточно сильной солнечной ультрафиолетовой радиации возможна заметная генерация озона. В этом случае экспериментальные измерения, проведенные в двух квазионовых районах Кольского п-ва (один пункт на расстоянии примерно 15 км на юго-запад от Апатитов, другой примерно в 7 км к востоку от пос. Ловозеро с населением порядка 10 тыс. чел.) в разные сезоны, указывают на то, что в течение полярного дня основным процессом, определяющим содержание приземного озона, является фото-химическая генерация УФ-излучением Солнца. Переход атмосферы в режим полярной ночи приводит к сильному ослаблению суточной вариации содержания озона в приземном слое. Иллюстрацией сказанному служит рис. 4. Здесь кривая 1 соответствует летнему периоду в первом пункте, 2 и 3 – зиме в первом и втором пунктах соответственно, 4 и 7 описывают суточные вариации функции интенсивности прямого солнечного излучения для июня-июля и марта соответственно, 5 и 6 построены для первого пункта по мартовским измерениям 1993 и 1994 г. соответственно.

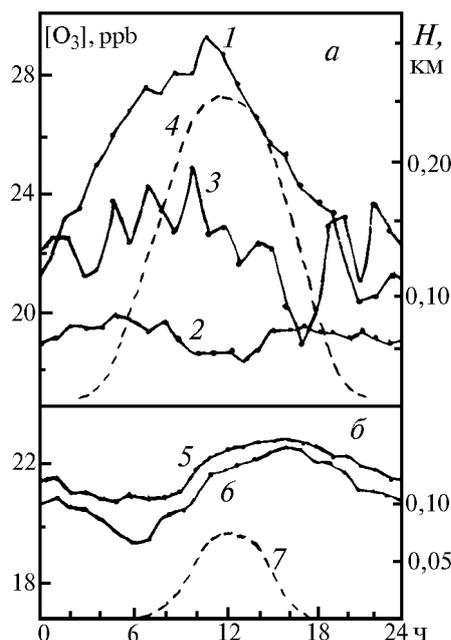


Рис. 4. Средние суточные вариации содержания приземного озона в разные сезоны в арктическом регионе

Таким образом, в условиях полярного дня фотохимическая генерация озона настолько превосходит процессы поглощения и переноса, что на квазионовой станции в суточной вариации озона почти отсутствует ночное уменьшение содержания озона, наблюдаемое в средних широтах [11].

1. Dobson G. M. B. // Quart. Journ. Royal Met. Soc. 1973. V. 99. P. 599–607.
2. Reid S. J., Vaughan G. // Quart. Journ. Royal. Met. Soc. 1991. V. 117. P. 825–844.
3. Frits D. C., Rastogi P. K. // Radio Sci. 1985. V. 20. N 6. P. 1247–1277.

4. Reid S. J. et al. // Geophys. Res. Lett. 1994. V. 21. N 13. P. 1479–1482.
5. Lazutin L. et al. // Atmosph. Environment. 1996. N. 15 P. 2729–2738.
6. Kondo Y. et al. // Geophys. Res. Lett. 1994. V. 21. N 13. P. 1247–1250.
7. Delany et al. // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. P. 2425–2429.
8. Zhang et al. // J. Atm. Terr. Phys. 1993. 55. P. 355–375.
9. Белоглазов М.И., Васильев А.Н., Ларин В.Ф., Румянцев С.А. // Известия РАН. Сер. ФАО. 1996. Т. 32. N 1. С. 89–95.
10. Larin V. F., Beloglazov M. I., Vasiljev A. N., Roumjantsev S. A. // Proc. 22nd European meeting on atmospheric studies by optical methods. Finland. 1995. P. B–8.
11. Егоров В.И., Ровинский Ф.Я. // Журнал экологической химии. 1992. N 2. С. 21–26.

Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН,
г. Апатиты

Поступила в редакцию
5 апреля 1996 г.

M. I. Beloglazov, L. P. Borovkov, L. L. Lazutin. About Some Peculiarities of the Atmospheric Ozone Spatial-Temporal Structure.

The stratospheric ozone short variations are considered which were obtained using the balloon data from the polar - vortex boundary as well as the diurnal and shorter variation of the surface ozone in the polar and tropical regions.