

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.230-233

КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В АПАТИТАХ В АНОМАЛЬНО ЖАРКИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА

В.И. Демин, В.А. Шишаев

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия, e-mail: demin@pgia.ru

Аннотация. В июле и августе 2018 г на территории Мурманской области установился период аномально жаркой погоды. Максимальные концентрации озона в г. Апатиты в приземном слое достигали $50-57$ млрд⁻¹, что выше средних многолетних значений. Жаркая сухая погода, интенсивные лесные пожары благоприятствовали появлению высоких концентраций озона. Однако концентрации не достигли значений, которые обычно наблюдаются во многих районах Европы в загрязненном воздухе во время волн жары. Фотохимические процессы не получили заметной интенсификации даже в наиболее благоприятных для них метеорологических условиях.

Введение

Наблюдения за концентрацией озона в приземном слое (ПКО – приземная концентрация озона) являются составной частью мониторинга загрязняющих веществ в большинстве зарубежных стран. В 2016 г. в странах ЕС информация о ПКО поступала с более чем 2000 станций. Такое внимание к озону обусловлено его свойствами сильного окислителя и участием в большом числе химических реакций. ПКО является важным показателем качества воздушной среды.

Мониторинг приземного озона на территории Мурманской области осуществляется с 1990-ых гг. К настоящему времени накоплен большой массив данных о его содержании и пространственно-временных вариациях как в фоновых районах области (включая горные и прибрежные морские), так и в условиях городского загрязнения. Многолетние исследования показывают, что ПКО в регионе далеки от предельно-допустимых концентраций (ПДК), установленных Всемирной организацией здравоохранения (средняя за 8-часов концентрация 50 млрд⁻¹) или разовых (средних за 10-15 мин) ПДК, принятых в РФ (80 млрд⁻¹). Это не позволяет его считать опасным загрязнителем атмосферного воздуха. Однако ситуация может измениться из-за изменений климата и наблюдаемых трендов к повышению содержания озона в тропосфере.

Целью данной работы является анализ ПКО в Мурманской области в период аномально жаркой погоды, установившейся летом 2018 г.

Использованные данные

В работе использованы данные измерений ПКО в г. Апатиты (Академгородок), осуществляемые Полярным геофизическим институтом с помощью УФ-озонметра DASIBI/1008AH (США). Измерения проводятся с минутным разрешением.

Результаты и обсуждение

Наиболее надежный и, одновременно, самый длительный (с 1999 г.) ряд значений ПКО получен на геофизической обсерватории Полярного геофизического института вблизи поселка Ловозеро. Он характеризует ПКО в фоновых условиях. Правомочность использования измерений в Ловозеро для оценки ПКО для всего региона была проверена в серии экспериментов, включающая трассовые измерения. Сравнивая изменения абсолютной разности показаний перемещаемого и стационарного озонметров, было обнаружено, что в однородных воздушных массах на расстояниях до 150-200 км ПКО меняются в пределах $2-4$ млрд⁻¹, что практически находится на уровне инструментальной ошибки измерений. Заключение о пространственной однородности, в первую очередь, касается максимальных ПКО. Минимальные ПКО характеризуются гораздо большей изменчивостью, так как отражают уровень локального антропогенного загрязнения, которое в регионе проявляется в разрушении озона, и местных особенностей турбулентного обмена (микроклимат). Это подтверждает и серия параллельных измерений, проведенных в Ловозеро и в Апатитах в 2002-2004 гг.: максимальные ПКО в г. Апатиты, его пригородах и в удаленном от него на 85 км Ловозеро практически одинаковы [1]. Присутствие в городском воздухе антропогенных загрязнений проявляется в пониженных значениях ПКО в периоды устойчивой стратификации и интенсивной работы автотранспорта; при скоростях ветра более 3 м/с, ночью и в выходные дни, а также при неустойчивой стратификации ПКО в городе близки к фоновым значениям.

Статистические характеристики ПКО в Ловозеро представлены на рис. 1. В 2013 г. измерения в Ловозеро по техническим причинам были прекращены. Фоновые измерения с тех пор продолжаются в достаточно ограниченном объеме. Однако доступные для сравнения данные (среднесуточные, среднemesячные) не показывают каких-то значимых изменений в период с 2013 г. Это позволяет считать оценки, полученные в 1999-2013 гг. актуальными и в настоящее время, в т.ч. и для г. Апатиты.

Озон в приземном слое появляется за счет турбулентного переноса из более высоких слоев атмосферы и благодаря его фотохимической генерации. Согласно данным вертикального озонзондирования, его содержание практически всегда возрастает (часто в несколько раз) от поверхности земли к верхней границе пограничного слоя (1...2 км) примерно до значений 50-70 млрд⁻¹. Интенсивное турбулентное перемешивание вызывает выравнивание вертикального профиля озона в пределах слоя перемешивания так, что максимальные ПКО приближаются к концентрации озона на его верхней границе. По этой причине ПКО до 50-70 млрд⁻¹ можно объяснить суточной динамикой процессов в пограничном слое атмосферы. Эпизоды с более значительными ПКО (свыше 100 млрд⁻¹) характерны для активной фотохимической генерации озона, возникающей при определенных метеорологических условиях (высокая температура, застой воздуха, высокий уровень солнечной (ультрафиолетовой) радиации) с участием окислов азота (практически всегда антропогенного происхождения) и углеводородов, которые могут быть как естественного, так и антропогенного происхождения.

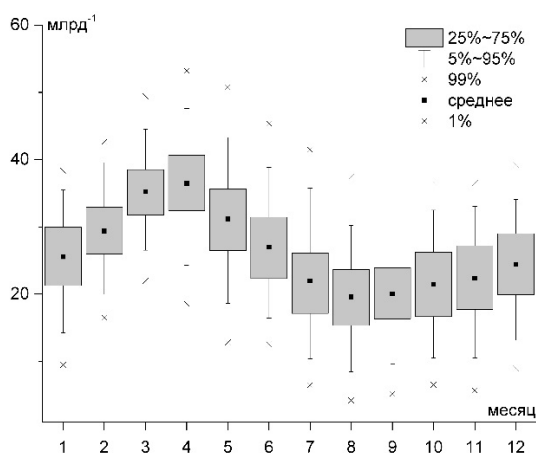


Рисунок 1. Распределение среднечасовых ПКО в Ловозеро, 1999-2013 гг.

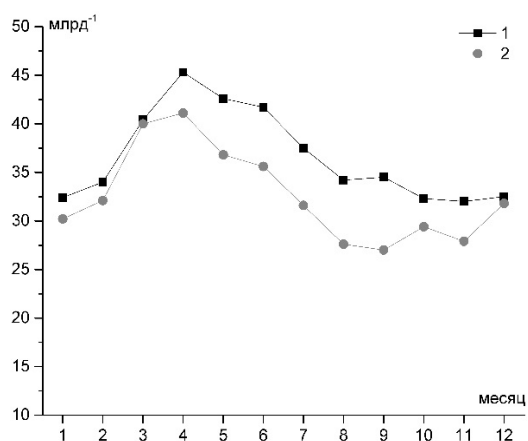


Рисунок 2. Годовой ход средних максимальных концентраций озона на верхней границе слоя перемешивания (1) и максимальных ПКО в Ловозеро (2), 1999-2006 гг.

С использованием данных вертикального озонзондирования в Соданкуле (Финляндия) и значений максимальных высот слоя перемешивания над г. Апатиты в работе [2] были рассчитаны концентрации озона на верхней границе слоя перемешивания. Было показано, что регистрируемые максимальные ПКО в среднем не превышают его концентраций на верхней границе слоя перемешивания. Это позволило сделать заключение о доминирующей роли турбулентного механизма в формировании поля приземного озона в регионе. Среди возможных причин слабости фотохимических процессов – низкие температуры воздуха, недостаток ультрафиолетовой радиации, малая концентрация предшественников озона в атмосфере. 2018 г.

Ситуация могла измениться летом 2018 г. В течение июля Кольский п-ов находился в основном в малоградиентном барическом поле или под влиянием антициклонов, что способствовало установлению в регионе жаркой и сухой погоды и с появлением целого ряда климатических рекордов. Среднemesячная температура воздуха июля по Мурманской области составила от +13.9° до +19.6°С, что выше климатической нормы на 3.3–6.1°С. В г. Мурманск в течение 6 дней подряд максимальная температура воздуха была +30° и выше. В г. Апатиты с 10 июля по 2 августа за исключением 3 дней температура воздуха днем превышала 25°С. В июле были установлены абсолютные максимумы температуры воздуха на ряде станций, включая и г. Апатиты (+31.0°С). Август продолжил теплую аномалию в регионе, хотя ее величина и оказалась меньше: среднemesячная температура воздуха по Мурманской области составила от +11.3° до +15.0°С, что выше климатической нормы на 1.2 – 2.7°С. Помимо высокой температуры в этот период наблюдалось также усиленное (относительно климатической нормы) поступление солнечной радиации (на 50 и более %).

По наблюдениям на российских и зарубежных станциях, необходимым (но не достаточным) условиями для возникновения высоких ПКО практически всегда являются приземные температура

выше 27–28°C, относительная влажность менее 50% и скорость ветра в приземном слое не более 3 м/с. Исходя из этого, в июле-августе можно было ожидать появления в регионе повышенных ПКО (рис. 3).

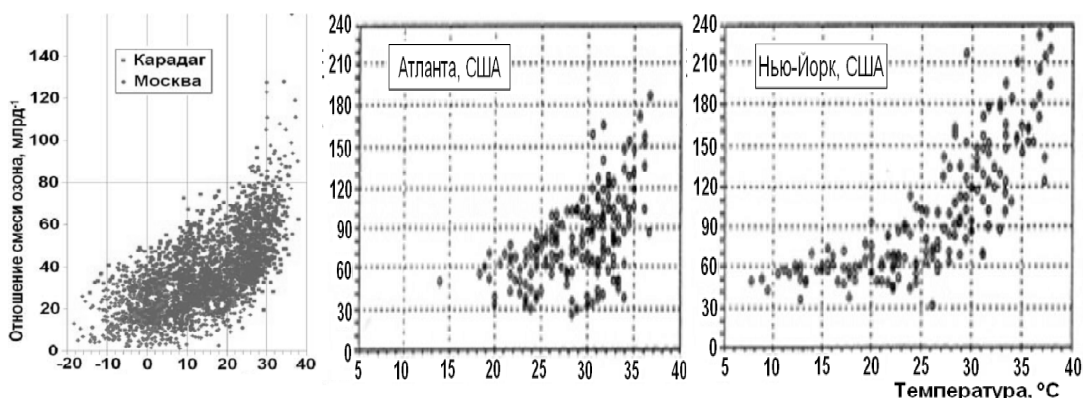


Рисунок 3. Поле рассеяния максимального суточного отношения смеси озона в зависимости от максимальной суточной температуры в Москве и в Крыму (Карадаг) и в двух мегаполисах США [3].

Важно также, что установившаяся в регионе жаркая и сухая погода в июле и начале августа сопровождалась возникновением большого количества лесных и тундровых пожаров с объявлением режима чрезвычайной ситуации с 19 июля по 10 августа. Среди разнообразных продуктов горения биомассы, попадающих в атмосферу, следует особо выделить оксид углерода (CO) и оксиды азота (NO и NO₂ или, так как они постоянно переходят друг в друга, – NO_x). По данным [4] при сгорании 1 тонны растительной массы в атмосферу выделяется 125 кг оксида углерода, 12 кг углеводородов, 2 кг оксида азота.

Недостаток NO_x считается одной из причин слабой фотохимической генерации озона в фоновых районах Арктики. Так, по имеющемуся в настоящее время ряду наблюдений за концентрациями азотсодержащих газов, в фоновых условиях высоких широт концентрация NO_x не превышает 0.01-0.05 млрд⁻¹ [6], что явно недостаточно для начала фотогенерации озона [7]. Увеличению содержания NO_x сопутствует рост концентрации озона в тропосфере.

С другой стороны, поступающий в атмосферу во время лесных пожаров CO отвечает за более чем 50% гибели гидроксидных радикалов OH [5], являющихся эффективным озоноразрушающим катализатором. Увеличение концентрации CO ведет к выведению большего числа радикалов OH, прямым следствием чего становится снижение эффективности соответствующего каталитического цикла разрушения озона. Усиленная эмиссия оксида углерода способствует росту содержания тропосферного озона (в тропосфере, богатой NO_x).

Измерения в московском регионе во время жаркой погоды лета 2010 г. показали: если до появления сильных пожаров максимальные ПКО не поднимались выше 80–100 млрд⁻¹, то после появления продуктов горения они увеличились в 1.5–2.5 раза. Можно было предположить, что в период аномально жаркой погоды 2018 г. и многочисленных лесных и тундровых пожаров на Кольском п-ове также могли существенно интенсифицироваться фотохимическая генерация озона.

Измерения, проведенные в г. Апатиты показали, что максимальные ПКО в этот период действительно оказались выше характерных многолетних значений (рис. 4). Тем не менее, ПДК превышены не были. Максимальная среднечасовая концентрация озона только однажды – 14 июля в послеполуденные часы превысила 50 млрд⁻¹, а максимальная разовая (средняя за 10-15 минут) в тот же день составила 57 млрд⁻¹. Несмотря на очень благоприятные метеорологические и «химические» условия, наблюдаемые ПКО оказались не настолько высокими, чтобы можно было уверенно говорить об активизации процесса фотохимической генерации озона.

В частности, такие ПКО могли быть вызваны и более активным турбулентным переносом с более высоких уровней в атмосфере: при жаркой погоде слой перемешивания, как правило, захватывает более мощный слой и его верхняя граница поднимается выше. Интересно также, что максимальные ПКО в июле в городе

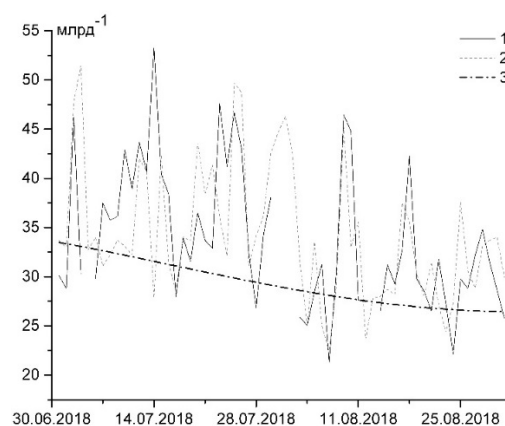


Рисунок 4. Максимальные за сутки часовые ПКО в Апатитах (1) и Inari Raja-Jooseppi (2), 3 – средние многолетние максимальные ПКО в Ловозеро.

оказались близки к значениям, полученных на ближайшей фоновой станции, находящейся в 230 км к северо-западу от Апатит на территории Финляндии (Inari Raja-Jooseppi). Присутствие в городском воздухе антропогенных соединений (например, NO_x), участвующих в образовании озона, никак не отразилось на его концентрации.

Заключение

В июле и начале августа 2018 г на территории Мурманской области установился период жаркой и сухой погоды. Максимальные температуры воздуха превышали $+30^\circ\text{C}$. Концентрации озона в г. Апатиты в приземном слое оказались выше своих характерных многолетних значений (до 57 млрд^{-1} при средних максимальных около $30\text{-}35 \text{ млрд}^{-1}$). Однако фотохимические процессы не получили заметной интенсификации даже в наиболее благоприятных для них метеорологических условиях.

Если рассматривать аномально жаркое лето 2018 г. как прообраз климатических условий будущего в случае продолжения наблюдаемого потепления климата, следует предположить рост ПКО. Однако в ближайшие десятилетия они не достигнут в регионе опасных значений и проблема повышенного содержания озона в приземном слое не появится.

Литература

1. Демин В.И., Белоглазов М.И., Еланский Н.Ф. Некоторые результаты мониторинга приземного озона на Кольском полуострове (1999-2003 гг.) // Метеорология и гидрология. 2005. № 10. С. 10–20.
2. Демин В.И., Карпечко А.Ю., Белоглазов М.И., Кюро Е. О роли турбулентного перемешивания в формировании приземных концентраций озона на Кольском полуострове // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 5. С. 448–450.
3. Звягинцев А.М. Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю. и др. Исследования и мониторинг приземного озона в России // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 365. С. 56–70.
4. Добрых В.А., Захарычева Т.А. Дым лесных пожаров и здоровье. – Хабаровск: Издательство ГОУ ВПО Дальневосточный государственный медицинский университет, 2009. – 201 с.
5. Кароль И.Л., Киселев А.А. Что несут лесные пожары атмосфере // Природа. 2007. № 5. С. 40–46.
6. Nonrath R.E., Jaffe D.A. Measurement of nitrogen oxides in the Arctic // Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. P.611–614.
7. Wayne R.P. Chemistry of atmospheres. - Oxford: Claredon Press, 1991. 448 p.