

УДК 504.3.054+551.510.41

Режим приземного озона на станции Карадаг в Крыму по наблюдениям в 2009–2018 гг.

И.Ю. Шалыгина¹, И.Н. Кузнецова¹, В.А. Лапченко²

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, г. Москва, Россия

² Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, пгт Курортное, Республика Крым, Россия
shalygina@mecom; muza@mecom.ru

Представлены усредненные за десятилетний период 2009–2018 гг. характеристики сезонного и суточного ходов приземной концентрации озона (ПКО) на побережье Крыма, на станции фоновое экологического мониторинга Карадаг ФГБУН «КНС-ПЗ РАН». Обсуждается межгодовая изменчивость и тенденция средних годовых ПКО. Установлено, что режим приземного озона на станции близок к характеристикам ПКО на равнинных станциях умеренных и южных широт Европы, но отличается большими по величине концентрациями из-за преобладания повышенных концентраций в темное время суток. В годовом ходе наблюдаются два максимума ПКО: в апреле и августе, годовой минимум ПКО наблюдается в период с октября по февраль. Средний суточный ход ПКО зимой практически не выражен; в другие сезоны суточная амплитуда ПКО составляет в среднем 15 мкг м⁻³, летом – около 20 мкг м⁻³. Наиболее высокие ПКО, наблюдаемые в сухую жаркую погоду, имеют адвективную природу. Обсуждается аномально высокий уровень ПКО в 2011 г. и возможные причины этого явления.

Ключевые слова: приземный озон, малые газы, составляющие атмосферы, природный заповедник, сезонный и суточный ход, предельно допустимые концентрации

Surface ozone regime at Kara Dag station in Crimea according to observations in 2009-2018

I.Yu. Shalygina¹, I.N. Kuznetsova¹, V.A. Lapchenko²

¹ Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;

² T.I. Vyazemsky Kara Dag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS, Republic of Crimea, Russia
shalygina@mecom; muza@mecom.ru

The characteristics of seasonal and daily variations of surface ozone values on the coast of Crimea (at Kara Dag background environmental monitoring station) averaged over the ten-year period (2009-2018) are presented. The interannual variability and trends in the average annual surface ozone are discussed. It is found that the surface ozone regime at the station is close to the surface ozone characteristics at the lowland stations in the middle and low latitudes of Europe. However, it is characterized by the higher concentrations due to the prevalence of increased concentrations in the dark. In the annual course, there are two maxima of surface ozone: in April and August; the annual minimum of surface ozone is observed in October to February. The average daily variations in surface ozone are almost not pronounced in winter; in the other seasons,

the average daily surface ozone amplitude is $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and it is equal to $\sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in summer. The highest surface ozone values observed in dry hot weather are of advective nature. An abnormally high surface ozone level in 2011 and possible causes for this phenomenon are discussed.

Keywords: surface ozone, trace gases, nature reserve, seasonal and daily variations, maximum permissible concentrations

Введение

Вариации приземной концентрации озона на различных временных масштабах, их причины, сравнительный анализ режима приземного озона на фоновой территории и в районах, подверженных антропогенному влиянию, остаются актуальной темой научных исследований. В нашей стране продолжительные ряды данных измерений приземной концентрации озона (ПКО) на равнинных станциях имеются лишь в нескольких городах (Томск, Москва, Санкт-Петербург, Апатиты), поэтому обобщения многолетних наблюдений представляют научную ценность [2, 6, 8, 9]. Данные мониторинга ПКО в местах массового отдыха – на морском побережье представляют особый интерес. В [22] обсуждаются режимные характеристики ПКО на некоторых станциях в прибрежных районах Черноморского бассейна и Балканского полуострова (Салоники, Бар, Варна, Бургас, Карадаг); в частности, описаны общие черты суточного хода ПКО, отличия сезонных вариаций, зависимость озонового режима от степени антропогенного влияния. Значимым результатом исследования [22] стал вывод о похожих синоптических условиях формирования эпизодов аномального повышения уровней ПКО в 2011 году и последовательности их временного возникновения.

Наблюдения за приземным озоном на станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ) Карадаг по многим причинам являются уникальными. Станция мониторинга расположена в Карадагском природном заповеднике, в горном массиве на северо-восточном склоне горы Святая ($44^{\circ}55'$ с. ш., $35^{\circ}14'$ в. д.) на высоте 180 м над уровнем моря в километре от береговой зоны на юго-восточном побережье Крымского полуострова. Измерения проводятся на удалении от антропогенных источников загрязнения атмосферы – в 20 км от г. Феодосия и в 100 км от Симферополя. Пилотные исследования ПКО на СФЭМ Карадаг проводились с 1993 по 1995 год. Измерения были возобновлены в конце 2005 г., в последнее десятилетие (2009–2018 гг.) они проводятся на регулярной основе, что позволило провести анализ репрезентативного ряда и сравнение с ранее опубликованными результатами анализа данных за одно-, двух- и пятилетний периоды осреднения [19, 20, 22].

Использованные данные

В первые годы для измерений ПКО на СФЭМ Карадаг использовались автоматические газоанализаторы «3.02 П-А» (ОПТЕК, Россия)

и «Лань» (АЛЬМАК, Украина), основанные на хемиллюминесцентном методе регистрации; с 2013 г. используется оптический метод регистрации с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA, Япония) с погрешностью измерений не более 25 %. Этот метод измерения озона является относительным; для получения надежных данных прибор периодически калибруется с помощью озono-воздушных смесей. Отбор проб осуществляется с использованием тефлоновых трубок на высоте 2 м от поверхности Земли.

Для исследований использованы данные непрерывной регистрации ПКО в 2009–2018 гг. Ряды наблюдений являются однородными, практически без пропусков; исключение составляет 2009 г. с отсутствием данных за первые 4 месяца, поэтому данные этого года не использовались для анализа средних годовых концентраций озона. Используемые метеорологические характеристики (температура, влажность воздуха) являются данными наблюдений на СФЭМ, которые были получены с помощью метеостанций WS-600 и ТРОПОСФЕРА-Н.

Результаты и их обсуждение

Средняя годовая приземная концентрация озона на СФЭМ Карадаг, осредненная за период 2010–2018 гг., составила 67 мкг м^{-3} при вариациях в отдельные годы от 59 до 81 мкг м^{-3} (рис. 1). Наибольшие значения средней годовой ПКО наблюдались последовательно в 2011 г. (81 мкг м^{-3}) и в 2012 г. (73 мкг м^{-3}). В 2013–2015 гг. средние годовые ПКО на станции Карадаг были наименьшими, минимум зафиксирован в 2014 г. и составил 59 мкг м^{-3} . Позже наблюдался относительно стабильный ход средних годовых ПКО. Межгодовая изменчивость средних годовых ПКО начиная с 2013 г. не превышала $\pm 6 \text{ мкг м}^{-3}$.

Совместный анализ средней годовой ПКО и осредненных за год температуры и влажности воздуха показал отсутствие прямой связи между ними. Вместе с тем, как видно на рис. 1, наблюдавшееся максимальное отклонение ПКО от средней (17 %) в 2011 г. совпало с наименьшей за десять лет среднегодовой температурой. Эти факты, по-видимому, указывают на проявление воздействия на озоновый режим малоизученных факторов; некоторые из них обсуждаются ниже.

В первую очередь необходимо отметить, что 2011 год вошел в историю озонового мониторинга как год возникновения и продолжительного существования (февраль – апрель) отрицательной аномалии общего содержания озона (ОСО) в атмосфере в высоких широтах российского сектора Арктики и в Сибири [27]. По анализу пространственных и количественных характеристик ОСО были сделаны обоснованные выводы о впервые наблюдавшейся над российским Севером озоновой «мини-дыре» [1]. При этом, согласно данным (<http://www.temis.nl/>), над Черноморским бассейном и прилегающими территориями выраженных аномалий ОСО не наблюдалось.

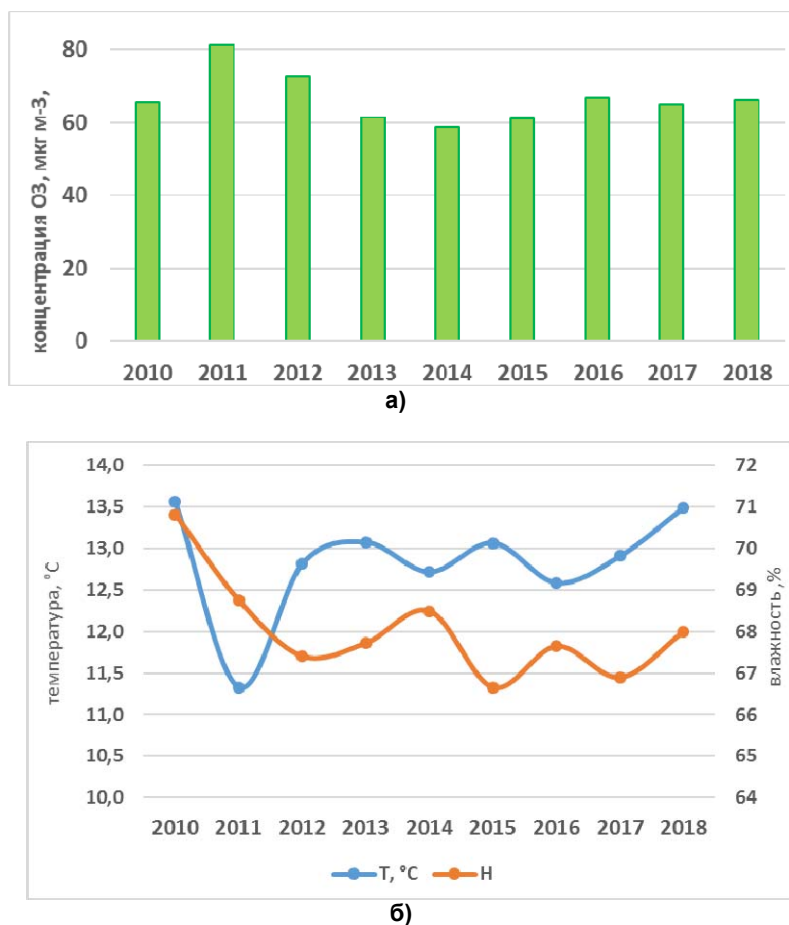


Рис. 1. Средняя годовая ПКО (а), относительная влажность и температура (б) на СФЭМ Карадаг в период 2010–2018 гг.

Fig. 1. Average annual surface ozone concentration (а), relative humidity and temperature (b) at the Karadag in the period 2010–2018.

Лишь в октябре 2011 г., а также в январе и марте 2012 г. ОСО здесь в течение нескольких дней превышало климатическую норму на 24–36 % [14, 15]. Важно отметить и то обстоятельство, что в 2016 г., который признан самым теплым годом за все время метеонаблюдений в целом по полушарию, над северными регионами России зимой также возникла значительная аномалия ОСО, хотя меньшая по продолжительности и глубине, чем была в 2011 г., но сигнал этого события не проявился в данных ПКО на Карадаге в 2016 году.

Заметим, что в 2011 году повышенный уровень среднемесячных значений ПКО регистрировался большую часть года, хотя решающий вклад внесли ПКО в период июнь – декабрь с положительными отклонениями

32–48 % от многолетней нормы. В табл. 1 приводятся отклонения средней месячной ПКО от средней многолетней величины для каждого месяца; здесь же представлены отклонения средней за месяц температуры от осредненной за период 2009–2018 гг. Как видно, тенденция положительных отклонений средней месячной ПКО сохранялась все первое полугодие 2012 г., в феврале – мае положительная аномалия составила 20–25 %.

Таблица 1. Отклонение средних месячных значений ПКО (ΔO , %) и температуры (ΔT , °C) от средних многолетних величин на СФЭМ Карадаг
Table 1. Deviation of average monthly values of surface ozone concentration (ΔO , %) and temperature (ΔT , °C) from multiyear averages at Karadag

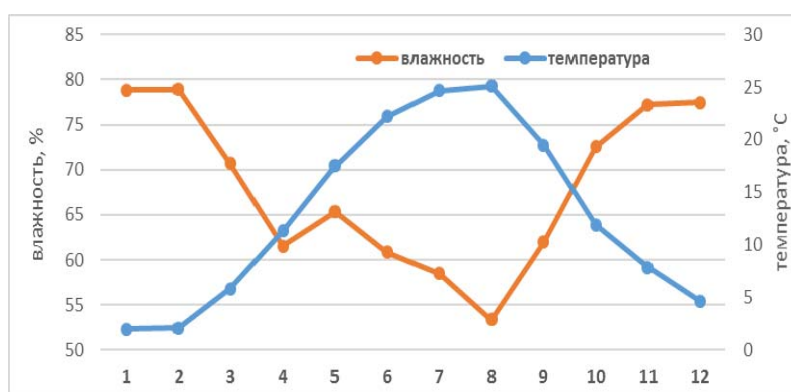
Год	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT	ΔO	ΔT
2010	-	-1	-	2	-	-1	-	-1	-	0	-17	1	-11	1	5	2	-3	0	-12	-2	27	6	3	2
2011	-2	-1	1	-4	9	-3	4	-3	9	-2	31	-1	32	0	28	-2	40	0	37	-1	32	-4	48	1
2012	12	-1	25	-7	20	-3	25	2	22	2	14	1	15	1	2	-1	-1	1	1	5	-19	1	-24	2
2013	-8	2	-20	2	-10	0	-13	1	5	3	3	0	-7	0	-8	0	-16	-3	-14	-1	-1	2	-3	-2
2014	-10	0	-9	1	-13	2	-12	0	-11	0	-9	-1	-14	0	-2	0	-20	-1	-7	-1	-19	-2	-17	0
2015	0	1	-3	0	-18	0	-7	-1	-6	-1	-6	0	-7	0	-13	0	-5	3	-11	0	-1	1	-18	0
2016	-	-1	-	3	-	1	-	2	-	-1	12	0	3	0	-4	1	-8	-1	-11	-2	-3	-2	3	-5
2017	10	-2	17	-1	-1	2	-1	-1	-10	-2	-24	0	-3	-1	-6	0	5	1	2	1	-10	-1	9	3
2018	-2	1	-10	1	13	0	4	3	-10	2	-3	0	-9	0	-4	1	7	0	15	3	-6	-2	0	-1

Обращает на себя внимание совпадение положительных аномалий ПКО с отрицательными температурными отклонениями в 2011 г., однако в следующем году такое явление наблюдалось только первые три месяца. Два других эпизода значительных среднемесячных значений ПКО (отрицательная в апреле-мае 2010 г. и положительная в те же месяцы в 2016 г.) в этой работе не обсуждаются из-за невысокого доверия к данным в указанные месяцы, наблюдавшимися либо после трехмесячного перерыва, либо после калибровки.

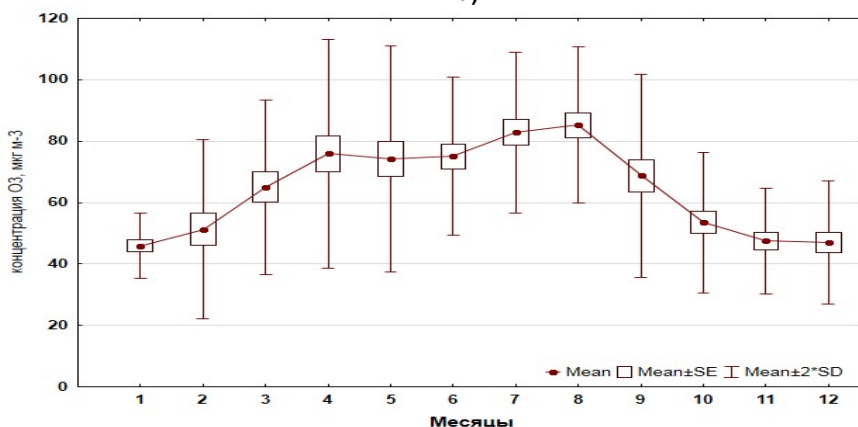
Результаты корреляционного анализа связи средних за месяц аномалий ПКО с температурными отклонениями подтверждают отсутствие статистически достоверной зависимости указанных характеристик. Этот вывод не противоречит выраженной связи между максимальной за сутки температурой приземного воздуха и суточным максимумом ПКО, указанной в ряде работ [3, 7, 18 и др.], а лишь указывает на необходимость учета физической природы явлений при выборе временных масштабов изменчивости сопоставляемых метеорологических характеристик и газовых компонентов атмосферного воздуха.

Сезонный ход приземной концентрации озона на СФЭМ Карадаг, рассчитанный по данным за 10 лет, в общих чертах совпадает с полученным ранее на более коротких выборках [20]. В апреле и августе в

прибрежной зоне Черноморского побережья наблюдаются два главных максимума ПКО (78 и 88 мкг м^{-3}); наименьшие средние месячные ПКО приходятся на осенне-зимний сезон с годовым минимумом около 47 мкг м^{-3} (рис. 2). Апрельский максимум, как и на других прибрежных и материковых равнинных станциях [5, 10–13, 16, 23–25] обусловлен увеличением интенсивности стратосферно-тропосферного обмена на фоне годового максимума ОСО [15, 18].



а)



б)

Рис. 2. Средняя за месяц температура и относительная влажность (а), ПКО (б). Карадаг, 2009-2018 гг. В боксовых диаграммах показаны: в центре – средняя за месяц ПКО, размер бокса \pm стандартная ошибка, вертикальные линии ± 2 СКО.

Fig. 2. Monthly average temperature and relative humidity (a), surface ozone concentration (b). Karadag, 2009-2018 In the box diagrams are shown: in the center – the average for the month surface ozone concentration, the size of the box \pm standard error, vertical lines ± 2 standard deviation.

Летний максимум ПКО на Карадаге формируется в августе; он совпадает с годовым максимумом приземной температуры и минимумом относительной влажности. Превышение летнего максимума над весенним обусловлено образованием озона в результате фотохимических реакций на пике температуры воздуха и ультрафиолетовой облученности при наличии в воздухе предшественников озона [3, 18]. Как можно судить по приведенным на рис. 2 характеристикам, в отдельные годы наблюдается смещение годового максимума на весну (2016 г.), либо явного максимума не образуется (2012, 2013 гг.), причиной чего, очевидно, служат особенности крупномасштабных процессов в атмосфере.

Суточный ход ПКО. Осредненный за 10 лет (2009–2018 гг.) суточный ход ПКО на Карадаге хорошо согласуется с полученными ранее результатами [20, 22]. В зимние месяцы суточный ход ПКО практически отсутствует, внутрисуточная амплитуда составляет около 5 мкг м^{-3} при средней за сутки ПКО около 50 мкг м^{-3} . В другие сезоны ПКО от минимума в ранние утренние часы увеличивается в послеполуденное время в среднем на 15 мкг м^{-3} , летом – почти на 20 мкг м^{-3} . Суточный минимум средней за сезон ПКО составляет осенью 50 мкг м^{-3} , весной 65 мкг м^{-3} , летом 72 мкг м^{-3} , максимальные ПКО увеличиваются, соответственно, до 66 мкг м^{-3} , 80 мкг м^{-3} и 90 мкг м^{-3} (рис. 3).

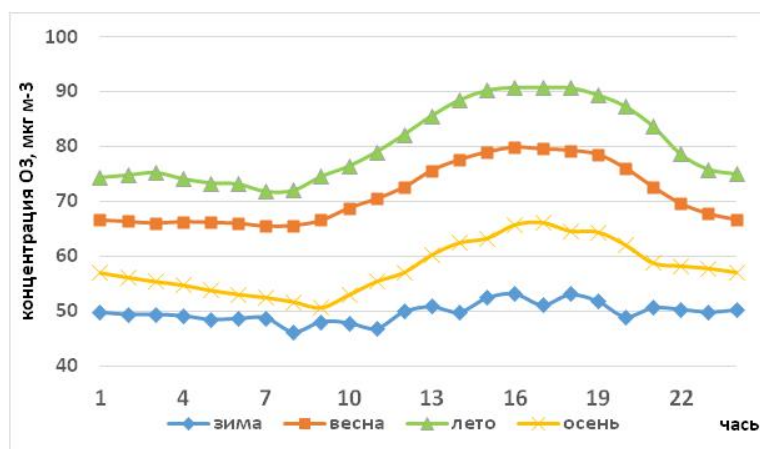


Рис. 3. Средний суточный ход ПКО на СФЭМ Карадаг. 2009–2018 гг.
Fig. 3. The average daily course of surface ozone concentration at the Karadag. 2009-2018.

Сигнатура суточного хода ПКО на СФЭМ Карадаг подобна суточному ходу на равнинных городских станциях [8, 9] и находится в противофазе с сигнатурой на высокогорных станциях [21, 26]. Отметим, что для режима ПКО на станции Карадаг, в отличие от равнинных станций, характерна меньшая амплитуда суточного хода как следствие больших

ночных концентраций озона. Повышенный уровень ночного приземного озона, по мнению авторов, является следствием особенностей окружающего ландшафта – станция расположена на открытом склоне на высоте около 200 м над уровнем моря. Именно поэтому вертикальный обмен с вышележащими слоями пограничного атмосферного слоя в темное время суток не затухает и, по-видимому, препятствует образованию термической устойчивости воздуха, так же как это наблюдается на ст. Шаджатмаз в районе Кисловодска [21]. У авторов пока нет возможности оценить вклад морского бриза в поддержании повышенных ночных ПКО; этот процесс планируется исследовать с привлечением траекторного анализа, данных о направлении и скорости приземного ветра и переноса в нижних слоях атмосферы в ближайшем пункте радиозондирования.

Эпизоды высоких концентраций приземного озона. Случаи увеличения ПКО до предельно допустимых разовых концентраций (ПДК_{м.р} – гигиенический норматив, 160 мкг м⁻³) [4] или превышения этого критерия принято называть озоновыми эпизодами. В рассматриваемое десятилетие (2009–2018 гг.) на станции Карадаг такие случаи наблюдались в 5 из 10 лет, они регистрировались с апреля по сентябрь, чаще всего – в июле и августе, и ни разу в мае и июне (табл. 2). Рекордным по количеству образования озоновых эпизодов на станции Карадаг является 2011 г.; из 19 зарегистрированных в 2009–2018 гг. случаев в этом году наблюдалось 12 озоновых эпизодов (63 %).

Отметим, в июле подобные эпизоды наблюдались пять раз в 2011 г., два раза в 2012 г. и один раз в 2013 г. В августе наибольшее число эпизодов (пять) пришлось также на 2011 г., два эпизода было в 2018 г. и один – в 2012 году.

Таблица 2. Количество дней с превышением ПДК_{м.р} на СФЭМ Карадаг в 2009–2018 гг.

Table 2. The number of days with exceeding PDK_{m.r.} at Karadag in 2009-2018

Месяц	Количество дней ПКО ≥ 160 мкг м ⁻³	Максимальная за сутки ПКО, мкг м ⁻³
Апрель	1	181 (2016 г.)
Июль	8	182 (2011 г.)
Август	8	195 (2018 г.)
Сентябрь	2	170 (2011 г.)

Вблизи станции Карадаг отсутствуют значимые источники антропогенного загрязнения воздуха. Все озоновые эпизоды наблюдались при метеорологических условиях, благоприятных для интенсивного фотохимического образования озона – в сухую жаркую погоду при поступлении воздушных масс, прошедших над районами эмиссий предшественников. Особенно ярким примером влияния удаленных от станции мониторинга

источников загрязнений является зафиксированный 25 августа 2018 г. абсолютный максимум ПКО, достигший 195 мкг м^{-3} . Столь значительная концентрация приземного озона, как показал синоптический и траекторный анализ, имеет адвективную природу, а сам озоновый эпизод, как отмечено в [17], наблюдался в воздушном шлейфе, загрязненном автомобильными выбросами в районе Керчи.

Выводы

Осредненные за десятилетний период 2009–2018 гг. характеристики сезонного и суточного ходов приземной концентрации озона на СФЭМ Карадаг в общем совпадают с соответствующими характеристиками ПКО на равнинных станциях умеренных и южных широт Европы. Вместе с тем они отличаются большими по величине средними концентрациями всех временных масштабов как следствие преобладания в темное время суток повышенных концентраций на станции, расположенной на открытом склоне на высоте почти 200 м над уровнем моря.

В среднем годовом ходе наблюдаются два максимума ПКО – в апреле и августе (78 и 88 мкг м^{-3}); наименьшие средние месячные ПКО приходятся на осенне-зимний сезон с годовым минимумом (около 47 мкг м^{-3}) с октября по февраль. Апрельский максимум обусловлен увеличением интенсивности стратосферно-тропосферного обмена на фоне годового максимума ОСО, а летний максимум ПКО, совпадающий с годовым максимумом приземной температуры и минимумом относительной влажности, формируется с участием фотохимической генерации озона.

Средний суточный ход ПКО зимой практически не выражен, внутрисуточная амплитуда составляет в среднем 5 мкг м^{-3} при средней за сутки ПКО около 50 мкг м^{-3} . В другие сезоны ПКО от минимума в ранние утренние часы увеличивается в послеполуденное время в среднем на 15 мкг м^{-3} , летом – почти на 20 мкг м^{-3} . Суточный минимум средней за сезон ПКО составляет осенью 50 мкг м^{-3} , весной 65 мкг м^{-3} , летом 72 мкг м^{-3} , максимальные ПКО увеличиваются, соответственно, до 66 , 80 и 90 мкг м^{-3} .

На СФЭМ Карадаг, удаленной от антропогенных источников, наиболее высокие ПКО, значительно превышающие средний уровень озона, обеспечиваемый вертикальным перемешиванием со свободной атмосферой, имеют адвективную природу. Озоновые эпизоды фиксируются в сухую жаркую погоду при поступлении воздушных масс, прошедших над районами эмиссий предшественников озона.

Научные сотрудники ФГБУ «Гидрометцентр России» Шалыгина И.Ю. и Кузнецова И.Н. приняли участие в написании статьи в рамках Гос. задания на 2019 год № 169-00034-19-00.

Научный сотрудник ФГБУН «КНС-ПЗ РАН» Лапченко В.А. принял участие в написании статьи в рамках темы Гос. задания №АААА-А19-119012490044-3.

Список литературы

1. Ананьев Л.Б., А.М. Звягинцев, И.Н. Кузнецова, Нахаев М.И. Особенности общего содержания озона и циркуляции в нижней стратосфере в зимне-весенний период 2011 года // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 347. С.44-60.
2. Белан Б.Д., Скляднева Т.К. Суточный ход концентрации приземного озона в районе г. Томск // Метеорология и гидрология. 2001. № 5. С. 50-60.
3. Белан Б.Д. Озон в тропосфере. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2010. 525 с.
4. ГН 2.1.6.1338-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
5. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Зоткин Е.В., Карпов А.В., Лезина Е.А., Ульяненко А.В. Вариации газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы // Известия РАН. ФАО. 2006. Т. 42, № 2. С. 176-190.
6. 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.
7. Еланский Н.Ф., Локощенко М.А., Беликов И.Б., Скороход А.И., Шумский Р.А. Закономерности изменчивости концентраций малых газовых составляющих в приземном воздухе г. Москвы // Известия РАН. ФАО. 2007. Т. 43, № 2. С.219-231.
8. Еланский Н.Ф., Локощенко М.А., Трифанова А.В., Беликов И.Б., Скороход А.И. О содержании малых газовых примесей в приземном слое атмосферы над Москвой // Известия РАН. ФАО. 2015. Т. 51, № 1. С. 39-51.
9. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: результаты десятилетних регулярных наблюдений // Известия РАН. ФАО. 2002. Т. 38, № 4. С. 486-495.
10. Звягинцев А.М. Основные периодичности временного хода приземного озона в Европе // Метеорология и гидрология. 2004. № 10. С. 46-55.
11. Звягинцев А.М., Какаджанова Г., Крученицкий Г.М., Тарасова О.А. Периодическая изменчивость приземной концентрации озона в западной и центральной Европе по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2008. № 3. С. 38-47.
12. Звягинцев А.М., Какаджанова Г., Тарасова О.А. Изменчивость приземного озона и других малых газовых составляющих атмосферы в мегаполисе и сельской местности // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 1. С. 32-37.
13. Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф., Кузнецова И.Н., Романюк Я.О., Сосонкин М.Г., Тарасова О.А. Изменчивость концентраций приземного озона в Москве и Киеве // Метеорология и гидрология. 2010. № 12. С. 26-35.
14. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Губарчук И.В., Кузнецов Г.И. Содержание озона над территорией Российской Федерации в 2011 г. // Метеорология и гидрология. 2012. № 3. С. 112-118.
15. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Губарчук И.В., Кузнецов Г.И. Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2012 г. // Метеорология и гидрология. 2012. № 5. С. 115-118.
16. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Тарасова О.А., Шалыгина И.Ю. Изменчивость концентраций основных загрязнителей воздуха в Лондоне // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 5. С. 424-434.
17. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А., Статников К.А. Содержание озона над территорией Российской Федерации в 2018 г. // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 136-142.
18. Ивлев Л.С., Сирота В.Г. Суточные вариации концентраций озона в приземном слое атмосферы. Атмосферный озон. М.: Гидрометеиздат. 1990. С. 206-210.
19. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Приземный озон в Крыму // Пространство и время. 2014. № 2(16). С. 254-257.
20. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Малые газовые составляющие атмосферы в Карадагском природном заповеднике в Крыму // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 2. С. 178-181.

21. Сенюк И.А., Еланский Н.Ф., Беликов И.Б., Лисицына Л.В., Галактионов В.В., Кортунова З.В. Основные закономерности временной изменчивости приземного озона на высотах 870 и 2070 м в районе г. Кисловодска // Известия РАН. ФАО. 2005. Т. 41, № 1. С. 78-91.
22. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Звягинцев А.М., Лапченко В.А. Приземный озон на побережьях Балканского полуострова и Крыма // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 6. С. 515-523
23. Alebić-Juretić A. Ozone levels in the Rijeka bay area, Northern Adriatic, Croatia, 1999-2007 // Int. J. Remote Sensing. January 2012. Vol. 33, no. 2. P. 335-345. doi: 10.1080/01431161.2010.490246
24. Carnero J.A.A., Bolívar J.P., de la Morena B.A. Surface ozone measurements in the southwest of the Iberian Peninsula (Huelva, Spain) // Environ. Sci. Pollut. Res. 2010. Vol. 17, no. 2. P. 355-368.
25. Kovač-Andrić E., Gvozdíć V., Herjavić G., Muharemović H. Assessment of ozone variations and meteorological influences in a tourist and health resort area on the island of Mali Lošinj (Croatia) // Environ. Sci. Poll. Res. 2013. Vol. 20, no. 8. P. 5106-5113.
26. Kuznetsova I.N., Elansky N.F., Senik I.A. Measurements of the tropospheric ozone concentration over the Kislovodsk high-altitude scientific station: synoptic-scale meteorological processes as a cause of ozone variations. // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2001. Vol. 37. Suppl. 1. P. S120-S130.
27. Manney G.L., Santee M.L., Rex M. et al. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011 // Nature. 2011. V. 478. P. 469-475.

References

1. Ananiev L.B., Zvyagintsev A.M., Kuznetsova I.N., Nakhaev M.I. Special features of total ozone content and circulations in low stratosphere during winter-spring 2011. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2012, vol. 347, pp. 44-60. [in Russ.].
2. Belan B.D., Sklyadneva T.K. Diurnal Variations of Surface Ozone Around Tomsk. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2001, no. 5, pp. 36-44.
3. Belan B. D. Ozon v troposfere. Tomsk, IOA SO RAN Publ., 2010, 525 p. [in Russ.].
4. GN 2.1.6.1338-03. Gigenicheskie normativy. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest. [in Russ.].
5. Gorchakov G.I., Zotkin E.V., Karpov A.V., Ul'yanenko A.V., Semutnikova E.G., Lezina E. A. Variations in gaseous pollutants in the air basin of Moscow. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2006, vol. 42, no. 2, pp. 156-170.
6. Demin V.I., Beloglazov M. I., Elanskii N. F. Some Results of Surface Ozone Monitoring on the Kola Peninsula (1999-2003). *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2005, no. 10, pp. 5-12.
7. Elansky N.F., Belikov I.B., Skorokhod A.I., Shumskii R.A., Lokoshchenko M.A. Variability of trace gases in the atmospheric surface layer from observations in the city of Moscow. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2007, vol. 43, no. 2, pp. 219-231.
8. Elansky N.F., Belikov I.B., Skorokhod A.I., Lokoshchenko M.A., Trifanova A.V. On contents of trace gases in the atmospheric surface layer over Moscow. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2015, vol. 51, no. 1, pp. 30-41.
9. Zvyagintsev A.M., Kuznetsova I.N. SURFACE OZONE VARIATIONS IN MOSCOW ENVIRONS: THE RESULTS OF CONTINUOUS TEN-YEAR OBSERVATIONS. . *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2002, vol. 38, no. 4, pp. 431-439.
10. Zvyagintsev A.M. Basic Characteristics of Tropospheric Ozone Variations over Europe. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2004, no. 10, pp. 36-45.
11. Zvyagintsev A.M., Kakadzhanova G., Kruchenitskii G.M., Tarasova O.A. Periodic variability of surface ozone concentration over western and central Europe from observational data. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2008, vol. 33, no. 3, pp. 159-166.

12. Zvyagintsev A.M., Kakadzhanova G., and Tarasova O.A. Variability of the Surface Ozone and other Small Atmospheric Compounds in a Megapolis and in a Rural Region. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2010, vol. 23, no. 3, pp. 209–214. DOI: 10.1134/S1024856010030097.
13. Zvyagintsev A.M., Belikov I.B., Elanskii N.F., Kuznetsova I.N., Romanyuk Ya.O., Sosonkin M. G., Tarasova O. A. Surface ozone concentration variability in Moscow and Kiev. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, vol. 35, no. 12, pp. 806–812. DOI: 10.3103/S1068373910120034.
14. Zvyagintsev A.M., Ivanova N.S., Gubarchuk I.V., Kruchenitskii G.M., Kuznetsov G.I. Ozone content over the Russian federation in 2011. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, vol. 37, no. 3, pp. 210–215. DOI: 10.3103/S1068373912030090.
15. Zvyagintsev A.M., Ivanova N.S., Kruchenitskii G.M., Gubarchuk I.V., Kuznetsov G.I. Ozone content over the Russian federation in the first quarter of 2012. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, Vol. 37, No. 5, pp. 354–356. DOI: 10.3103/S1068373912050093.
16. Zvyagintsev A.M., Kuznetsova I.N., Tarasova O.A., Shalygina I.Yu. Variations in the concentrations of main air pollutants in London. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2014, vol. 27, no. 5, pp. 417–427. DOI: 10.3103/S1068373912050093.
17. Ivanova N.S., Kruchenitskii G.M., Lapchenko V.A., Statnikov K.A. Ozone Content over the Russian Federation in 2018. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, vol. 44, no. 2, pp. 152–158. DOI: 10.3103/S1068373919020092.
18. Ivlev L.S., Sirota V.G. Sutochnye variacii koncentracij ozona v prizemnom sloe atmosfery. *Atmosfernyj ozon. Moscow, Gidrometeoizdat publ.*, 1990, pp. 206–210. [in Russ.].
19. Lapchenko V.A., Zvyagintsev A.M. Surface Ozone in Crimea. *Prostranstvo i Vremya [Space and time]*, 2014, no. 2(16). pp. 254–257. [in Russ.].
20. Lapchenko V.A., Zvyagintsev A.M. Trace Atmospheric Gases in the Karadag Nature Reserve in Crimea. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2015, vol. 28, no. 04, pp. 308–311.
21. Senik I.A., Elansky N.F., Belikov I.B., Lisitsyna L.V., Galaktionov V. V., Kortunova Z. V. Main patterns of the temporal variability of surface ozone in the region of the town of Kislovodsk at 870 and 2070 m above sea level. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2005, vol. 41, no. 1, pp. 67–79.
22. Shalygina I.Yu., Kuznetsova I.N., Zvyagintsev A.M., Lapchenko V.A. Surface ozone at coasts of the Balkans and the Crimea. *Optika Atmosfery i Okeana [Atmospheric and Oceanic Optics]*, 2017, vol. 30, no. 6, pp. 515–523 [in Russian].
23. Alebić-Juretić A. Ozone levels in the Rijeka bay area, Northern Adriatic, Croatia, 1999–2007. *Int. J. Remote Sensing*. January 2012, vol. 33, no. 2. pp. 335–345. doi: 10.1080/01431161.2010.490246
24. Carnero J.A.A., Bolívar J.P., de la Morena B.A. Surface ozone measurements in the southwest of the Iberian Peninsula (Huelva, Spain). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2010. vol. 17, no. 2, pp. 355–368.
25. Kovač-Andrić E., Gvozdrić V., Herjavić G., Muharemović H. Assessment of ozone variations and meteorological influences in a tourist and health resort area on the island of Mali Lošinj (Croatia). *Environ. Sci. Poll. Res.*, 2013, vol. 20, no. 8, pp. 5106–5113.
26. Kuznetsova I.N., Elansky N.F., Senik I.A. Measurements of the tropospheric ozone concentration over the Kislovodsk high-altitude scientific station: synoptic-scale meteorological processes as a cause of ozone variations. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2001, vol. 37, Suppl. 1, pp. S120–S130.
27. Manney G.L., Santee M.L., Rex M. et al. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature*, 2011, vol. 478, pp. 469–475.

Поступила в редакцию 10.04.2019 г.

Received by the editor 10.04.2019.