

УДК 551.510.411.35

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.49327

ПРОИСХОЖДЕНИЕ НОЧНЫХ МАКСИМУМОВ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КРЫМУ

© А. В. Холопцев, В. А. Лапченко

Работа посвящена исследованию причин и факторов появления ночных максимумов концентрации приземного озона, наблюдающихся при его измерениях на станции Фонового экологического мониторинга Карадагского природного заповедника. Показано, что вероятной причиной повышения в ночные часы фоновых концентраций озона является увеличение средних скоростей ветра в приземном слое атмосферы. Это приводит к усилению турбулентной диффузии, что активизирует вертикальную миграцию воздуха

Ключевые слова: концентрация приземного озона, суточный ход приземного озона, ночные максимумы, миграция

The work is devoted to the study of causes and factors of night maximum occurrence of surface ozone concentration observed at the station of environmental baseline monitoring in Karadag nature reserve. It is shown that the probable reason for the increase in night-time ozone concentrations is the increase of average wind speeds in the atmospheric surface layer. This leads to increased turbulent diffusion, which in turn activates the vertical migration of air

Keywords: ground-level ozone, daily variations of ground-level ozone, night maximums, migration

1. Введение

Озон – один из наиболее токсичных и химически активных компонентов приземного слоя земной атмосферы, а происходящее в последние десятилетия увеличение его концентраций ухудшает состояние биотических компонентов их ландшафтных комплексов, ощутимо влияет на протекающие в них геохимические процессы, а также в перспективе может нанести ощутимый ущерб здоровью населения многих регионов мира. Поэтому развитие представлений о причинах упомянутого процесса является актуальной проблемой физической географии, экологии, геохимии ландшафтов и биогеографии.

Наблюдаемое ныне повышение концентраций приземного озона принято связывать, прежде всего, с усилением техногенного загрязнения тропосферы. Роль в данном процессе природных факторов ныне изучена слабее, что осложняет их адекватный учет при моделировании и прогнозировании его динамики.

По указанной причине решение рассматриваемой проблемы в отношении природных механизмов увеличения концентраций приземного озона представляет значительный интерес. Так как упомянутый процесс способен наносить наибольший ущерб живой природе, немалое значение для практики представляет выявление подобных механизмов для регионов, в значительной мере сохранивших свои биологические ресурсы и уникальные ландшафты, которые

являются весьма привлекательными объектами туризма. Одним из таких регионов России является Юго-восточный Крым – прибрежно-горная юго-восточная часть Крымского полуострова, в пределах которой расположены города Феодосия, Судак и Старый Крым, а также уникальный памятник природы – Карадаг.

2. Обзор литературы

Поскольку озон является веществом 1-го класса опасности, изучению закономерностей, вызывающих изменения его концентраций в приземном слое земной атмосферы, посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов [1–5]. В них показано, что причинами изменения концентраций приземного озона могут быть процессы, участвующие в его образовании, ликвидации, либо миграции, которые, как правило, действуют совместно.

Образование озона происходит в результате присоединения к молекуле кислорода одиночного атома этого вещества. Поэтому к числу природных факторов изменчивости концентраций озона в приземном слое земной атмосферы могут относиться процессы, приводящие к образованию в нем атомарного кислорода. Среди них одним из основных является разрушение, под воздействием солнечной ультрафиолетовой (УФ) радиации, молекул кислорода, а также некоторых других веществ, присутствующих в приземном воздухе в виде газов и частиц аэрозоля.

Существенную роль в образовании приземного озона может играть также поглощение в воздушной среде различных ионизирующих излучений, потоков элементарных частиц, а также происходящие в ней электрические разряды. На территориях покрытых растительностью в образовании приземного озона может участвовать происходящий в ней фотосинтез [3, 6, 7]. Так как вследствие поглощения УФ радиации воздушной среде, ее поток уменьшается, интенсивность образования озона в приземном слое атмосферы несколько ниже, чем в ее слоях, более удаленных от земной поверхности.

При прочих равных условиях интенсивность этого процесса тем значительней, чем выше солнечная активность, больше высота солнца над горизонтом, прозрачность атмосферы и продолжительность светового дня. Его интенсивность достигает абсолютного максимума в Антарктике в летние месяцы и абсолютного минимума – в зимние. В других регионах мира интенсивность образования приземного озона летом также больше, чем зимой, причем происходит этот процесс лишь днем. Среднегодовые значения интенсивности образования приземного озона по мере увеличения широты, снижаются [8].

Разрушение приземного озона происходит в результате воздействия на его молекулы солнечной радиации или потока заряженных частиц. Не меньшую роль в этом процессе играют некоторые химические реакции, протекающие в воздухе, или на поверхности содержащихся в нем частиц аэрозоля. Поэтому интенсивность разрушения приземного озона зависит не только от характеристик наземных источников их реагентов, но и от метеорологических факторов, вызывающих изменения потока суммарной солнечной радиации, а так перенос соответствующих веществ в воздушной среде [2, 9].

Основными механизмами подобного переноса являются турбулентная диффузия, термическая и динамическая конвекция, а также другие процессы перемешивания, существующие в любых слоях тропосферы, в том числе и у земной поверхности [10]. Перечисленные процессы инициируются в результате взаимодействия воздушных потоков сстилающей поверхностью, при котором между ними происходит обмен импульсом, либо теплом. Важным природным механизмом ликвидации приземного озона является его сорбция каплями выпадающих атмосферных осадков, либо тумана [11].

Упомянутые выше процессы перемешивания значимо влияют и на миграцию по вертикали воздуха, содержащего озон, при которой данное вещество проникает в приземный слой тропосферы из других ее слоев, более удаленных от земной поверхности. Его миграцию по горизонтали вызывает ветер [3]. Значимость влияния на изменения концентраций приземного озона того или иного природного механизма существенно зависит от географического положения, а также ландшафтов и геохимических особенностей района, в котором рассматривается этот процесс. Совместное действие подобных факторов обуславливает пространственно-временную изменчивость концентраций озона,

характеристики которой в разных регионах могут ощутимо различаться.

Типичным для многих регионов является суточный ход концентрации приземного озона, при котором в ночной период (когда преобладают процессы ликвидации) ее значения монотонно снижаются до минимума, соответствующего предрассветным часам, а в дневное время (доминируют процессы образования) они возрастают до максимума, который приходится на вторую половину дня [12].

Вместе с тем иногда суточный ход рассматриваемой характеристики существенно отличается от типичного. При этом рост концентрации приземного озона наблюдается не только в дневное время, но и ночью, а ее значения способны достигать уровней, соответствующих дневным условиям, и даже превышать их. Впервые подобное явление было зафиксировано Л. С. Ивлевым, который наблюдал его на берегу Черного моря и объяснял влиянием бризовой циркуляции, которая в дневное время способна приносить на сушу морской воздух, обедненный озоном [13].

В дальнейшем было установлено, что повышение концентраций приземного озона в ночные часы может происходить не только на морских берегах, но на местностях, где бризовая циркуляция возникать не может.

В [14] приведены результаты мониторинга суточного хода концентраций приземного озона в г. Томск, из которых следует, что рассматриваемое явление там происходит в осенне-зимний период. Оно начинает регистрироваться в сентябре. В ноябре – январе концентрации приземного озона в ночных условиях превосходят их значения в дневное время.

Там же выдвинута и подтверждена гипотеза, согласно которой возникновение ночных максимумов концентрации озона в приземном слое атмосферы над данным регионом обусловлено миграцией в него этого вещества из ее слоев, расположенных выше. О ее адекватности свидетельствуют также выводы [15, 16], согласно которым образование озона в основном происходит не в приземном слое атмосферы, а в ее пограничном слое. Подтверждают справедливость данной гипотезы также результаты исследований вертикального распределения озона в атмосфере над некоторыми городами Дальнего востока [17] и Западной Сибири [14]. При этом автор упомянутой работы предполагает, что физическим механизмом подобной миграции является «оседание» озона, происходящее в штилевых условиях под действием силы тяжести. Ощутимое увеличение концентраций приземного озона в ночные часы зачастую наблюдается также в других городах России, в том числе и Москве [18], что позволяет рассматривать данное явление как способное при определенных условиях возникать закономерно.

Все упомянутые наблюдения проводились на метеостанциях, расположенных в городах, поэтому в формировании выявленных их авторами ночных максимумов концентраций приземного озона могли участвовать те или иные техногенные факторы. Убедительным подтверждением значимого участия в нем также природных факторов могло бы явиться выяв-

ление рассматриваемых процессов также в фоновых условиях. Поэтому несомненным свидетельством значимости влияния на них подобных факторов служат представленные в [19] результаты исследования суточного хода фоновых концентраций приземного озона в Юго-Восточном Крыму, из которых следует, что здесь, в любые сезоны повышение фоновых концентраций рассматриваемого вещества может происходить в ночные часы. Наиболее существенным их повышение, как правило, является в летние месяцы.

Упомянутые наблюдения проводились на станции фоновых экологического мониторинга Карадагского природного заповедника (44°55'N, 35°14'E, 180 м над уровнем моря), которая расположена на северо-восточном склоне горы Святая. Здесь, с марта 2013 г., измерения концентраций приземного озона и других малых газовых составляющих атмосферы (CO, NO_x, SO₂) осуществляются с использованием автоматических газоанализаторов фирмы «Horiba» (Япония). Концентрации приземного озона измеряются оптическим методом, по поглощению в УФ области (датчик расположен на высоте 2 м над земной поверхностью). Одновременно с измерениями, на той же станции фиксируются метеопараметры (метеостанция WS-600), в том числе значения скорости и направления ветра, температуры и относительной влажности воздуха, количество жидких осадков и их интенсивность.

Поскольку ближайшие техногенные источники загрязнения атмосферы, способные влиять на изменения концентрации приземного озона, удалены от упомянутой станции на десятки километров, влияние их выбросов на рассматриваемый процесс является незначительным, что позволяет измеряемые на ней концентрации приземного озона считать фоновыми.

Как следует из изложенного, наиболее вероятной причиной формирования ночных максимумов концентраций озона в приземном слое земной атмосферы является миграция этого вещества из ее пограничного слоя, где интенсивность его образования в дневные часы гораздо выше. Происходит рассматриваемое явление не только в городах, но также в условиях фоновых, где оно может быть обусловлено действием одних лишь природных факторов.

Как известно, молекулы озона в любом объеме воздуха распределены среди молекул других газов практически равномерно, а концентрации этого вещества, как правило, столь малы, что на плотность подобной смеси они не влияют. Поэтому возможность миграции озона в приземный слой атмосферы из ее пограничного слоя путем его «оседания», о которой говорится в [14], представляется сомнительной.

Как известно, альтернативными (и вполне осуществимыми в реальной воздушной среде) механизмами миграции малых примесей могут являться турбулентная диффузия и термическая конвекция. Для условий ночи, когда приток солнечной энергии к подстилающей поверхности отсутствует, а ее температура устойчиво снижается, наиболее реалистичной представляется гипотеза, согласно которой причиной увеличения в это время концентраций озона в приземном слое атмосферы является повышение интен-

сивности миграции воздуха из ее переходного слоя, обусловленное активизацией турбулентной диффузии.

Адекватность выдвинутой гипотезы ранее не проверялась. По этой причине при моделировании и прогнозировании изменений в ночные часы концентраций приземного озона влияние подобного фактора не учитывается. Следовательно, проверка данной гипотезы представляет существенный теоретический и практический интерес.

4. Постановка задач

Учитывая изложенное, объектом исследования в данной работе являются природные механизмы, обуславливающие изменения концентраций приземного озона в Юго-Восточном Крыму.

Предметом исследования являются факторы, действие которых в ночные часы приводит к повышению фоновых концентраций приземного озона.

Целью работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы для условий Юго-Восточного Крыма.

Поскольку характер изменений с течением времени фоновых концентраций приземного озона и всех возможных их факторов свидетельствует о целесообразности рассматривать их как реализации соответствующих случайных процессов, для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- оценена сила статистических связей между ними;

- оценена значимость связей между изменениями в ночные часы фоновых концентраций приземного озона, а также вариациями характеристик атмосферной турбулентности, которые регистрируются на станции фоновых экологического мониторинга Карадагского природного заповедника.

5. Методика исследований и фактический материал

Поскольку число степеней свободы сопоставляемых процессов для каждых суток невелико, а их стационарность сомнительна, традиционно применяемую количественную характеристику силы статистической связи между ними – значение коэффициента их парной корреляции, а также критерии Стьюдента, либо Фишера при решении рассматриваемых задач применять проблематично. Более адекватным в подобных условиях является использование вероятностного критерия согласия [20]:

$$\Lambda = \frac{P_1(x_{\text{пор}}) + P_2(x_{\text{пор}})}{2}, \quad (1)$$

где P_1 – вероятность того, что при отсутствии в ночные часы существенного усиления некоторого фактора изменений фоновых концентраций приземного озона, значения последних значимо возрастают; P_2 – вероятность того, что при наличии в ночные часы существенного усиления того же фактора, значимого возрастания фоновых концентраций приземного озона не наблюдается; $x_{\text{пор}}$ – пороговое значение характеристики рассматриваемого фактора, при котором Λ является минимальным.

Для определения $x_{пор}$ строились законы распределения вероятностей, соответствующие рассматриваемому фактору, той или иной его характеристике, а также альтернативным условиям, по которым определялось значение абсциссы при котором значение ординаты является минимальным. В качестве примера, на рис. 1 показаны упомянутые законы, соответствующие такому фактору, как скорость ветра в порывах, характеристике – максимальное значение за ночной период, для условий, при которых КПО увеличивается, а также КПО уменьшается.

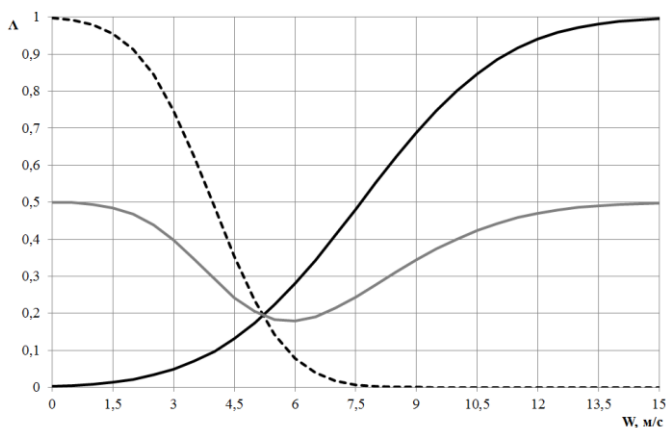


Рис. 1. Альтернативные законы распределения вероятностей значений максимальной скорости ветра в порывах, для летних месяцев 2014 г. на территории Карадагского природного заповедника, а также $\Lambda(x)$

Как видим из рис. 1, значение максимальной скорости ветра в порывах – x , при которой $\Lambda(x)$ минимально и равно 0,198, составляет 5,2 м/с. При этом значения вероятностей, как увеличения, так и снижения КПО, одинаковы и равны 0,198 составляет 5,2 м/с.

Очевидно, что чем меньше значение Λ , тем достоверность вывода о значимости статистической связи между изучаемым процессом и рассматриваемым его фактором выше.

Если выдвинутая гипотеза адекватна, то оцениваемая подобным способом значимость связи между изменениями в ночные часы концентраций приземного озона, а также вариациями характеристик атмосферной турбулентности на площадке, где производятся измерения, должна быть выше, чем значимость их связи с другими, регистрируемыми на ней природными процессами. Учитывая это при решении поставленных задач для всех возможных факторов, способных в той или иной мере влиять на вариации фоновых концентраций приземного озона в пункте мониторинга, оценены значения Λ .

При этом предполагалось, что законы распределения вероятностей $P_1(x)$, а также $P_2(x)$ являются нормальными. Как известно, упомянутые законы полностью определяются двумя своими характери-

стиками – средним значением m и среднеквадратическим отклонением σ [21]. Поэтому для каждого рассматриваемого фактора были рассчитаны значения указанных характеристик для законов $P_1(x)$ и $P_2(x)$.

Для их расчета были выявлены и отнесены к группе «А» все сутки, для которых в ночные часы было зафиксировано значимое увеличение фоновых концентраций приземного озона. При этом значимым оно признавалось, если наблюдаемое повышение значений рассматриваемой характеристики превосходило абсолютную погрешность ее оценки по результатам измерений. Такой характер изменений в ночные часы концентраций приземного озона рассматривался как нетипичный.

Также были определены и отнесены к группе «Б» все сутки, для которых в ночные часы характер изменения фоновых концентраций приземного озона являлся типичным (имело место их монотонное убывание).

В качестве примеров на рис. 2 показаны типичные и нетипичные изменения концентраций приземного озона на территории Карадагского природного заповедника, наблюдавшиеся летом 2014 г.

Как видим, при нетипичных ночных изменениях концентраций приземного озона, в отличие от нетипичных, происходит их повышение на протяжении единиц часов, которое приводит к формированию ночного максимума.

Для суток, относящихся к одной из этих групп, а также для каждого рассматриваемого фактора определены значения максимального и среднего уровня его характеристики, оцененные за все ночные часы (к которым отнесено время от заката до восхода Солнца).

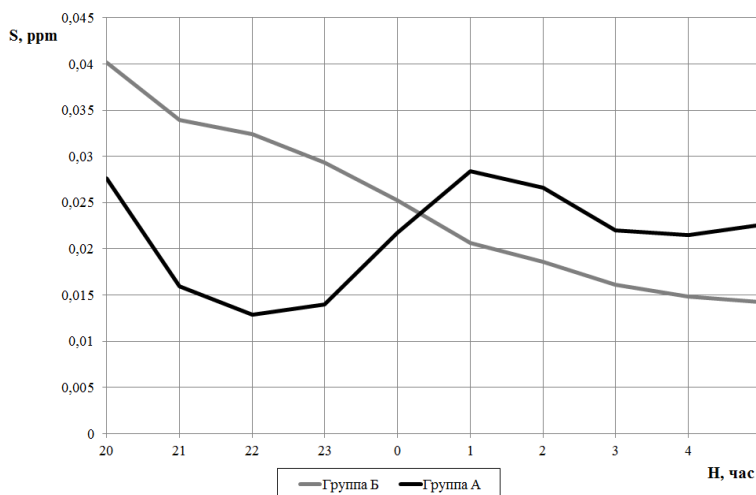


Рис. 2. Типичные и нетипичные изменения концентраций приземного озона на территории Карадагского природного заповедника, наблюдавшиеся летом 2014 г.

Поскольку информативными характеристиками состояния атмосферной турбулентности в приземном слое атмосферы являются регистрируемые в нем значения максимальной скорости ветра в порывах, а также средней скорости ветра, указанные характеристики учитывались в качестве возможных факторов изменений фоновых концентраций приземного озона.

Так как на станции фоновом экологического мониторинга Карадагского природного заповедника регистрируются также мгновенные направления ветра в приземном слое атмосферы, относительная влажность и температура воздуха в этом слое (метеостанция WS-600), а также концентрации в нем оксидов азота, углерода и серы, в качестве вероятных факторов рассматривались также их значения, усредненные за 60 минут, а также за всю ночь (газоанализаторы HORIBA) [22].

Так как оксиды азота относятся к числу веществ, участвующих в разрушении озона, с помощью рассмотренной методики оценивалась вероятность того, что повышение в ночные часы концентраций озона в приземном слое атмосферы над Карадагским природным заповедником является следствием снижения концентраций в этом слое NO_x .

Поскольку максимальных уровней фоновые концентрации приземного озона на территории Карадагского заповедника достигают в летние месяцы, при проведении исследований как фактический материал использованы результаты мониторинга всех рассматриваемых характеристик в период с 1 июня по 31 августа 2014 г.

6. Результаты исследования и их анализ

В соответствии с описанной методикой оценена значимость статистических связей происходящих в летние месяцы изменений в ночные часы фоновых концентраций приземного озона в Юго-Восточном Крыму, с вариациями характеристик наблюдаемых там же прочих природных процессов.

Установлено что наибольшее влияние на изучаемый процесс в подобных условиях оказывают такие факторы, как происходящие в приземном слое атмосферы изменения скорости ветра в порывах. В меньшей степени, но тем не менее как значимые мо-

гут рассматриваться также, влияния на него таких факторов, как изменения в данном слое осредненных за 60 минут значений концентрации NO_x , а также модуля скорости ветра.

Как подтверждение этому в табл. 1 для летнего периода 2014 года приведены значения параметров m , σ законов распределения вероятностей значений скорости ветра в порывах, средней скорости ветра, средней концентрации NO_x для ночных периодов суток, в течение которых в Карадагском природном заповеднике было выявлено либо не выявлено повышение ночных фоновых концентраций приземного озона, а также соответствующие им значения Λ и $x_{\text{пор}}$.

Из табл. 1 следует, что фактор, которому соответствует наименьшее значение Λ – максимальные скорости ветра в порывах. Если в летний период ночью его значение превышает 5,2 м/с, то с вероятностью, не менее чем 0,807 в изучаемом районе происходит повышение фоновых концентраций приземного озона. При увеличении средней за весь ночной период скорости ветра свыше 0,975 м/с, увеличение фоновых концентраций приземного озона наблюдается с вероятностью не менее, чем 0,675. При снижении в ночные часы минимальных концентраций NO_x до уровней ниже 0,0018 ppmv рассматриваемое явление возникает с вероятностью не менее 0,58.

Следует отметить, что приводящие к увеличению концентраций приземного озона снижения концентраций NO_x происходят лишь в те ночи, в которые отмечается значимое увеличение средней скорости ветра, а также скорости ветра в порывах. При этом достижение минимальных уровней концентраций NO_x , как правило, происходит после достижения значением скорости ветра в порывах ночного максимума, что позволяет эти явления рассматривать как следствие и причину.

Таблица 1

Значения параметров m , σ законов распределения вероятностей характеристик факторов значимо влияющих на изменения в ночные часы фоновых концентраций приземного озона в Юго-Восточном Крыму, а также соответствующие им значения Λ и $x_{\text{пор}}$ для летнего периода 2014 г.

Фактор	Характеристика	Изменения КПО ночью	m	σ	Λ , $x_{\text{пор}}$
Скорость ветра (порыв)	максимум	увеличение	7,62	2,80	0,193
Скорость ветра (порыв)	максимум	уменьшение	3,96	1,44	5,200
Скорость ветра (порыв)	среднее	увеличение	5,40	2,24	0,185
Скорость ветра (порыв)	среднее	уменьшение	2,80	0,69	3,425
Скорость ветра (средняя)	максимум	увеличение	1,73	0,76	0,317
Скорость ветра (средняя)	максимум	уменьшение	1,29	0,39	1,365
Скорость ветра (средняя)	среднее	увеличение	1,195	0,481	0,325
Скорость ветра (средняя)	среднее	уменьшение	0,94	0,28	0,975
Концентрация NO_x	минимум	увеличение	0,0017	0,0033	0,42
Концентрация NO_x	минимум	уменьшение	0,0019	0,00034	0,0018
Концентрация NO_x	среднее	увеличение	0,0021	0,0033	0,43
Концентрация NO_x	среднее	уменьшение	0,0023	0,00034	0,0019

Аналогичным способом установлено, что происходящие в ночные часы вариации направления ветра, температур и относительных влажностей воздуха, а также концентраций в нем CO и SO_2 , на из-

менения фоновых концентраций приземного озона в Юго-Восточном Крыму, практически не влияют. Соответствующие этим факторам значения Λ лежат в пределах 0,45–0,55, следовательно, при любом из-

менении их характеристик в летний период, увеличение в ночные часы фоновых концентраций приземного озона может происходить, либо не происходить равновероятно.

Влияние выявленных факторов проявляется в том, что увеличение скорости ветра в порывах, и ее среднего значения, которое является необходимым и достаточным условием повышения интенсивности турбулентной диффузии, а также снижение средних концентраций NO_x в ночные часы, вызывают значимое повышение фоновых концентраций приземного озона.

Отсутствие заметного влияния на изучаемый процесс вариаций направления ветра свидетельствует о том, что устойчивая (бризовая, горно-долинная и т. п.) циркуляция в его образовании не участвует.

Полученный результат подтверждает адекватность выдвинутой гипотезы и убедительно доказывает, что, по крайней мере в Юго-Восточном Крыму, в отличие от Томского региона, «оседание озона в шттилевых условиях» не является значимым механизмом увеличения его ночных концентраций в приземном слое земной атмосферы. Поскольку увеличение скорости ветра, а также скорости ветра в порывах всегда происходит в период прохождения над изучаемым регионом циклонов, данный результат позволяет предполагать, что указанные синоптические процессы способствуют возникновению ночных максимумов концентраций приземного озона.

Наличие значимой связи между повышением в приземном слое атмосферы ночных концентраций озона, а также снижением концентраций в нем NO_x , на не удивительно, поскольку последние относятся к числу веществ, способных активно разрушать озон [11, 12, 14].

Гораздо менее понятны причины того, что летом снижение в приземном слое атмосферы над Юго-Восточным Крымом средних концентраций NO_x , происходит в ночные часы тех же сутки, в которые ночью активизируется миграция воздуха из пограничного слоя атмосферы, в ее приземный слой.

Данный факт, вряд ли является простым совпадением. Несмотря на то, что имеющихся данных недостаточно для доказательства наличия причинной связи между этими процессами, выявленные закономерности позволяют предположить, что такая связь действительно существует. Очевидно, что данная связь может быть обусловлена уменьшением в такие сутки концентраций NO_x в воздухе пограничного слоя. При этом вопрос о причинах этого уменьшения нуждается в дополнительном изучении.

Учитывая, что турбулентная диффузия – процесс, характерный для атмосферы не только над Юго-Восточным Крымом, представляется вероятным, что и в других регионах мира его влияние на процессы вертикальной миграции воздуха, содержащего озон, способно быть значимым фактором увеличения его ночных концентраций у земной поверхности.

7. Выводы

Таким образом, установлено:

1. Вероятной причиной повышения в ночные часы фоновых концентраций озона в приземном слое

атмосферы над Юго-Восточным Крымом являются активизация миграции воздуха, который содержит это вещество, из ее пограничного слоя, а также уменьшение в последнем концентраций NO_x .

2. В данном регионе природным механизмом, обеспечивающим подобную миграцию, является турбулентная диффузия, которая усиливается при увеличении средних скоростей ветра в приземном слое атмосферы, вне зависимости от его направления.

3. Данный механизм способен значимо влиять на процессы вертикальной миграции воздуха, содержащего озон, которые приводят к увеличению его ночных концентраций у земной поверхности, и в других регионах мира.

Литература

1. Кондратьев, К. Е. Влияние потоков высокоэнергетических заряженных частиц на фотохимические и химические процессы в средней и нижней атмосфере [Текст] / К. Е. Кондратьев, Л. С. Ивлев, С. Н. Хворостовский // Доклады АН СССР. – 2000. – Т. 373, № 3. – С. 383–387.
2. Ларин, И. К. Условия и возможный масштаб влияния заряженных частиц на гибель озона в атмосфере [Текст] / И. К. Ларин, В. Л. Тальрозе // Доклады АН СССР. – 1974. – Т. 233, № 3. – С. 410–413.
3. Grewe, V. The origin of ozone [Text] / V. Grewe // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2006. – Vol. 6, Issue 6. – P. 1495–1511. doi: 10.5194/acp-6-1495-2006
4. Marécal, V. Modelling study of the impact of deep convection of the utls air composition – Part I: Analysis of ozone precursors [Text] / V. Marécal, E. D. Riviére, G. Held, S. Cautenet, S. Freitas // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2006. – Vol. 6, Issue 6. – P. 1567–1584. doi: 10.5194/acp-6-1567-2006
5. Mitra, F. P. Atmospheric chemistry [Text] / F. P. Mitra // Indian J. Radio and Space Phys. – 1990. – Vol. 19, Issue 5-6. – P. 383–399.
6. Liu, S. N. On the origin of the tropospheric ozone [Text] / S. C. Liu, D. Kley, M. McFarland, J. D. Mahlman, H. Levy // Journal of Geophysical Research. – 1980. – Vol. 85, Issue C12. – P. 7546. doi: 10.1029/jc085ic12p07546
7. Crutzen, P. J. On the background photochemistry of tropospheric ozone [Text] / P. J. Crutzen, M. G. Lawrence, U. Poschel // Tellus A. – 1999. – Vol. 51, Issue 1. – P. 123–136. doi: 10.3402/tellusa.v51i1.12310
8. Pruchniewich, P. G. Meridional distribution of ozone in troposphere and its seasonal variations [Text] / P. G. Pruchniewich, P. Fabian // Journal of Geophysical Research. – 1977. – Vol. 82, Issue 15. – P. 2063–2073. doi: 10.1029/jc082i015p02063
9. Galbally, I. E. Destruction of ozone at the earth's surface [Text] / I. E. Galbally, C. R. Roy // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 1980. – Vol. 106, Issue 449. – P. 599–620. doi: 10.1002/qj.49710644915
10. Salby, M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics [Text] / M. L. Salby. – New York: Academic Press, 1996. – 560 p.
11. Lelieveld, J. What controls tropospheric ozone? [Text] / J. Lelieveld, F. G. Dentener // Journal of Geophysical Research. – 2000. – Vol. 105, Issue D3. – P. 3531. doi: 10.1029/1999jd901011
12. Белан, Б. Д. Тропосферный озон. 1. Свойства и роль в природных и техногенных процессах [Текст] / Б. Д. Белан // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 4. – С. 299–322.
13. Ивлев, Л. С. Суточные вариации концентраций озона в приземном слое атмосферы [Текст] / Л. С. Ивлев,

В. Г. Сирота. – Атмосферный озон. – М.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 206–210.

14. Белан, Б. Д. Озон в тропосфере [Текст] / Б. Д. Белан. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, 2010. – 528 с.

15. Salmond, J. A. Secondary ozone maxima in a very stable natural boundary layer: observations from the Lower Fraser Vally, BC [Text] / J. A. Salmond, M. Kendry // Atmos. Environ. – 2001. – Vol. 35, Issue 2. – P. 315–320.

16. Rante, R. M. Daytime buildup and nighttime Transport of urban ozone in the boundary layer during a stagnation episode [Text] / R. M. Rante, C. J. Senff, A. B. White // Geophys. Res. – 1977. – Vol. 82, Issue D15. – P. 2063–2073.

17. Белан, Б. Д. Особенности прохождения фотохимических процессов в воздухе промышленных центров [Текст] / Б. Д. Белан, М. К. Микушев, М. В. Панченко // Оптика атмосферы. – 1991. – Т. 4, № 9. – С. 995–1005.

18. Вильфанд, Р. М. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в московском регионе [Текст] / Р. М. Вильфанд, И. Н. Кузнецова, И. Ю. Шалыгина, А. М. Звягинцев, М. И. Нахаев, П. В. Захарова, В. А. Лапченко // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 339–351.

19. Лапченко, В. А. Приземный озон в Крыму [Текст] / В. А. Лапченко, А. М. Звягинцев // Пространство и время. – 2014. – № 2 (16). – С. 254–257.

20. Закс, Ш. Теория статистических выводов [Текст] / Ш. Закс. – М.: Мир, 1975. – 776 с.

21. Крамер, Г. Математические методы статистики [Текст] / Г. Крамер. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

22. Описание газоанализаторов «HORIBA» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://monotest.ru/ru/gazoanalizatori/dlya-promishlennosti/horiba/gazoanalizator-horiba-ap-370>

References

1. Kondrat'ev, K. E., Ivlev, L. S., Hvorostovskij, S. N. (2000). Vliyanie potokov vysokojenergeticheskikh zarjazhennykh chastic na fotohimicheskie i himicheskie processy v srednej i nizhnej atmosphere. Doklady AN SSSR, 373 (3), 383–387.

2. Larin, I. K., Talroze, V. L. (1974). Usloviya i vozmojnyy masshtab vliyaniya zaryajennykh chastic na gibel ozona v atmosphere. Doklady AN SSSR, 233 (3), 410–413.

3. Grewe, V. (2006). The origin of ozone. Atmospheric Chemistry and Physics, 6 (6), 1495–1511. doi: 10.5194/acp-6-1495-2006

4. Marécal, V., Rivière, E. D., Held, G., Cautenet, S., Freitas, S. (2006). Modelling study of the impact of deep convection on the utls air composition - Part I: Analysis of ozone precursors. Atmospheric Chemistry and Physics, 6 (6), 1567–1584. doi: 10.5194/acp-6-1567-2006

5. Mitra, F. P. (1990). Atmospheric chemistry. Indian J. Radio and Space Phys., 19 (5–6), 383–399.

6. Liu, S. C., Kley, D., McFarland, M., Mahlman, J. D., Levy, H. (1980). On the origin of tropospheric ozone. Journal of Geophysical Research, 85 (C12), 7546. doi: 10.1029/jc085ic12p07546

7. Crutzen, P. J., Lawrence, M. G., Poschel, U. (1999). On the background photochemistry of tropospheric ozone. Tellus A, 51 (1), 123–136. doi: 10.3402/tellusa.v51i1.12310

8. Fabian, P., Pruchniewicz, P. G. (1977). Meridional distribution of ozone in the troposphere and its seasonal variations. Journal of Geophysical Research, 82 (15), 2063–2073. doi: 10.1029/jc082i015p02063

9. Galbally, I. E., Roy, C. R. (1980). Destruction of ozone at the earth's surface. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 106 (449), 599–620. doi: 10.1002/qj.49710644915

10. Salby, M. L. (1996). Fundamentals of Atmospheric Physics. New York: Academic Press, 560.

11. Lelieveld, J., Dentener, F. J. (2000). What controls tropospheric ozone? Journal of Geophysical Research, 105 (D3), 3531. doi: 10.1029/1999jd901011

12. Belan, B. D. (2008). Troposfernyi ozon. 1. Svoistva i rol v prirodnykh i tehnogennykh processah. Optika atmosfery i okeana, 21 (4), 229–322.

13. Ivlev, L. S., Sirota, V. G. (1990). Sutochnye variacii koncentracii ozona v prizemnom sloe atmosphere. Atmosfernyi ozon. Moscow: Gidrometeoizdat, 206–210.

14. Belan, B. D. (2010). Ozon v troposphere. Tomsk. Izd-vo instituta optiki atmosfery im. V. Zueva SO RAN, 528.

15. Salmond, J. A., Kendry, M. (2001). Secondary ozone maxima in a very stable natural boundary layer: observations from the Lower Fraser Vally, BC. Atmos. Environ., 35 (2), 315–320.

16. Rante, R. M., Senff, C. J., White, A. B. (1977). Daytime buildup and nighttime Transport of urban ozone in the boundary layer during a stagnation episode. Geophys. Res., 82 (D15), 2063–2073.

17. Belan, B. D., Mikushev, M. K., Panchenko, M. V. (1991). Osobennosti prohojdeniya fotohimicheskikh processov v vozduhe promyshlennykh centrov. Optika atmosfery, 4 (9), 995–1005.

18. Vilfand, R. M., Kuznecova, I. N., Shalygina, I. Yu., Zvyagincev, A. M., Nahaev, M. I., Zaharova, P. V., Lapchenko, V. A. (2014). Monitoring i prognozirovanie kachestva vozduha v moskovskom regione. Mejdisciplinarnyi nauchnyi i prikladnoi jurnal “Biosfera”, 6 (4), 339–351.

19. Lapchenko, V. A., Zvyagincev, A. M. (2014). Prizemnyi ozon v Krymu. Prostranstvo i vremya, 2 (16), 254–257.

20. Zaks, Sh. (1975). Teoriya statisticheskikh vyvodov. Moscow: Mir, 776.

21. Kramer, G. (1975). Matematicheskie metody statistiki. Moscow: Mir, 648.

22. Opisanie gazoanalizatorov «HORIBA». Available at: <http://monotest.ru/ru/gazoanalizatori/dlya-promishlennosti/horiba/gazoanalizator-horiba-ap-370>

Дата надходження рукопису 18.08.2015

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой, кафедра Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7-а, г. Севастополь, 99055
E-mail: kholoptsev@mail.ru

Лапченко Владимир Александрович, научный сотрудник, станция фонового экологического мониторинга, Карадагский природный заповедник, Поселок Курортное, Карадагский природный заповедник, 298183