

Длительность аномалий приземного озона в Крыму

В. А. Лапченко¹, Т. Е. Симакина²✉, С. В. Крюкова²

¹Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского –
Природный заповедник РАН – филиал Федерального исследовательского центра
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Российская Федерация
(298188, Республика Крым, пгт. Курортное, ул. Науки, 24)

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация
(192007, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79)

Аннотация. Целью работы является анализ эпизодов превышения действующего критерия Всемирной организации здравоохранения по приземному озону (ПДК 100 мкг·м⁻³ за 8 час) на станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ) Карадаг (Крым).

Материалы и методы. Район исследований – Карадагский природный заповедник на юго-восточном побережье Крымского полуострова на склоне горы Святая. Информационная база: среднечасовые значения концентраций озона, измеренные с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA) на высоте 2 м от поверхности земли, и метеорологические данные, полученные метеостанцией «WS – 600» и «ТРОПОСФЕРА – Н». Методика исследования включала обобщение и анализ данных за три года (2019-2022).

Результаты и обсуждение. За период 2019-2022 годов обнаружено 98 случаев увеличения концентрации приземного озона (КПО) выше 100 мкг·м⁻³, 30 % из них имели длительность более 8 часов. Рассмотрены фоновые условия формирования таких эпизодов, выполнена оценка значений метеорологических параметров, способствующих удлинению эпизодов, исследованы местные и глобальные факторы, приводящие к аномалиям КПО.

Выводы. Практически все эпизоды имели место на фоне низкого атмосферного давления и ветре со стороны Черного моря. Показано, что повышение КПО связано с прохождением тыловых частей циклонов. К местным факторам, способствующим генерации озона и оказывающим влияние на длительность озоновых эпизодов, может относиться диффузия из вулканической поверхности Карадагского горного массива летучих органических соединений, а также синтез углеводов растительными сообществами заповедника. Среди глобальных факторов можно назвать влияние изменений стратосферного озона и начало двадцать пятого цикла солнечной активности, приводящего к росту периодов аномалий КПО и проявленностей весенних максимумов за трехлетний период.

Ключевые слова: приземный озон, Карадаг, озоновые эпизоды, длительность, температура, влажность воздуха.

Источник финансирования: Лапченко В. А. выполнил работу в рамках темы Гос. Задания (№124030100098 – 0) «Изучение биотических и абиотических компонентов наземных экосистем, особенности их структурно-временной организации в различных климатических условиях среды».

Для цитирования: Лапченко В. А., Симакина Т. Е., Крюкова С. В. Длительность аномалий приземного озона в Крыму // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2024, № 3, с. 97-104. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/97-104>

ВВЕДЕНИЕ

По отношению к стратосферному озону термин «аномалия» означает уменьшение его количества, в случае с нижней тропосферой ситуация обратная. Поскольку озон является загрязняющим веществом первого класса опасности, рост его концентрации в тропосфере приводит к снижению качества воздуха [11].

Количественная оценка вреда аномально высоких концентраций приземного озона (КПО) здоровью населения приводится в многочисленных публикациях, в основном зарубежных. По данным [20] приземный озон является причиной примерно 0,7 миллиона смертей в год от респираторных заболеваний во всем мире.

В работе [17] отмечается, что по количеству вызовов скорой медицинской помощи можно косвенно определять КПО в воздухе. Отечественное исследование [2] подтверждает этот факт: коэффициент корреляции между содержанием озона более 60 мкг/м³ в течение 16 дней подряд и количеством вызовов скорой помощи составил 0,62.

Приземный озон также оказывает неблагоприятное экономическое воздействие из-за снижения урожайности сельскохозяйственных культур. Ущерб, причиненный действием озона, по зерновым в Индии достигает \$1,3 млрд в год, в сельском хозяйстве США – \$6 млрд, а в ЕС – \$10 млрд [6].

© Лапченко В. А., Симакина Т. Е., Крюкова С. В., 2024

✉ Симакина Татьяна Евгеньевна, e-mail: tatiana.simakina@gmail.com



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Понятно, что губительное влияние приземного озона на здоровье человека и растительный покров обусловлено не только амплитудой, но и временем воздействия высоких КПО. Однако информация о длительности эпизодов аномально высоких значений КПО в найденных публикациях практически отсутствует. Настоящая работа посвящена исследованию «озоновых эпизодов» - периодов с КПО выше 100 мкг/м³.

Значение ПДК 100 мкг/м³ за 8 часов отражает кумулятивность действия озона, что не делает максимально разовой за 20 мин ПДК (160 мкг/м³), принятая в России [12]; другой же стандарт – среднесуточное значение 30 мкг/м³ – не является объективным [5].

Проблема качества воздуха актуальна для мест, используемых для отдыха населения и в курортно-туристических целях [3], особенно для горных территорий, поскольку с высотой в тропосфере возрастает как концентрации озона, так и время его жизни. Длительные прогулки и занятия спортом в горах могут спровоцировать гипоксию, защитной реакцией организма на которую является усиление легочной вентиляции, вследствие чего больше озона проникает в область легких, наиболее чувствительных к его действию [4]. Поэтому исследование «озоновых эпизодов» и причин их вызы-

вающих является актуальной задачей для популярной зоны отдыха населения – Крымского побережья, рассматриваемого в данной работе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось по данным СФЭМ, расположенной в Карадагском природном заповеднике на юго-восточном побережье Крымского полуострова (44°55'с.ш., 35°14'в.д.; 180 м. над у.м.) в километре от береговой зоны на северо-восточном склоне горы Святая. От Черного моря СФЭМ отделяют горные хребты: с юго-востока хребет Кок – Кая (314 м н.у.м, с юга - хребет Магнитный (370 н.у.м.), юго-запада – гора Святая (577 н.у.м.).

Измерения КПО на СФЭМ «Карадаг» проводились с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA) на высоте 2 м от поверхности земли и усреднялись за часовой интервал наблюдений. К анализу были привлечены также метеорологические данные, полученные метеостанций «WS – 600» и «ТРОПОСФЕРА – Н» [7, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За три года (2019-2022 годы) в Крыму зафиксированы 98 озоновых эпизодов (ОЭ) с концентрацией больше 100 мкг/м³. Первые ОЭ в году наблюдаются в

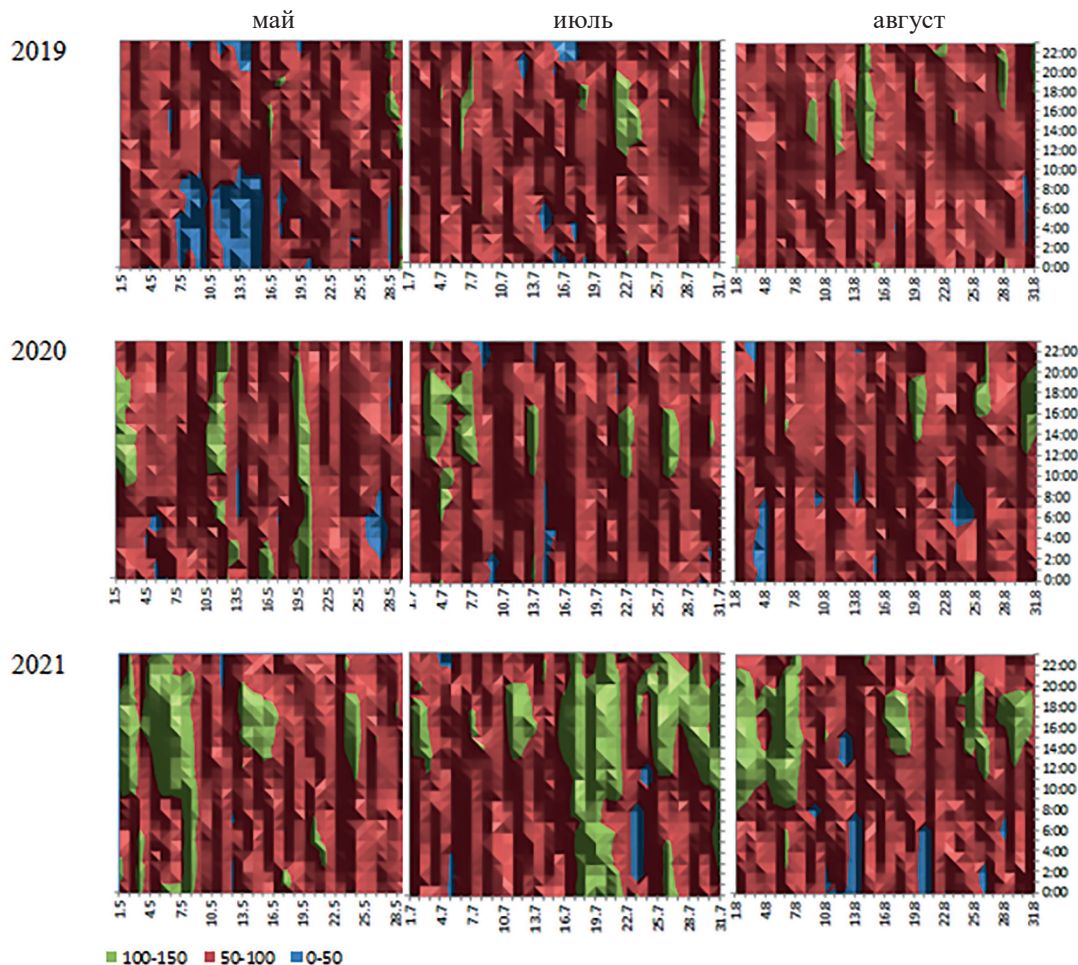


Рис. 1. Диаграмма длительности ОЭ за май, июль и август 2019 (первый ряд), 2020 (второй ряд) и 2021 (третий ряд) года [Fig. 1. Diagram of OE duration for May, July and August 2019 (first row), 2020 (second row) and 2021 (third row) of the year]

марте, последние – в сентябре. Больше всего их происходило с апреля по август. Сезонная изменчивость в количестве и длительности озоновых эпизодов представлена в виде диаграмм (рис. 1).

По оси абсцисс отложена дата, по оси ординат – время. ОЭ отображены зелеными (100-150 мкг/м³) и красно-кирпичными (50-100 мкг/м³) оттенками. КПО ниже 50 мкг/м³ показаны синим. На рисунке 1 представлены три месяца – май, июль и август – за 2019 год (первый ряд), 2020 (второй ряд) и 2021 (третий ряд) года. Июнь в примере на рисунке 1 пропущен, поскольку в этом месяце были только короткие эпизоды.

Самым «урожайным» годом по общему времени, когда приземный озон имел концентрацию выше 100 мкг/м³, был 2021 год. В мае этого года наблюдалось 24 коротких ОЭ, которые в сумме составили период в 121 час. В июле ОЭ наблюдались практически каждый день и длились в целом 196 часов. Это в пять раз больше, чем в тот же месяц 2019 года и в 4 раза

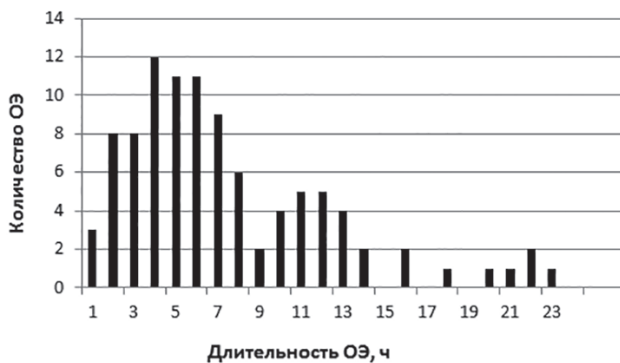


Рис. 2. Гистограмма длительностей аномалий КПО с концентрацией больше 100 мкг/м³
[Fig. 2. Histogram of durations of SOC anomalies with concentrations greater than 100 µg/m³]

Определение метеорологических факторов, способствующих возникновению ОЭ, позволит прогнозировать и предотвращать опасные уровни загрязнения воздуха Карадага. Как показал анализ метеорологических данных, все ОЭ наблюдались при пониженном атмосферном давлении менее 1000 гПа и продолжающемся его понижении. В 78 % случаях давление за время ОЭ падало на значение 0,7-2,2 гПа. Скорость падения давления составила 0,1-0,7 гПа/час.

Средняя скорость ветра при ОЭ составляла 3,6 м/с. При скорости больше 6,7 м/с – ОЭ практически не наблюдались. Для определения преимущественного направления ветра построены две розы ветров: одна (рис. 4а) по массиву значений во время озоновых эпизодов, другая – в их отсутствие (рис. 4б). Полученные данные позволили сделать вывод, что КПО в период 2019-2021 годов значительно возрастала при южном, восточном и юго-восточном направлениях ветра.

В отдельные периоды имели место высокие коэффициенты корреляции КПО с метеорологическими параметрами, в другие, – связи практически не наблюдалось. Так, анализ температурных данных в апреле, июле и ав-

больше, чем в 2020 году. Таким образом, весенний максимум КПО, являющийся типичным для северного полушария особенно в отдаленных и сельских районах [19], отмечен в районе Карадага не каждый год. Хорошо заметен он только в годовом цикле 2020, и особенно в 2021 годах.

Распределение длительностей озоновых эпизодов в Крыму представлено гистограммой (рис. 2). Каждый третий эпизод длился 8 часов и более. В 2021 году наблюдались пять ОЭ длительностью более 16 часов. Несколько ОЭ имели длительность около суток. Каждый четвертый эпизод начинался в ночное время, что, вероятно, следует трактовать как результат горизонтального перемещения воздушных масс, богатых озоном.

КПО во время озоновых эпизодов наиболее часто принимала значения в интервале 109-130 мкг/м³ (рис. 3), в двух эпизодах концентрация достигла 156 мкг/м³. Корреляции между длительностью ОЭ и амплитудой КПО не обнаружено.

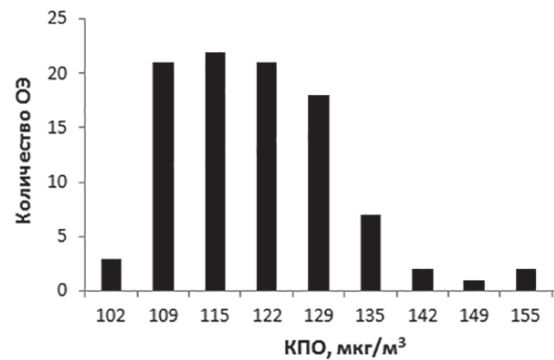


Рис. 3. Гистограмма КПО в течение 98-ми эпизодов
[Fig. 3. Histogram of SOC for 98 episodes]

густе 2021 демонстрирует выраженную положительную зависимость содержания озона от температуры (коэффициенты корреляции в эти месяцы равны соответственно 0,59, 0,60 и 0,77). В мае же этого года значение коэффициента корреляции между температурой и КПО едва достигло 0,1. Также нестабильна связь КПО со скоростью ветра. В апреле и августе значения коэффициентов 0,57 и 0,68 свидетельствуют о сильной связи этих величин, в мае и июле связь заметно слабее (0,36 и 0,23).

Результаты анализа относительной влажности воздуха подтверждают выявленную ранее [8] отрицательную заметную связь с КПО (коэффициенты корреляции меняются в диапазоне от -0,47 до -0,54).

В целом, 56 из 98 ОЭ в Крыму происходили при высокой температуре (27°C и выше). Влажность практически при всех ОЭ была ниже 80%, подавляющее большинство ОЭ – при относительной влажности около 50%.

Основные процессы, влияющие на КПО, перечислены в работе [13]: фотохимическое образование и разрушение озона; динамические процессы, участвующие в перераспределении примесей в атмосфере. Динамические процессы делятся по направлению воздействия

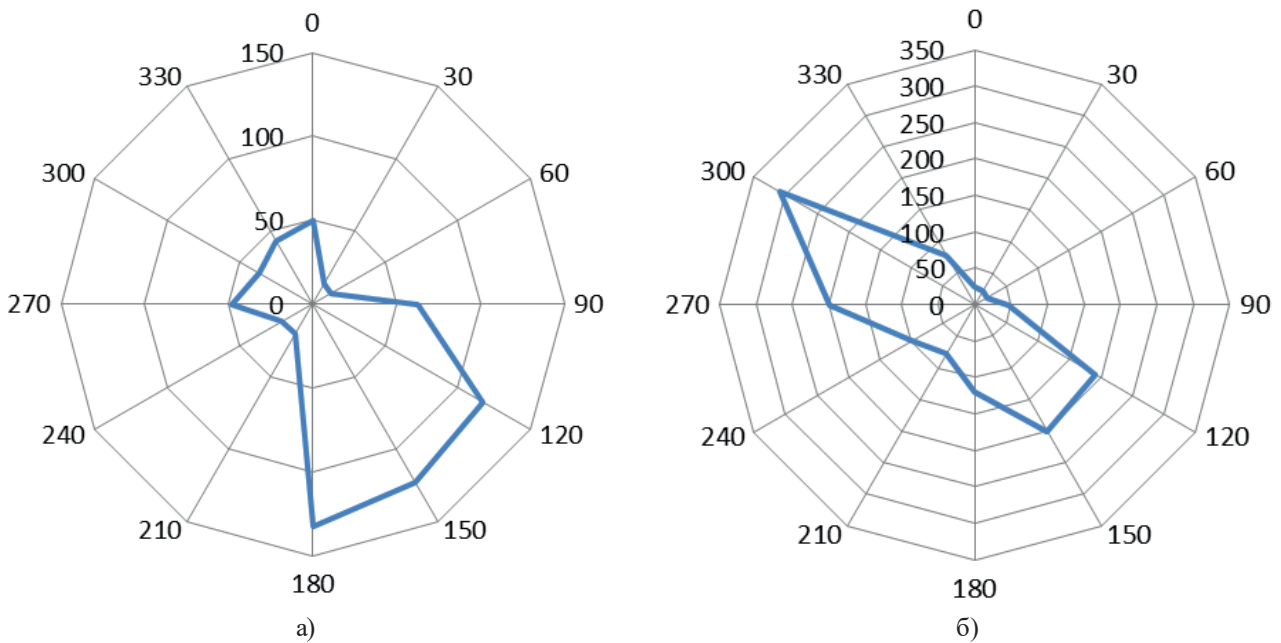


Рис. 4. Розы ветров во время ОЭ (а) и в их отсутствии (б)
 [Fig. 4. Wind roses during OE (a) and in their absence (b)]

на горизонтальные и вертикальные, по масштабу – на макро, мезо и синоптические. Горизонтальный динамический процесс отвечает за перенос воздушных масс с различным содержанием озона и его предшественников. Вертикальный процесс включает стратосферно-тропосферный обмен и обмен между пограничным слоем и свободной тропосферой. Макромасштабные динамические процессы – это средняя меридиональная и зональная циркуляции. Процессы синоптического масштаба включают циклоны, фронты, струйные течения. Мезомасштабные динамические процессы – местные ветры, горно-долинная циркуляция, облачные скопления, турбулентное перемешивание и конвекция.

Рассмотрим значимость перечисленных факторов для территории Крыма.

Фотохимический механизм образования тропосферного озона известен: под действием солнечного излучения он образуется из диоксида азота (NO_x) и летучего органического углерода (ЛОС). Чем более загрязнена атмосфера предшественниками озона, тем интенсивнее его образование. Территория Карадагского заповедника расположена на черноморском побережье в малоурбанизированном курортном районе, где автотранспорт и промышленность практически не вносят вклад в антропогенные выбросы. Однако в Крыму присутствуют природные источники углеводородов. Причем биоэмиссия может превосходить выделение антропогенных углеводородов [9].

Около половины территории Карадагского заповедника покрыто лесными сообществами. В древесном ярусе присутствует можжевельник высокий, а также посадки крымской сосны. Хвойные деревья выделяют в воздух множество летучих органических соединений [18]. Так, в сутки 1 гектар хвойного леса на юге Крыма выделяет в среднем 4 кг органических веществ.

Образование ЛОС химическими выбросами растений зависит от температуры [9]: если при температуре 25°C растения и их выбросы ответственны за 6-20% объема содержания приземного озона, то при повышении температуры выше 30°C , выбросы растений приводят уже к образованию 60% приземного озона. С другой стороны, можжевельник увеличивает сток озона, который на два порядка превышает сток на морскую поверхность [10], тем самым снижая темпы своего роста (на 6,6% в год) [6].

Упомянем еще один местный фактор, который может оказаться источником выбросов углеводородов, а, следовательно, и содержания озона. Это – вулканы, которых на территории Крыма три. И сама территория заповедника представляет собой горные отроги древнего вулкана. Можно предположить, что земная кора еще содержит различные газы, часть из которых по глубинным разломам и трещинам может достигать поверхности Земли и диффундировать в атмосферу. Для подтверждения выхода газов из-под земли в Карадаге нужны дополнительные исследования.

К локальным факторам можно отнести и процесс образования озона в тропосфере под действием электрических разрядов. Увеличение напряженности электромагнитного поля в грозных ситуациях приводит к созданию тихого разряда у верхушек деревьев и кустов. В течение 3 часов перед грозой в приземном слое образуется в среднем $0,03 \text{ мкг/м}^3$ [1]. Поскольку, как будет показано дальше, большинство ОЭ в Крыму обусловлено циклонической деятельностью, значимость этого фактора также может иметь место.

СФЭМ большей частью окружена горными склонами, с которых воздух опускается в ночное время. Если он богат озоном, то опускание вызывает увеличение КПО. Наличие этого фактора подтверждает тот факт, что часть ОЭ начинается ночью.

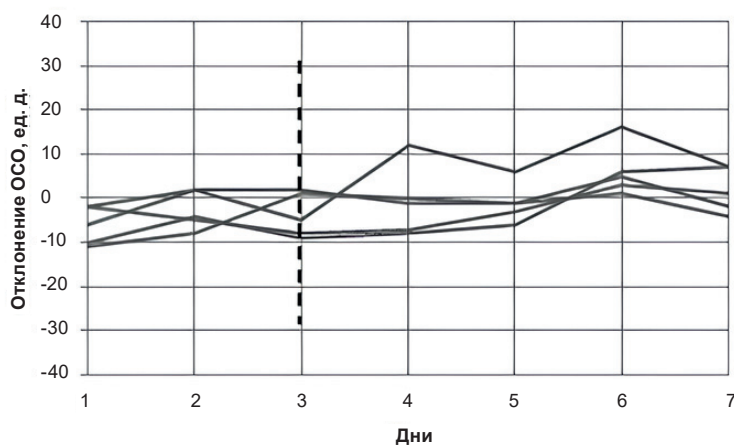
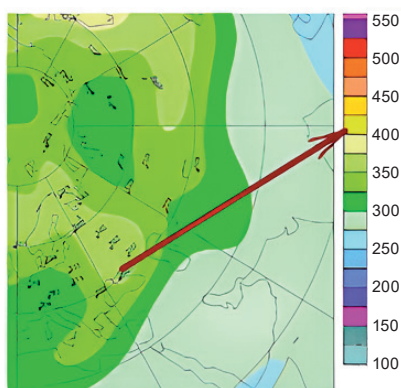
Следующим механизмом является динамический перенос озона по горизонтали или вертикали. По результатам выполненного анализа большинство ОЭ в Крыму возникают в циклонах и их тыловых частях. Над циклоном в стратосфере проходят теплые воздушные массы северного происхождения, нагретые вследствие повышенного содержания озона. Положительные отклонения содержания озона, наблюдающиеся в приземном барическом поле, объясняются прохождением высотных ложбин через пункт наблюдений на уровне 300 мб и выше.

При горизонтальной адвекции с юга и юга-востока осуществляется перенос озона вместе с воздушными массами с Черного моря. Известно, что озон над водной поверхностью распадается медленнее, чем над сушей, за счет чего воздух над Черным морем может содержать больше озона, чем на удалении от берега. Поэтому одной из причин возникновения ОЭ в Крыму можно считать приход воздушной массы, богатой озоном, с Черного моря.

Над секторами циклонов, достигших стадии максимального развития, образуются области развитой атмос-

ферной турбулентности, через которые оксиды азота забрасываются из тропосферы в стратосферу, что приводит к разрушению озона. Соответственно, уменьшение содержания озона в стратосфере может привести к увеличению потоков УФ радиации, доходящих до тропосферы, и к интенсификации химических процессов в нижней атмосфере. По оценкам [15] процессом снижения ОСО над Европой обусловлено до 60 % произошедшего с начала 80-х годов прошлого века увеличения содержания КПО. Более осторожно о связи ОСО с КПО говорится в работе [14]: в отличие от устойчивой длиннопериодной тенденции к уменьшению стратосферного озона в изменчивости тропосферного озона трудно обнаружить значимый тренд.

Для исследования связи ОСО с КПО в Крыму по данным сайта (сайт Министерства окружающей среды Канады: <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca/clf2/e/main.html>) построены временные ряды отклонений ОСО от климатической нормы для нескольких случаев ОЭ с длительностью более 8 часов (рис. 5). Каждый случай включал семь дней: два дня до ОЭ, день с ОЭ (обозначен пунктиром на рис. 5) и четыре дня после.



За семидневный период, включающий ОЭ, наблюдается тенденция к росту ОСО: за два дня до ОЭ значение ОСО меньше климатической нормы (отклонение ОСО от нормы отрицательно), через три дня отклонение преодолевает нулевую отметку и ОСО становится выше нормы. Колебания ОСО происходят в пределах 299-423 ед. Добсона.

Наряду с усилением процесса фотохимии приземного озона вследствие уменьшения количества стратосферного озона за двое суток может работать обратный механизм: увеличивающееся ОСО приводит к росту прихода озона в тропосферу посредством стратосферно-тропосферного обмена.

На вариации ОСО существенно влияет солнечная активность и ее циклические изменения посредством колебаний потока УФ [15]. Подобный механизм этого влияния называется радиационным. В настоящее время идет на подъем 25-й солнечный цикл, начавшийся в 2019 году. Рассматриваемый в работе период приходится на начало этого цикла. Количество ОЭ от 2019 к 2021 году возрастает незначительно, но если посмотреть на общую длительность ОЭ, ее увеличение существенно:

так, в 2021 году общее время, в течение которого КПО было выше 100 мкг/м³, в 1,5 раза превосходит предыдущий год. Можно предположить значимость влияния солнечной активности на изменение КПО в Карадаге.

Кроме радиационного, существует корпускулярный механизм влияния солнечной активности на тропосферный озон [15]. Он предполагает ионизацию молекул газов атмосферы входящими в нее космическими лучами, тем самым усиливая процессы конденсации водяного пара. Последнее способствует образованию облаков вертикального развития, влияющих на тропосферно-стратосферный перенос.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным за период 2019-2022 годов в горном районе Крыма зафиксировано 98 эпизодов, когда КПО превышала уровень 100 мкг/м³. Из них 30% имели длительность более 8 часов. Осенью и в зимнее время проблема превышения озона нормативов ВОЗ для Крыма не актуальна. Все ОЭ наблюдались с апреля по сентябрь, с повышением амплитуды и длительности в мае и июле-августе и понижением в июне. Весенний

максимум, заметный в годовом цикле 2020 и особенно 2021 году, приходится на первую половину мая и совпадает с ожидаемым проникновением стратосферного O_3 в тропосферу [19]. В 2020 году в Крыму хорошо проявлен и летний максимум.

Все эпизоды происходили на фоне низкого (наиболее часто 993 гПа) и понижающегося (с градиентом 0,7-2,2 гПа/эпизод) атмосферного давления, при южном, восточном и юго-восточном ветре со скоростью менее 6,7 м/с (при средней скорости 3,6 м/с) и влажности менее 80% (наиболее часто 48-73%).

Результаты исследований синоптических условий показывают, что содержание озона повышается при прохождении циклонов и их тыловых частей. Тогда наблюдаемые изменения содержания озона можно трактовать как результат прихода озона сверху через тропопаузу, а также вследствие перемещения воздушных масс с Черного моря, вместе с содержащимся в них озоном.

Причиной ОЭ может быть взаимодействие местных и глобальных факторов, причем роль тех и других меняется от месяца к месяцу. К местным относится влияние ЛОС, вырабатываемых растительностью Карадагского заповедника, а также можно предположить и диффузию ЛОС из вулканов. Среди глобальных факторов можно назвать уменьшение стратосферного озона, которое повышает ультрафиолетовое облучение, способствующее увеличению скоростей окисления углеводородов, что приводит к увеличению фотохимической продукции тропосферного озона.

Возможной причиной увеличения длительности ОЭ и заметность весенних максимумов от года к году может быть начало одиннадцатилетнего цикла солнечной радиации. Катализатором, способным ускорять большинство процессов и увеличивать продолжительность ОЭ в определенных месяцы, относится повышение температуры. Анализ температурных данных подтвердил выраженную положительную зависимость содержания озона от температуры в большинстве ОЭ. Многофакторность взаимодействия процессов в стратосфере и тропосфере не позволяет выделить доминирующего механизма, обуславливающего аномалии длительных повышений КПО. При его моделировании и прогнозировании в дальнейшем внимание должно быть сосредоточено на выявлении месяцев, когда тот или иной механизм и его влияние оказывается значимым. Эпизоды превышения стандартов по содержанию озона должна доводиться до санитарных служб, служб по чрезвычайным ситуациям, городских органов управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан Б. Д. Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений // *Оптика атмосферы и океана*, 1996, Т. 9, № 9, с. 1184-1213.
2. Влияние умеренных концентраций приземного озона на здоровье населения в г. Вятские Поляны летом 2010 г. / С. Н. Котельников, Е. В. Степанов, Э. А. Олюнин, М. А. Манаков // *Проблемы мониторинга приземного озона и пути нейтрализации его вредного влияния*, 2012, с. 10-18.

3. Грушко Я. М. *Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу: справочник*. Ленинград: Химия, 1987. 191 с.

4. Демин В. И., Белоглазов М. И. Медико-экологические аспекты вертикального распределения озона в горных районах // *Экология человека*, 2008, № 11, с. 3-8.

5. Демин В. И., Звягинцев А. М., Кузнецова И. Н. О действующих в Российской Федерации нормативах по содержанию озона в атмосферном воздухе // *Экология человека*, 2009, № 1, с. 4-8.

6. Котельников С. Н., Степанов Е. В. Воздействие приземного озона на растения и продовольственная безопасность // *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы*, 2018, с. 282-285.

7. Лапченко В. А., Звягинцев А. М. Приземный озон в Крыму // *Пространство и время*, 2014, № 2 (16), с. 254-257.

8. Лапченко В. А., Симакина Т. Е., Крюкова С. В. Приземный озон в непромышленных районах Санкт-Петербурга и Крыма // *Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН*, 2022, 2 (22), с. 53-61.

9. Ломова О. А., Кирилов А. А. Загрязнение воздуха летучими органическими соединениями // *E-Scio*, 2023, № 4(79), с. 348-356.

10. Перов С. П., Хргиан А. Х. *Современные проблемы атмосферного озона*. Ленинград: Гидрометеоздат, 1980. 288 с.

11. Перспектива применения программно-аппаратного комплекса ПАК-8816 при построении глобальной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха / В. П. Челибанов, С. Н. Котельников, Н. В. Смирнов, Е. А. Ясенко // *Биосфера*, 2015, № 7 (1), с. 26-30.

12. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. ГН 2.2.5.1313-03*. Москва: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003. 268 с.

13. Сенник И. А. *Озон в атмосфере над горными районами северного Кавказа*: автореф. дисс.... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2004. 28 с.

14. Смышляев С. П., Галин В. Я. Исследование влияния изменений стратосферного озона на химию тропосферы // *Ученые записки РГГМУ*, 2016, № 44, с. 165-179.

15. Холощев А. В., Никифорова М. П. Роль изменений солнечной активности и состояния озоносферы в глобальном затемнении земной атмосферы // *ScienceRise*, 2014, № 5, с. 23-35.

16. Шалыгина И. Ю., Кузнецова И. Н., Лапченко В. А. Режим приземного озона на станции Карадаг в Крыму по наблюдениям в 2009-2018 гг. // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2019, № 2 (372), с. 102-113.

17. Bates David V. Ambient Ozone and Mortality // *Epidemiology*, 2005, no. 16 (4), pp. 427-429.

18. Organic material in the global troposphere / R. A. Duce, V. A. Mohnen, P. R. Zimmerman et al. // *Rev. Geophys. and Space Phys.*, 1983, v. 21, no. 4. pp. 921-952.

19. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer / Monks P. S. et al. // *Atmos. Chem. Phys.*, 2015, v. 15, pp. 8889-8973.

20. Tropospheric Ozone Assessment Report: Database and Metrics Data of Global Surface Ozone Observations / Schultz M. G. et al. // *Elementa – Science of the Anthropocene*, 2017, 5:58, 26 p.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 03.09.2023

Принята к публикации: 30.08.2024

Duration of Ground Ozone Anomalies in Crimea

V.A. Lapchenko¹, T.E. Simakina²✉, S.V. Kryukova²

¹The Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky – Nature Reserve of the RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the RAS, Russian Federation (24, Nauki Str., urban settlement Kurortnoe, Republic of Crimea, 298188)

²Russian State Hydrometeorological University, Russian Federation (79, Voronezhskaya Str., St-Petersburg, 192007)

Abstract. The purpose of the work is to analyze episodes of exceeding the current World Health Organization criterion for ground-level ozone (MPC 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ for 8 hours) at the background environmental monitoring station (BSEM) Karadag (Republic of Crimea).

Materials and methods. The research area is the Karadag Nature Reserve on the southeastern coast of the Crimean Peninsula on the slope of Mount Svyataya. Information base: average hourly values of ozone concentrations measured using an automatic gas analyzer APOA 370 (HORIBA) at a height of 2 m from the earth's surface, and meteorological data obtained by the weather station "WS – 600" and "TROPOSPHERE – N". The research methodology included summarizing and analyzing data for three years (2019-2022).

Results and discussion. During the period 2019-2022 98 cases of increase in ground-level ozone concentration (SOC) above 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ were detected, 30% of them had a duration of more than 8 hours. The background conditions for the formation of such episodes are considered. The values of meteorological parameters contributing to the prolongation of episodes are assessed. Local and global factors leading to SOC anomalies are studied.

Conclusions. Almost all episodes were accompanied by low atmospheric pressure and wind from the Black Sea. It is shown that an increase in SOC is associated with the passage of the cyclones rear parts. Local factors contributing to ozone generation and influencing the duration of ozone episodes may include diffusion of volatile organic compounds from the volcanic surface of the Karadag mountain range, as well as synthesis of hydrocarbons by plant communities of the reserve. Among the global factors, one can note the influence of stratospheric ozone changes and the beginning of solar activity twenty-fifth cycle leading to an increase in periods of SOC anomalies and manifestations of spring maxima over a three-year period.

Key words: ground level ozone, Karadag, ozone episodes, duration, temperature, air humidity.

Funding: Lapchenko V.A. performed the work within the framework of the State Assignment theme (No. 124030100098 – 0) «The study of biotic and abiotic components of terrestrial ecosystems, the peculiarities of their structural and temporal organization in various climatic conditions of the environment».

For citation: Lapchenko V.A., Simakina T.E., Kryukova S.V. Duration of Ground Ozone Anomalies in Crimea. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 3, pp. 97-104 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/97-104>

REFERENCES

1. Belan B.D. Problema troposfernogo ozona i nekotoryye rezultaty yego izmereniy [The problem of tropospheric ozone and some results of its measurements]. *Optika atmosfery i okeana*, 1996, no. 9(9), pp. 1184-1213. (In Russ.)
2. Vliyaniye umerennykh kontsentratsiy prizemnogo ozona na zdorov'ye naseleniya v g. Vyatskiye Polyany letom 2010 g [Influence of moderate concentrations of ground-level ozone on public health in Vyatskiye Polyany in the summer of 2010] / S. N. Kotelnikov, E. V. Stepanov, E. A. Olyunin, M. A. Manakov. *Problemy monitoringa prizemnogo ozona i puti neytralizatsii yego vrednogo vliyaniya*, 2012, pp. 10-18. (In Russ.)
3. Grushko Ya. M. *Vrednyye neorganicheskiye soyedineniya v promyshlennykh vybrosakh v atmosferu: spravochnik* [Harmful inorganic compounds in industrial emissions into the atmosphere: a reference book]. Leningrad: Chemistry, 1987. 191 p. (In Russ.)
4. Demin V.I., Beloglazov M.I. Mediko-ekologicheskiye aspekty vertikal'nogo raspredeleniya ozona v gornyykh rayonakh [Medico-ecological aspects of the vertical distribution of ozone in mountainous areas]. *Human Ecology*, 2008, no. 11, pp. 3-8. (In Russ.)
5. Demin V.I., Zvyagintsev A. M., Kuznetsova I. N. Odeystviyushchikh v Rossiyskoy Federatsii normativakh po sodержaniyu ozona v atmosfernom vozdukh [On the standards in force in the Russian Federation for the content of ozone in the atmospheric air]. *Human Ecology*, 2009, no. 1, pp. 4-8. (In Russ.)
6. Kotelnikov S.N., Stepanov E.V. Vozdeystviye prizemnogo ozona na rasteniya i prodovol'stvennaya bezopasnost' [The impact of ground-level ozone on plants and food security]. *Radiatsionnyye tekhnologii v sel'skom khozyaystve i pishchevoy promyshlennosti: sostoyaniye i perspektivy*, 2018, pp. 282-285. (In Russ.)



7. Lapchenko V.A., Zvyagintsev A.M. Prizemnyy ozon v Krymu [Surface ozone in the Crimea]. *Space and time*, 2014, no. 2 (16), pp. 254-257. (In Russ.)

8. Lapchenko V.A., Simakina T.E., Kryukova S.V. Prizemnyy ozon v nepromyshlennykh rayonakh Sankt-Peterburga i Kryma [Ground-level ozone in non-industrial areas of St. Petersburg and Crimea]. *Trudy Karadagskoy nauchnoy stantsii im. T.I. Vyazemskogo – Prirodnogo zapovednika RAN*, 2022, 2 (22), pp. 53-61. (In Russ.)

9. Lomova O.A., Kirilov A.A. Air pollution by volatile organic compounds // *E-Scio*, 2023, no. 4 (79). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-vozduha-letuchimi-organicheskimi-soedineniyami> (accessed 30.07.2023). – Text: electronic. (In Russ.)

10. Perov S.P., Khrgian A.Kh. *Sovremennyye problemy atmosfernogo ozona* [Modern problems of atmospheric ozone]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 288 p. (In Russ.)

11. Perspektiva primeneniya programmno-apparatnogo kompleksa PAK-8816 pri postroyenii global'noy sistemy monitoringa zagryazneniya atmosfernogo vozdukha [The prospect of using the software and hardware complex PAK-8816 in the construction of a global system for monitoring atmospheric air pollution] / V.P. Chelibanov, S.N. Kotelnikov, N.V. Smirnov, E.A. Yassenko. *Biosfera*, 2015, no. 7 (1), pp. 26-30. (In Russ.)

12. *Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) vrednykh veshchestv v vozdukhke rabochey zony: Gigiyenicheskiye normativy. GN 2.2.5.1313-03* [Maximum allowable concentrations (MAC) of harmful substances in the air of the working area: Hygienic standards. GN 2.2.5.1313-03.]. Moscow: Rossiyskiy registr potentsial'no opasnykh khimicheskikh i biologicheskikh veshchestv Minzdrava Rossii, 2003. 268 p. (In Russ.)

13. Senik I.A. *Ozon v atmosfere nad gornymi rayonami severnogo Kavkaza* [Ozone in the atmosphere over the mountainous regions of the North Caucasus]: avtoref. diss.... kand. fiz.-mat. nauk. Moscow, 2004. 28 p. (In Russ.)

Лапченко Владимир Александрович
научный сотрудник Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН – филиала Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Феодосия, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-6441-710X, e-mail: ozon.karadag@gmail.com

Симакина Татьяна Евгеньевна
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы метеорологического факультета Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8959-273X, e-mail: tatiana.simakina@gmail.com

Крюкова Светлана Викторовна
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы метеорологического факультета Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8241-5343, e-mail: krukos@rambler.ru

14. Smyshlyaev S.P., Galin V.Ya. Issledovaniye vliyaniya izmeneniy stratosfernogo ozona na khimiyu troposfery [Study of the influence of changes in stratospheric ozone on the chemistry of the troposphere]. *Uchenyye zapiski RGGMU*, 2016, no. 44, pp. 165-179. (In Russ.)

15. Kholoptsev A.V., Nikiforova M.P. Rol' izmeneniy solnechnoy aktivnosti i sostoyaniya ozonosfery v global'nom zatemenenii zemnoy atmosfery [The role of changes in solar activity and the state of the ozonosphere in the global dimming of the earth's atmosphere]. *ScienceRise*, 2014, no. 5, pp. 23-35. (In Russ.)

16. Shalygina I.Yu., Kuznetsova I.N., Lapchenko V.A. Rezhim prizemnogo ozona na stantsii Karadag v Krymu po nablyudeniyam v 2009-2018 gg. [Surface ozone regime at the Karadag station in Crimea according to observations in 2009-2018]. *Gidrometeorologicheskkiye issledovaniya i prognozy*, 2019, no. 2 (372), pp. 102-113. (In Russ.)

17. Bates David V. Ambient Ozone and Mortality. *Epidemiology*, 2005, no. 16 (4), pp. 427-429.

18. Organic material in the global troposphere / R.A. Duce, V.A. Mohnen, P.R. Zimmerman et al. *Rev. Geophys. and Space Phys.*, 1983, v. 21, no. 4, pp. 921-952.

19. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer / Monks P.S. et al. *Atmos. Chem. Phys.*, 2015, v. 15, pp. 8889-8973.

20. Tropospheric Ozone Assessment Report: Database and Metrics Data of Global Surface Ozone Observations / Schultz M.G. et al. *Elementa – Science of the Anthropocene*, 2017, 5:58, 26 p.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 03.09.2023

Accepted: 30.08.2024

Vladimir A. Lapchenko
Researcher of the Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky – Nature Reserve of the RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the RAS, Feodosia, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-6441-710X, e-mail: ozon.karadag@gmail.com

Tatiana Ye. Simakina
Cand. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor at the Department of Experimental Atmospheric Physics of the Faculty of Meteorology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-8959-273X, e-mail: tatiana.simakina@gmail.com

Svetlana V. Kryukova
Cand. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor at the Department of Experimental Atmospheric Physics of the Faculty of Meteorology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-8241-5343, e-mail: krukos@rambler.ru