

## Приземный озон на побережьях Балканского полуострова и Крыма

И.Ю. Шалыгина<sup>1</sup>, И.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, А.М. Звягинцев<sup>2</sup>, В.А. Лапченко<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Гидрометцентр России

123242, г. Москва, Б. Предтеченский пер., 11–13

<sup>2</sup>Центральная аэрологическая обсерватория

141700, г. Долгопрудный, Московская обл., ул. Первомайская, 3

<sup>3</sup>Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН  
298188, г. Феодосия, пгт. Курортное, ул. Науки, 24

Поступила в редакцию 28.01.2017 г.

Проведено сравнение данных измерений приземной концентрации озона на шести прибрежных станциях Болгарии, Греции, Черногории и России. Для каждой станции получены оценки сезонной и суточной изменчивости озона. Показано, что отличия режимов озона связаны с микроклиматическими и топографическими особенностями станций, удаленностью от акватории и уровнями антропогенного загрязнения. Особое внимание уделено появлению озоновых эпизодов. Показано, что масштабный озоновый эпизод в конце лета 2011 г. стал следствием продолжительной аномальной погоды, а высокие концентрации озона ( $160\text{--}200\text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) образовались в шлейфах предшественников озона, поступавших из районов прикаспийских газовых и нефтяных разработок.

*Ключевые слова:* прибрежный озон, пространственная и временная изменчивость приземного озона, озоновый эпизод; surface ozone, spatial and temporal variability of surface ozone, ozone episode.

### Введение

Описание режима приземного озона (далее озон) на континентальных станциях, расположенных на фоновых территориях (сельского типа) и находящихся под антропогенным влиянием, представлено во многих научных публикациях [1–12]. В частности, в работах [4, 5, 9–11] проведено сравнение режима озона в нескольких крупных европейских городах, а в [2, 6, 7, 12] – в сельской местности. В работе [8] описаны отличия суточного хода озона в городах и сельской местности, а также показаны их связи с суточным ходом выбросов загрязнений в урбанизированной местности. В [2, 3, 6] сравниваются режимы озона на низменных и горных (лежащих на высотах над уровнем моря, сравнимых с высотой верхней границы пограничного слоя атмосферы) станциях.

Задача сравнить изменчивость озона в приземном воздухе на прибрежных станциях продиктована рядом причин. Во-первых, знание временной и пространственной флуктуаций малой газовой составляющей, влияющей на фотохимические процессы в атмосфере [13–16], в регионах с морским климатом представляет фундаментальный научный интерес.

Регулярные измерения озона начаты в курортной зоне на побережье Черного моря (Сочи, Карадаг) [17, 18]. Учитывая, что в открытом доступе [19] находятся данные наблюдений озона на европейской сети станций, отдельный интерес представляет сравнение режима озона на станциях прибрежной зоны, расположенных примерно в одном климатическом поясе.

При выборе данных для анализа принимались во внимание высота станции над уровнем моря, удаленность от акватории и типовая характеристика. В настоящей работе основной акцент сделан на сравнение озона на станциях черноморского бассейна (Карадаг, Варна, Бургас), Ионического моря (Ано-Лиосия, Салоники) и Адриатики (Бар). Обсуждаются сезонная и суточная изменчивости концентрации озона на выбранных станциях, а также условия формирования эпизода высокого уровня озона, зафиксированного на многих станциях Средиземноморского региона и Черноморья в 2011 г.

### Базы данных и материалы исследования

С учетом того обстоятельства, что ряды доступных данных в базе Airbase [19] закончились на момент подготовки статьи 2011 г., на начальном этапе наших исследований было решено ограничиться сравнением озона на станциях в период 2010–2011 гг. Для анализа использованы часовые концентрации приземного озона; длина рядов составила от 15 до 17,5 тыс. разовых измерений.

\* Ирина Юрьевна Шалыгина (shalygina@mecom.ru); Ирина Николаевна Кузнецова (muza@mecom.ru); Анатолий Михайлович Звягинцев (azyvagitsev@cao-rhms.ru); Владимир Александрович Лапченко (ozon.karadag@gmail.com).

Отметим некоторые особенности станций, данные синхронизированных измерений которых использованы в статье.

Станция фоновое экологического мониторинга Карадаг расположена на северо-восточном склоне горы Святая ( $44^{\circ}55'$  с.ш.,  $35^{\circ}14'$  в.д.) на высоте  $\sim 180$  м н. у. м. в 1 км от береговой зоны, удалена от крупных промышленных источников загрязнения более чем на 100 км [17, 18].

Станция Варна ( $43^{\circ}23'$  с.ш.,  $27^{\circ}89'$  в.д.) расположена в черте города на высоте 60 м н. у. м. в 3 км от побережья. Станция мониторинга Бургас ( $42^{\circ}52'$  с.ш.,  $27^{\circ}37'$  в.д.), характеризующаяся как пригородная (suburban), расположена на высоте 17 м н. у. м. в 8 км от береговой линии.

Станция Бар ( $42^{\circ}10'$  с.ш.,  $19^{\circ}10'$  в.д.) — самая западная из выбранных, она расположена в 0,7 км от берега на высоте 25 м н. у. м.

Станция Салоники ( $40^{\circ}63'$  с.ш.,  $22^{\circ}94'$  в.д.) — городского типа, находится в 0,6 км от береговой линии. Другая греческая станция Ано-Лиосия ( $38^{\circ}08'$  с.ш.,  $23^{\circ}69'$  в.д.) — самая южная из рассмотренных станций, пригородного типа, расположена на высоте 165 м н. у. м.

## Сезонная и суточная цикличность концентрации озона

Несмотря на небольшую длину синхронизированных рядов наблюдений, имеющиеся данные измерений на шести станциях отражают общие закономерности изменчивости концентрации озона в прибрежных районах, совпадая с описанными другими авторами характеристиками озонового режима для зарубежных станций мониторинга [2, 6]. На рис. 1 представлен усредненный суточный ход концентрации озона в приземном воздухе на станциях, расположенных на побережьях морей в широтном поясе  $38$ – $45^{\circ}$  с.ш. Как и на континентальных станциях (например, [2, 6]), во всех пунктах имеет место выраженная сезонная цикличность содержания приземного озона с переходом от зимнего минимума к летнему максимуму.

В зимний сезон концентрация озона на станциях изменяется, по усредненным данным, в диапазоне  $30$ – $60$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  (на городской ст. Салоники —  $15$ – $25$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ). Амплитуда внутрисуточных колебаний незначительная, примерно  $10$ – $20$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ , на самой южной ст. Ано-Лиосия — около  $35$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Здесь, в отличие от характерного для береговых станций бимодального суточного хода с примерно равновесными ночным и послеполуденным максимумами, ночной максимум не формируется. От общего в зимние месяцы также отличается суточный ход озона на ст. Карадаг — он практически отсутствует; усредненная суточная амплитуда концентрации озона здесь менее  $10$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  [17, 18].

Весной, благодаря усилению вертикального перемешивания и активному поступлению из свободной тропосферы, количество озона в приземном слое возрастает. Как видно на рис. 1, на всех станциях

(за исключением ст. Карадаг и Ано-Лиосия) сохраняется бимодальный суточный ход, а главным суточным максимумом становится послеполуденный с диапазоном колебаний  $70$ – $80$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ , в Салониках (станция городского типа) — около  $50$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Специфические черты по сравнению с другими приморскими станциями проявляются в суточной динамике озона весной на ст. Бар. Здесь, менее чем в 1 км от морского берега, наблюдается наибольший суточный максимум (около  $100$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ); он формируется на 2–3 ч позже, чем на других обсуждаемых станциях — в период  $16:00$ – $19:00$ . Можно предположить, что эта станция часто оказывается в шлейфе антропогенного загрязнения и оправдывает статус станции «транспортного» (traffic) типа [19].

На приморских болгарских станциях Варна и Бургас режим озона в весенние месяцы, как и большую часть года, мало отличается. Но следует отметить, что на ст. Бургас, расположенной н. у. м. ниже других станций ( $H = 17$  м), в ночное время наблюдаются и практически не меняются самые малые концентрации озона. Лишь на «городской» ст. Салоники ( $H = 27$  м) уровень озона зимой и весной ниже, чем в Бургасе.

На ст. Карадаг весной в ночное время и утром озона больше, чем на болгарских причерноморских станциях, расположенных на  $120$ – $160$  м ниже, при том что дневной максимум озона на ст. Карадаг по величине ( $70$ – $76$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) и времени образования близок к максимумам, наблюдаемым в Варне и Бургасе.

Летом для большинства приморских станций характерны максимальная амплитуда суточного хода концентрации озона, образование главного послеполуденного максимума и наличие вторичного ночного максимума (см. рис. 1). Отметим, что уровни озона на побережье Греции и Черногории выше (днем  $110$ – $120$ , ночью  $50$ – $70$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), чем на черноморских станциях, расположенных севернее, где и в ночные часы озона значительно меньше. Резко отличается от других усредненный суточный ход озона на ст. Карадаг. Концентрация озона здесь ночью больше, чем на черноморских станциях Болгарии, почти в два раза (около  $80$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), днем — примерно на  $20$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  ( $100$ – $110$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), но меньше, чем на более южных станциях Адриатики. Нельзя не заметить смещения растянутого пика суточного максимума на ст. Карадаг на вечерние часы на  $17:00$ – $20:00$ , такая же особенность имеет место на ст. Бар в Черногории.

Осенью при общем понижении уровня озона (примерно на  $40$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  днем и на  $20$   $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  ночью по сравнению с летними месяцами) на всех станциях сохраняются общие черты летнего суточного хода и закономерности в различиях режимов озона между станциями.

Отметим некоторые особые черты режимов озона на обсуждаемых станциях.

На ст. Ано-Лиосия (Греция), расположенной примерно на высоте ст. Карадаг (табл. 1) в 10 км от берега, в течение года преобладает одномодальный суточный ход озона с минимумом в  $5:00$ – $7:00$  (зимой на 1 ч позже) и близким к местному полудню

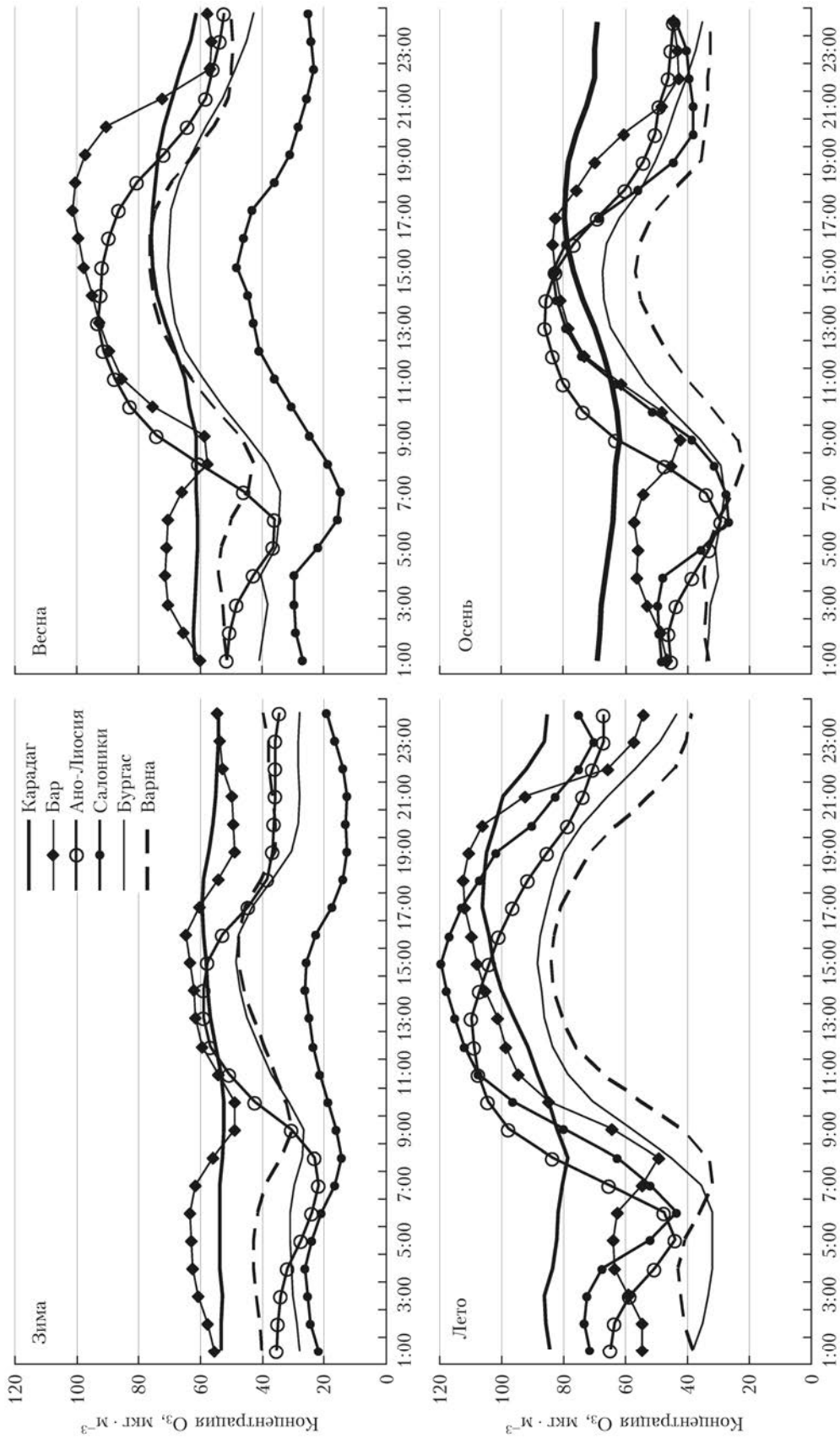


Рис. 1. Сезонно-суточный ход концентрации озона 2010–2011 гг.

Характеристики станций мониторинга

Станция	Страна	Высота н. у. м., м	Удаленность от морского берега, км	Северная широта, град	Средняя годовая концентрация озона, $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$
Карадаг	Россия	180	1	45	68
Варна	Болгария	60	3	43	48
Бургас	Болгария	17	8	43	48
Салоники	Греция	27	0,6	41	47
Ано-Лиосия	Греция	165	10	38	59
Бар	Черногория	25	0,7	42	68

суточным максимумом. Усредненная за год концентрация — около  $60 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . По-видимому, эта станция в большей степени относится к континентальным равнинным с незначительным антропогенным влиянием.

Режим озона на прибрежной станции городского типа Салоники (в 0,6 км от береговой линии) имеет специфические свойства: в зимне-весенний сезон содержание озона здесь самое низкое в сравнении с другими станциями, летом концентрация озона больше, чем на других станциях, а теплой средиземноморской осенью — такая же, как на соседних станциях. Суточный ход в течение года имеет ночной и главный дневной максимумы и достаточно глубокий утренний минимум. Все это в совокупности может указывать, на фоне общих физических закономерностей формирования уровня озона, на два локальных фактора влияния: 1) резкий рост техногенной нагрузки в летне-осенний период, способствующий фотохимической генерации озона при высокой ультрафиолетовой облученности; 2) бризовая циркуляция, обеспечивающая ночью поступление озона из атмосферного пограничного слоя, прерываемое в утренние часы вследствие смены направления морского бриза.

На ст. Бар в Черногории также проявляются признаки влияния бризовой циркуляции. Ее расположение вблизи автомагистрали и особенности рельефа (здесь краевые хребты Динарского нагорья круто обрываются к узкой прибрежной полосе), по-видимому, и определяют повышенный уровень озона в районе станции.

В контексте изучения режима озона на Черноморском побережье его характеристики на побережье Болгарии представляют для нас особый интерес. На пригородной ст. Бургас во все сезоны наблюдается одномодальный суточный ход озона, в отличие от расположенной на 100 км севернее ст. Варна. На последней (3 км от берега) во все сезоны проявляется слабовыраженный ночной максимум концентрации озона, превышающий примерно на  $10 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  ночной уровень озона в Бургасе. При этом следует учитывать, что Варна расположена на склоне холмов, вершины которых немного выше 300 м. В ночное время здесь возможно влияние стоковых ветров, обеспечивающих пополнение озоном приземного воздуха. Станция Бургас находится вблизи побережья Бургаского залива и нескольких озер; по-видимому, большая площадь водной поверхности в регионе существенно влияет на микроклиматические условия,

в частности способствуя слабому перемешиванию самых нижних слоев воздуха (в ночное время) без интенсивного вертикального обмена, что обеспечивает стабильный уровень озона в пределах  $30\text{--}35 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  большую часть года.

Особенности временной изменчивости озона на ст. Карадаг подробно описаны в публикациях [17, 18]. Здесь важно отметить, что совпадение наших выводов, полученных на двухлетней выборке (2010–2011 гг.), с результатами анализа продолжительных рядов наблюдений указывает на репрезентативность выбранных данных и обоснованность сравнений с другими станциями. С учетом сезонных колебаний и формы суточной динамики концентрации озона на станции, можно, по-видимому, утверждать, что отличающийся от равнинных станций режим озона на ст. Карадаг формируется в условиях преобладающего (в течение суток) вертикального обмена внутри планетарного пограничного слоя и имеет черты режима озона в регионах без значительного антропогенного влияния.

Вместе с тем зафиксированные на ст. Карадаг высокие уровни озона свидетельствуют о необходимости установления причин и условий их образования. Вероятность опасного увеличения озона в приземном воздухе оценим по частотному распределению суточных максимумов концентрации озона.

## Максимальные суточные концентрации $\text{O}_3$

С использованием наиболее полных рядов данных рассчитана частота максимальной за сутки концентрации озона на ст. Карадаг, Бар, Варна, Ано-Лиосия по наблюдениям в 2010–2011 гг. Оказалось, что на диапазон максимальной суточной концентрации  $60\text{--}100 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  приходится около 50% повторяемости данных измерений на ст. Карадаг (при выраженной асимметрии распределения), на ст. Бар — около 45, 65% на ст. Варна и около 55 — на ст. Ано-Лиосия (рис. 2).

Доля максимальных за сутки концентраций озона выше  $100 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  составляет около 40% на ст. Карадаг и Ано-Лиосия, на ст. Бар — около 50%, в Варне только 20%. Доля превышающих российский гигиенический норматив (ГН) для разовых измерений концентрации озона  $\text{O}_{3\text{м.р.}}$  —  $160 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  [20] в Варне составляет менее 1%, на других станциях — от 1 до 4%.

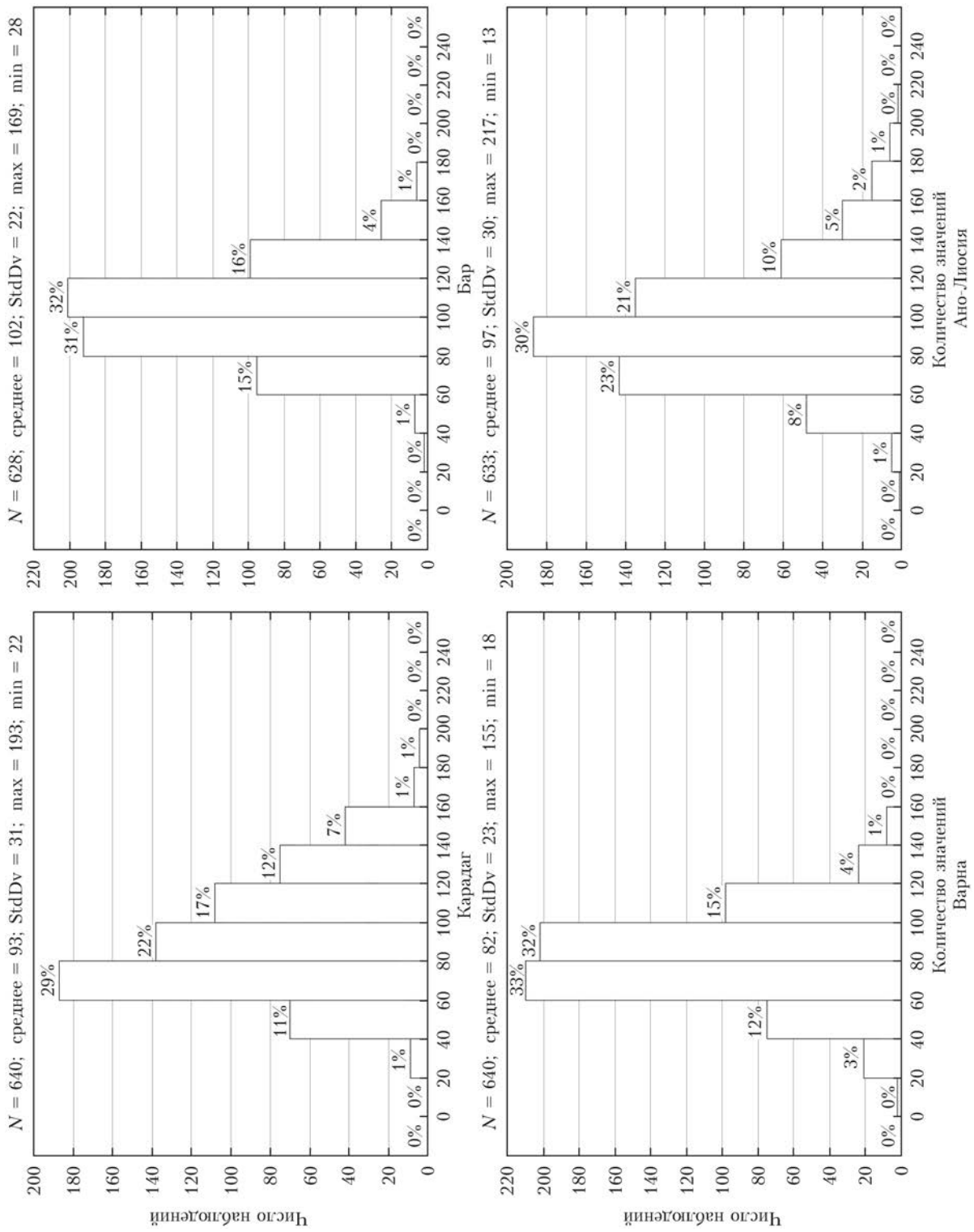


Рис. 2. Распределение максимальных суточных концентраций  $O_3$  в 2010–2011 гг.;  $N$  – всего число значений; StdDv – стандартное отклонение

В табл. 2 приводятся данные о количестве дней превышения  $O_{3\text{м.р.}}$  и наибольшая зафиксированная в 2010–2011 гг. концентрация  $O_3$  на станциях. Самая высокая концентрация  $O_3$  ( $217 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) наблюдалась на самой южной станции Ано-Лиосия. Там же зафиксировано максимальное количество дней, в которое была превышена величина  $160 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  – за два года 29 раз.

Таблица 2

Число дней с максимальной концентрацией озона больше  $160 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ , максимальная из наблюдавшихся в 2010–2011 гг. концентрация  $O_3$

Станция	Количество дней	$O_3 \text{ max}$
Карадаг	12	193
Варна	0	155
Бургас	0	157
Салоники	12	184
Ано-Лиосия	29	217
Бар	6	169

Количество дней с превышением ГН озона на ст. Карадаг за два года составило 12, как и в Салониках. Максимальная зафиксированная на ст. Карадаг концентрация  $193 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  оказалась наибольшей за период наблюдений в 2008–2012 гг. [17]. Важно отметить, что из 14 случаев превышения величины  $160 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  в этот период 12 случаев зафиксированы в 2011 г. При этом из двух лет именно на 2011 г. пришлось максимальное число случаев опасных концентраций ( $> 160 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ): в Салониках 10 (за два года 12), на ст. Ано-Лиосия 22 из 29 случаев, на ст. Бар все случаи пришлось на 2011 г.

По нашим расчетам, усредненная за год концентрация озона на всех обсуждаемых станциях в 2011 г. была больше, чем в 2010 г., особенно заметно в период с марта по сентябрь, что отражают приведенные на рис. 3 данные для двух станций. Обращает на себя внимание пиковый выброс в августе 2010 г. на ст. Бургас, отсутствующий на средиземноморских станциях, который, возможно, является следствием массовых пожаров на территории Центральной России [21–23].

Образование высоких уровней озона – предмет пристального внимания, особенно если опасные для окружающей среды и здоровья человека концентрации озона обнаруживаются на нескольких станциях и фиксируются продолжительное время. Ниже кратко обсуждаются многократно зафиксированные в 2011 г. так называемые «озоновые эпизоды» с превышением концентрациями озона величины  $160 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

### Эпизоды экстремально высоких концентраций $O_3$ в 2011 г.

Важно отметить, что летом 2011 г. в Европе не наблюдалось крупных природных или антропогенных пожаров, которые, как на ЕТР в 2010 г. [21–23], могли бы повлиять на тропосферный озон. Но погодные условия были аномальными, а в конце лета установилась сухая и жаркая погода. Сентябрь 2011 г.

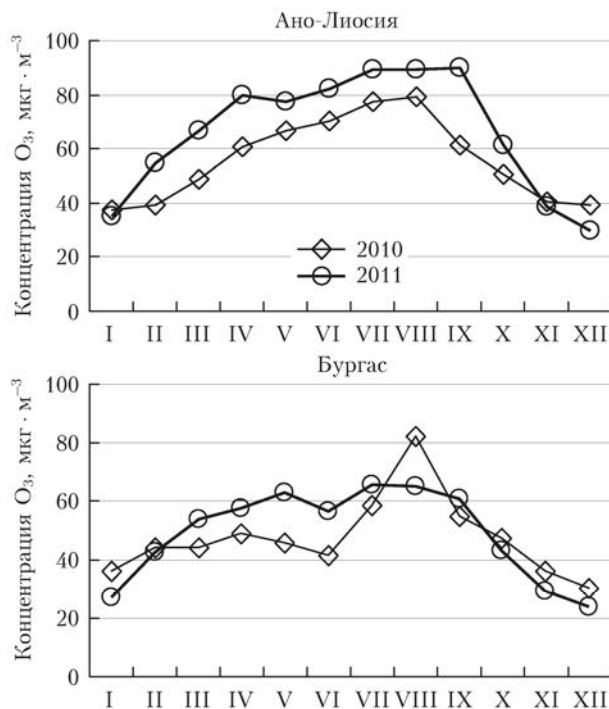


Рис. 3. Средняя за месяц концентрация  $O_3$  в 2010 и 2011 гг.

стал самым жарким в Европе за всю историю проводившихся здесь метеонаблюдений [24]. Озоновые эпизоды фиксировались на большинстве обсуждаемых станций с середины июля (на ст. Ано-Лиосия – с мая), за исключением станций на побережье Болгарии, где уровень озона резко увеличивался, но не превышал ГН. Для полноты картины отметим, что концентрация озона более  $150 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  фиксировалась в отдельные дни на ст. Карадаг и греческих станциях вплоть до 7 октября, в Черногории (ст. Бар) – до середины сентября 2011 г.

Образование опасных концентраций озона в заповеднике Карадаг – аномальное явление; появление эпизода в конце лета увеличивает значимость события. Аномально высокий уровень озона в приземном воздухе фиксировался с 29 августа по 3 сентября, концентрация озона в эти дни повышалась до  $160–193 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  (рис. 4). На ст. Ано-Лиосия в этом эпизоде наблюдалась вторая из самых высоких за два года концентрация  $O_3$ , равная  $207 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  (31 августа); в первых числах сентября концентрация озона здесь повышалась до  $188–199 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . На прибрежных станциях Болгарии также фиксировался резкий рост уровня озона, но пороговый уровень не был превышен – в Варне 31 августа было зафиксировано  $147 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Обращает на себя внимание тот факт, что экстремально высокие концентрации наблюдались и на расположенных выше других над уровнем моря станциях (Карадаг и Ано-Лиосия).

Анализ перемещения воздушных масс и синоптической ситуации в экстремальном озоновом эпизоде дает основания сделать выводы, что в первую очередь аномально жаркая и сухая погода в южных широтах создала предпосылки для значительной фотохимической наработки озона в нижней тропосфере.

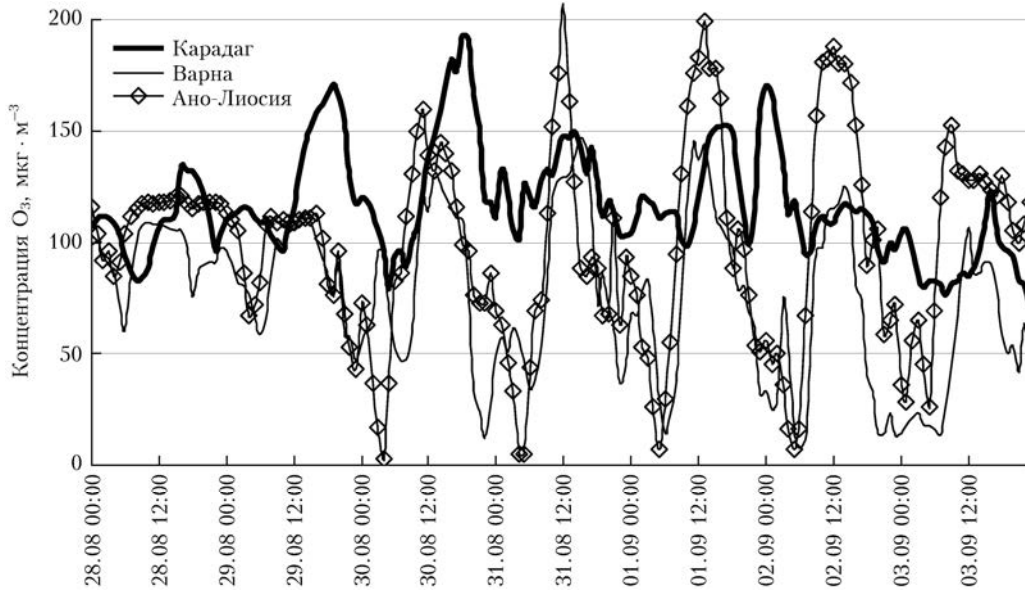


Рис. 4. Временной ход концентраций  $O_3$  28 августа – 3 сентября 2011 г.

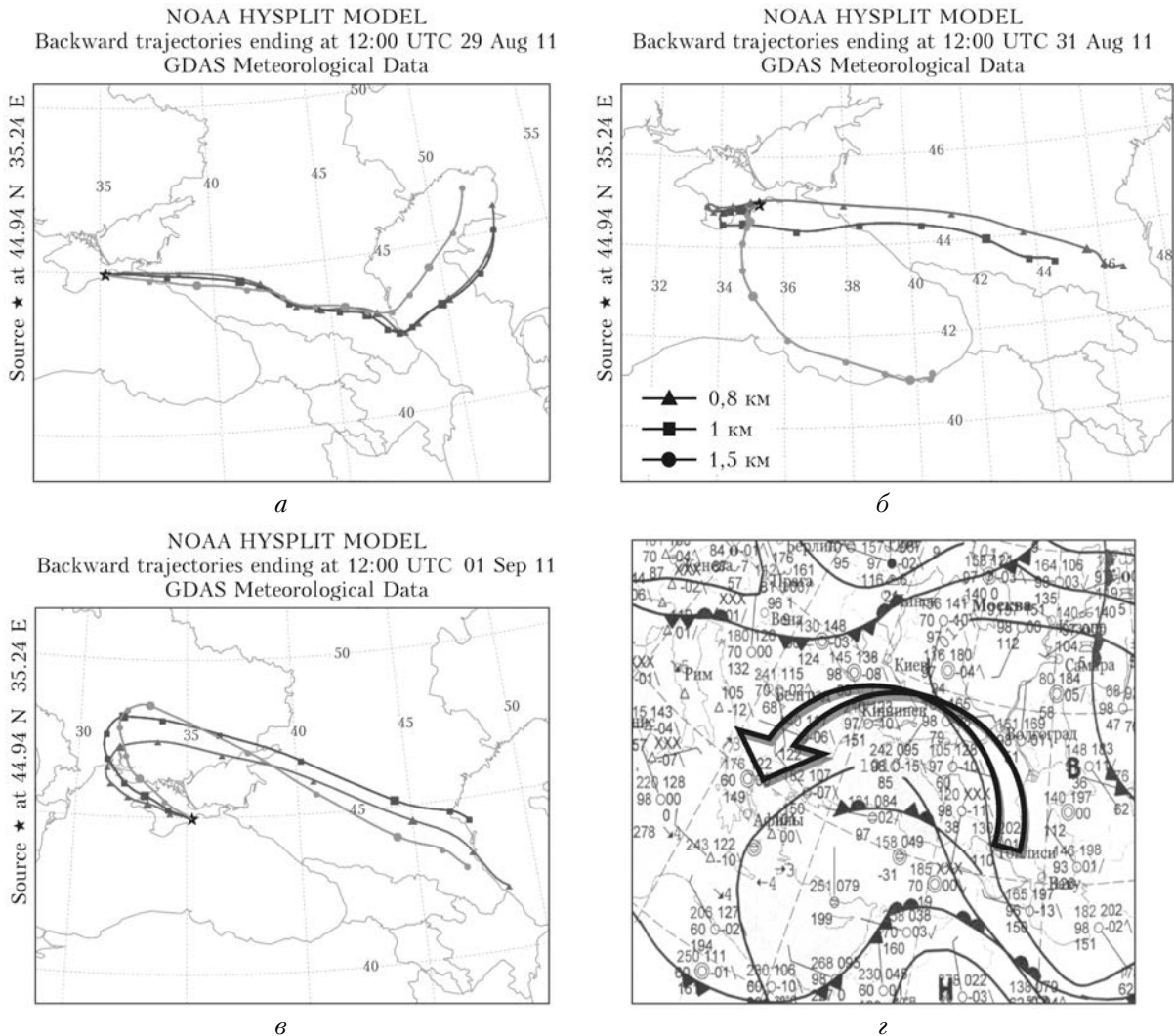


Рис. 5. Траектории пришедших в Крым воздушных масс: а – в начале эпизода; б – при экстремальном уровне озона; в – перед окончанием эпизода; г – синоптическая карта 30 августа (стрелка – перенос воздушных масс в нижней тропосфере, В – центр антициклона, Н – центр циклона)

Ключевую роль, по-видимому, сыграло поступление углеводородов из районов нефтяных и газовых разработок Каспийского региона, над которым перемещалась приходившая в Крым и на Балканы воздушная масса. На рис. 5, а–в показаны траектории движения воздушных масс в течение 72 ч перед их поступлением в Крым. Существенным оказалось и то, что термобарическая структура находившегося там антициклона (рис. 5, г) обеспечивала дальний перенос предшественников озона и благоприятные условия для активной генерации озона в шлейфах антропогенного загрязнения при высоком уровне ультрафиолетового облучения. Заметим попутно, что на Кисловодской высокогорной научной станции (~2 км н. у. м.) неоднократно фиксировалось резкое повышение озона при поступлении воздушных масс с Каспия [25]. Нельзя исключить, что сильное озонное загрязнение охватывало значительные по площади и численности населения территории, но в отсутствие регулярных наблюдений инструментальных подтверждений этому не получено.

### Заключение

Впервые проведенное сравнение данных измерений концентрации озона на станциях Болгарии, Греции, Черногории и Крыма позволило предварительно установить общие и отличительные черты сезонной и суточной изменчивости озонового режима в прибрежных районах.

Результаты локальных исследований в определенной мере расширяют наши представления о влияющих на тропосферный озон процессах. Установлено, что микроклиматические и топографические особенности, удаленность от акватории и степень подверженности антропогенному загрязнению существенно влияют на локальный режим озона — сезонную динамику и форму внутрисуточного хода, способствуя высокой неоднородности поля концентрации приземного озона.

С позиций актуальности изучения пространственной и временной изменчивости озона на Черноморском побережье России сделаны выводы о возможности появления высоких уровней озона в регионе, о связи таких эпизодов с аномальными погодными условиями и определенным типом синоптических процессов.

Следует признать, что еще предстоит найти объяснение аномально высоким уровням озона летом и осенью 2011 г., зафиксированным в южных и умеренных широтах Европы.

1. Белан Б.Д., Складнева Т.К. Суточный ход концентрации приземного озона в районе г. Томск // Метеорол. и гидрол. 2001. № 5. С. 50–60.
2. Звягинцев А.М. Основные периодичности временного хода приземного озона в Европе // Метеорол. и гидрол. 2004. № 10. С. 46–55.
3. Сенник И.А., Еланский Н.Ф., Беликов И.Б., Лисицына Л.В., Галактионов В.В., Кортюнова З.В. Основные закономерности временной изменчивости приземного озона на высотах 870 и 2070 м в районе г. Кисловодска // Изв. АН. Физ. атмосфер. и океана. 2005. Т. 41, № 1. С. 78–91.
4. 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 // Изв. АН. Физ. атмосфер. и океана. 2006. Т. 42, № 2. С. 176–190.
5. 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 // Изв. АН. Физ. атмосфер. и океана. 2007. Т. 43, № 2. С. 219–231.
6. Tarasova O.A., Brenninkmeijer C.A.M., Joeckel P., Zvyagintsev A.M., Kuznetsov G.I. A climatology of surface ozone in the extra tropics: Cluster analysis of observations and model results // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7, N 24. P. 6099–6117.
7. Звягинцев А.М., Какаджанова Г., Крученицкий Г.М., Тарасова О.А. Периодическая изменчивость приземной концентрации озона в Западной и Центральной Европе по данным наблюдений // Метеорол. и гидрол. 2008. № 3. С. 38–47.
8. Звягинцев А.М., Какаджанова Г., Тарасова О.А. Изменчивость приземного озона и других малых газовых составляющих атмосферы в мегаполисе и сельской местности // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 1. С. 32–37; Zvyagintsev A.M., Kakadzhanova G., Tarasova O.A. Variability of the surface ozone and other small atmospheric compounds in a megapolis and in a rural region // Atmos. Ocean. Opt. 2010. V. 23, N 3. P. 209–214.
9. 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 // Метеорол. и гидрол. 2010. № 12. С. 26–35.
10. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Тарасова О.А., Шалыгина И.Ю. Изменчивость концентраций основных загрязнителей воздуха в Лондоне // Оптика атмосфер. и океана. 2014. Т. 27, № 5. С. 424–434; Zvyagintsev A.M., Kuznetsova I.N., Tarasova O.A., Shalygina I.Yu. Variations in the concentrations of main air pollutants in London // Atmos. Ocean. Opt. 2014. V. 27, N 5. P. 417–427.
11. 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 // Изв. АН. Физ. атмосфер. и океана. 2015. Т. 51, № 1. С. 39–51.
12. Hjellbrekke A.-G., Solberg S. Ozone measurements 2014 // EMEP/CCC-Report 3/2016. Norway: NILU, 2016. 110 p. URL: <http://www.nilu.no/projects/ccc/reports/cccr3-2016.pdf>
13. Белан Б.Д. Озон в тропосфере. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2010. 525 с.
14. Ивлев Л.С., Супота В.Г. Суточные вариации концентраций озона в приземном слое атмосферы. Атмосферный озон. М.: Гидрометеониздат, 1990. С. 206–210.
15. Alebić-Juretić A. Ozone levels in the Rijeka bay area, Northern Adriatic, Croatia, 1999–2007 // Int. J. Remote Sens. 2012. V. 43. P. 397–400.
16. Kovač-Andrić E., Gvozdić 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. V. 20, N 8. P. 5106–5113.
17. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Приземный озон в Крыму // Пространство и время. 2014. № 2(16). С. 254–257.
18. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. Малые газовые составляющие атмосферы в Карадагском природном заповеднике в Крыму // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 2. С. 178–181; Lapchenko V.A., Zvyagintsev A.M. Trace atmospheric gases in the Karadag nature reserve



- in Crimea // *Atmos. Ocean. Opt.* 2015. V. 28, N 4. P. 308–311.
19. *The European Environment Agency*. URL: <http://www.eea.europa.eu>
20. *Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».*
21. *Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б., Березина Е.В., Елохов А.С., Иванов В.А., Панкратова Н.В., Постыляков О.В., Сафронов А.Н., Скороход А.И., Шумский Р.А.* Газовые примеси в атмосфере над Москвой летом 2010 г. // *Изв. АН. Физ. атмосф. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 729–738.
22. *Звягинцев А.М., Блюм О.Б., Глазкова А.А., Котельников С.Н., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А., Лезина Е.А., Миллер Е.А., Миляев В.А., Попиков А.П., Семутникова Е.Г., Тарасова О.А., Шалыгина И.Ю.* Загрязне-
- ние воздуха на Европейской части России и в Украине в условиях жаркого лета 2010 г. // *Изв. АН. Физ. атмосф. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 757–766.
23. *Kononov I.B., Beekmann M., Kuznetsova I.N., Yurova A., Zvyagintsev A.M.* Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: Integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11, N 19. P. 10031–10056.
24. *Гидрометцентр России*. URL: <http://www.meteoinfo.ru/climate/climat-tabl3/>
25. *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 // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2001. V. 37, suppl. 1. P. S120–S130.

*I.Yu. Shalygina, I.N. Kuznetsova, A.M. Zvyagintsev, V.A. Lapchenko.* **Surface ozone at coasts of the Balkans and the Crimea.**

Data on the surface ozone concentrations measured at six coastal stations in Bulgaria, Greece, Montenegro, and Russia are compared. Seasonal and diurnal ozone cycles are analyzed for each station. It is shown that differences in ozone regimes are connected with microclimatic and topographic features of the stations, distance from the sea, and level of anthropogenic pollution. High ozone episodes are considered. It is shown that the large-scale ozone episode in the late summer of 2011 was a result of the prolonged abnormal weather, and high ozone concentrations ( $160\text{--}200\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) were formed in plumes of ozone precursors arrived from territories of Caspian gas and oil developments.