

Исследования озонового слоя атмосферы в Черноморско-Каспийском регионе

И. М. Юсифов, М. Е. Озел, Х. Ялдерим, Н. В. Руженцев¹, В. П. Чурилов¹,
Г. К. Гушин², Л. Г. Гущина², З. Мусаев³, Р. Азимзаде³

*Institute of Informatics, Marmara Research Centre, Scientific and Technical Research Council of Turkey,
(TUBITAK), P.K. 21, 41470, Gebze-Kocaeli / Turkey*

¹ *Радиоастрономический институт НАН Украины,
Украина, 61002, Харьков, ул. Краснознаменная, 4
E-mail: ruzh@rian.kharkov.ua*

² *Кара-Дагская геофизическая обсерватория,
Украина, Республика Крым, Феодосия, п. Курортное, ул. Науки, 12а*

³ *Государственный комитет гидрометеорологии, Азербайджан*

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2000 г.

Кратко рассмотрены современные методы контроля состояния озонового слоя атмосферы. Приведены результаты такого мониторинга, проводившегося в наземных пунктах, расположенных на Украине (Юг Крыма), в Турции (Гебзе) и в Азербайджане (Баку), а также данные многолетних спутниковых измерений общего содержания озона над этим регионом. Показана актуальность этого направления исследований и целесообразность кооперации и координации усилий стран Черноморско-Каспийского региона при проведении мониторинга озоносферы.

Стисло розглянуто сучасні методи контролю стану озонового шару атмосфери. Наведені результати такого моніторингу, який здійснювався з наземних пунктів, розташованих в Україні (південь Криму), Туреччині (Гебзе) та в Азербайджані (Баку), а також дані багаторічних супутникових вимірювань загального вмісту озону над цим регіоном. Показана актуальність цього напрямку досліджень та доцільність кооперації і координації зусиль країн Чорноморсько-Каспійського регіону при проведенні моніторингу озоносфери.

Озон, являясь незначительным по объему компонентом атмосферы, играет важную роль в жизни человечества. Так, озоновый слой атмосферы (имеющий максимальную концентрацию на высотах 20÷25 км), вследствие своей способности поглощать солнечную ультрафиолетовую радиацию, обеспечивает защиту белковых структур от губительного воздействия ультрафиолета.

Есть основания полагать, что отмеченное в последние годы почти 70 %-е повышение за-

болеваемости раком кожи в Австралии связано с недостаточной информированностью населения о днях, неблагоприятных для пребывания под открытым солнцем. Относительно большое количество таких дней обусловлено, вероятно, близлежащей гигантской озоновой дырой и минидырами в близких к Антарктиде широтах.

Наряду с проблемой истощения стратосферного озона на планете в целом, существует проблема повышения уровней концентра-

ции тропосферного озона в отдельных районах [1]. Так, накопление озона в нижних слоях атмосферы непосредственно влияет на процессы фотосинтеза, вызывает болезни дыхательных путей, уничтожает резиновые и другие искусственные покрытия.

Опасность деградации озонового слоя беспокоит мировую общественность. Как следствие, в 1987 году Монреальским протоколом был определен ряд мер, направленных на двукратное снижение до конца века производства озоноразрушающих веществ в мире.

Черноморско-Каспийский регион отличается развитой индустрией отдыха, в результате чего в курортный сезон его населенность существенно увеличивается. При этом значительная часть данного региона отличается развитой нефтегазовой индустрией и интенсивным использованием рефрижераторной техники, а также довольно интенсивным движением транспорта. Побочные продукты такой деятельности могут приводить к уменьшению количества стратосферного озона, а также, что не менее важно, к локальному росту содержания тропосферного озона.

В связи с этим проведение контроля атмосферного озона и установление взаимосвязи между содержанием озона (в различных слоях атмосферы), угрозой здоровью населения и причинами, вызывающими истощение озона, являются актуальнейшими направлениями прикладной и фундаментальной науки для данного региона.

В настоящее время для осуществления контроля стратосферного озона наиболее распространены оптические методы, основанные на свойствах малых газовых составляющих (МГС), и в том числе озона, поглощать излучение в некоторых участках спектра. В наземной озонметрии используют полосы Хеггинса (300÷360 нм). При этом на практике применяют две основных разновидности оптического метода: квазимонохроматический и интегральный.

Следует заметить, что наиболее точными (и даже эталонными для остальных оптических и неоптических методов озонметрии) являются приборы Добсона, основанные на использовании квазимонохроматического

метода и обеспечивающие 3÷4 %-ю точность измерений [2]. Однако надо иметь в виду, что их стоимость достигает 100 000 долларов США; они имеют довольно большие габариты и отличаются достаточно сложной процедурой измерений. В то же время, наиболее распространенным (по крайней мере, в странах СНГ) является интегральный метод, реализованный на фильтровых приборах М-83, а с 80-х годов – на их модификации М-124. Эти приборы обеспечивают 5÷8 %-ю точность [3] при относительной простоте и меньшей стоимости (около 1500 долларов США) и позволяют, наряду с озонметрическими измерениями, проводить контроль интенсивности ультрафиолетовой радиации.

Весьма мощным и эффективным современным методом изучения озоносферы являются спутниковые измерения [4]. Однако спутниковые радиометры дают несколько меньшую точность измерений и работают не вполне устойчиво (отличаясь временной деградацией своих параметров). Чтобы получать корректную информацию при проведении долговременных измерений, спутниковые данные должны опираться на показания наземных станций. В Черноморско-Каспийском регионе такими станциями могут быть уже действующие пункты в Баку, Крыму, Одессе, Афинах и Софии.

Наряду с наземными и аэрокосмическими средствами дистанционного зондирования содержания озона в инфракрасном диапазоне значительный интерес представляют средства, основанные на регистрации на поверхности Земли теплового излучения озона в спектральных линиях миллиметрового диапазона [5-6]. Эти средства позволяют получать информацию о высотных профилях содержания озона в труднодоступных слоях стратосферы и ионосферы и имеют ряд преимуществ, которые существенно дополняют возможности традиционных методов наблюдения. Так, измерения методом миллиметровой спектроскопии гораздо менее чувствительны к помехам от гидрометеоров и аэрозолей и могут проводиться круглосуточно практически в любую погоду. Все это весьма важно для понимания и изучения механизма влияния возмущающих факторов на состояние озонового

слоя и его временных вариаций различного масштаба. Примером такой измерительной системы может служить спектрометр в составе радиотелескопа МРТ-2, который был построен и поставлен в Marmara Research Center (Турция) Радиоастрономическим институтом НАН Украины в 1995 г. [7].

Очень перспективным с точки зрения точности и масштабов зондирования является метод просвечивания. Эта разновидность упомянутого метода спектроскопии в инфракрасном [8] либо миллиметровом диапазонах, хотя и отличается повышенной сложностью реализации, может обеспечить большой набор наблюдаемых МГС, а также существенно повысить точность мониторинга их высотных профилей концентрации за счет увеличения соотношения сигнал/шум в принятом сигнале. Такие возможности необходимы для осуществления параллельного контроля динамики содержания различных вредных соединений (в том числе и тех, которые ведут к деградации озона). А это весьма важно для понимания причин и источников такого загрязнения атмосферы, а также утончения озонового слоя.

Рассмотрим некоторые результаты мониторинга озонового слоя атмосферы в интересующем нас регионе. Эти данные были получены при участии Украины, Турции и Азербайджана.

Результаты

Динамику озоносферы над Крымским полуостровом (а именно над Кара-Дагской геофизической обсерваторией – 44.9° с. ш., 35.2° в. д.) может кратко охарактеризовать рис. 1.

Из рисунка следует, что среднегодовые величины общего содержания озона (ОСО) изменяются с чередующимися периодами около 4-х лет (сплошная кривая). Десятилетие 1972-1982 гг. характеризуется наиболее четкой повторяемостью экстремумов и значительными амплитудами колебаний уровня ОСО, составившими 34 е. Д. (1 е. Д. – единица Добсона – равна 0,001 атм·см).

Глубокий минимум на кривой, соответствующий 1983 г. (306 е. Д.), возможно, объясняется тем, что облако пепла и газов, выб-

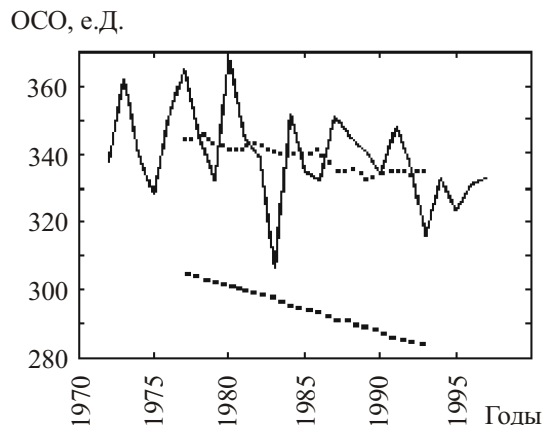


Рис. 1. Вариации среднегодовых значений ОСО над Крымом:

сплошная линия – среднегодовые данные наземных наблюдений; верхняя пунктирная – усредненные данные наземных наблюдений над Крымом; нижняя пунктирная – для сравнения проведены усредненные данные спутниковых наблюдений вариаций ОСО на планете в целом [4]

рошенных на высоту 14÷24 км при извержении вулкана Эль-Чичон (Мексика) в апреле 1982 г. и способствовавших разрушению молекул озона, достигло в декабре 1982 г. Крыма и, постепенно уменьшаясь в концентрации, находилось над ним до июня 1983 г. После 1983 г. периодичность колебаний сохранилась, но амплитуды их уменьшились на 16 е. Д., а средний уровень ОСО уменьшился на 5 е. Д. Подобный эффект, вероятно, был вызван извержением вулкана Пинатубо (Филиппины) в 1992 г.: в 1993 г. над Крымом наблюдался глубокий минимум, составивший 316 е. Д. Возможно, эти факты указывают на то, что из-за загрязнения стратосферы выше критического уровня естественные процессы уже не справляются с функцией восстановления, то есть началась деградация слоя озона, которая четко прослеживается по тренду скользящих 12-летних средних значений ОСО (верхняя пунктирная линия). За последние 20 лет средняя толщина слоя озона над Крымом уменьшилась на 5.5 %. Изменение средней величины ОСО (в е. Д.) над Крымом за этот период можно описать выражением:

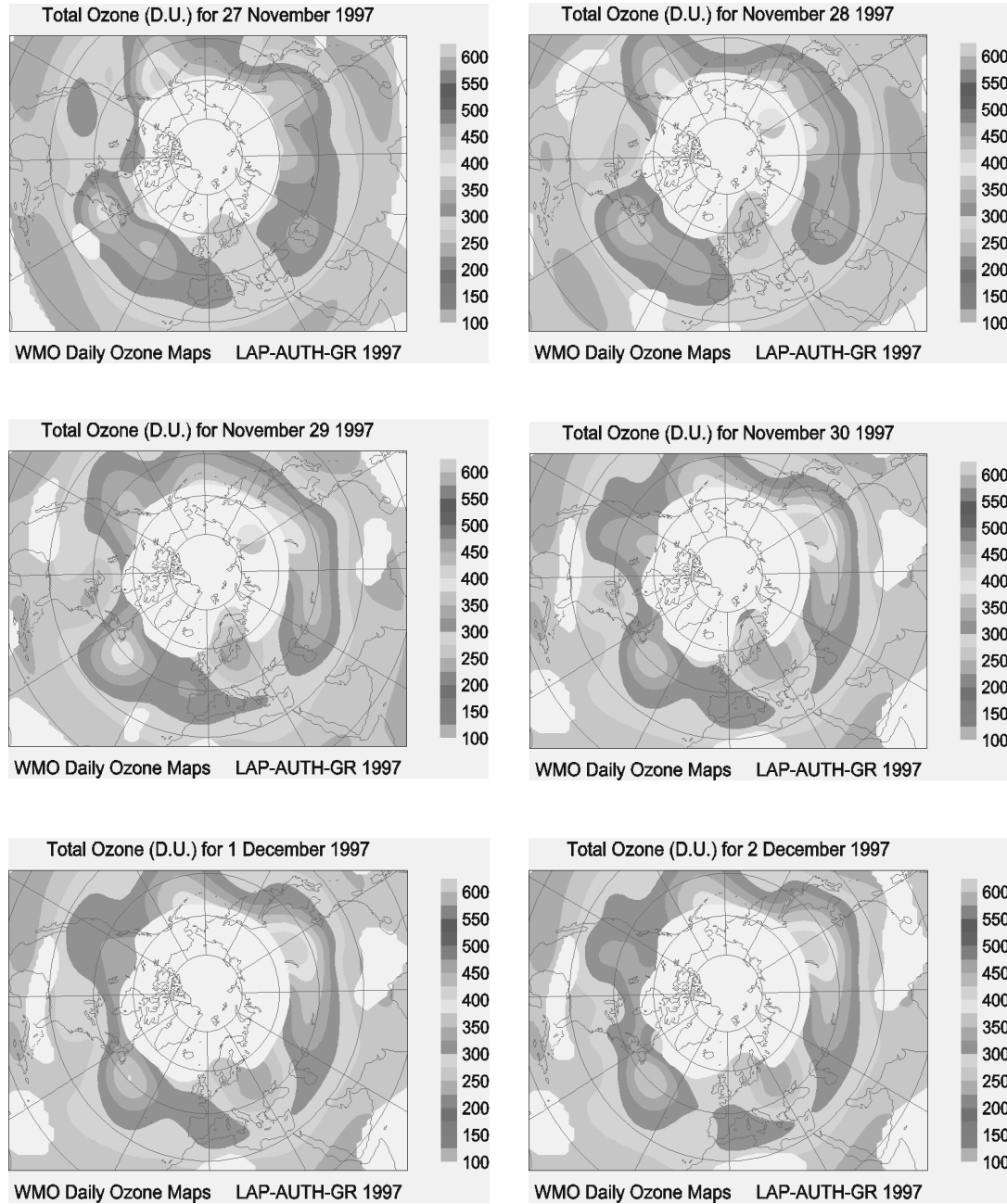


Рис. 2. Пример трансформации озоновой минидыры в Черноморско-Каспийском регионе по данным спутниковых наблюдений, выполненных WMO North Hemisphere Ozone Mapping Center [10]. Карты воспроизведены с любезного разрешения проф. Х. С. Церефоса, Аристотель Университет, Салоники

$$OSO = 343 - 0.73(T - 1980),$$

где T – год, принадлежит периоду 1976 – 1994 гг.

Этот тренд средней величины ОСО можно сравнить с трендом нижней пунктирной кривой. Она отражает усредненные методом

скользящего среднего данные спутниковых наблюдений ОСО за тот же временной период над планетой в целом [4]. Тренд этой зависимости (в е. Д.) может быть описан как:

$$OSO = 301.1 - 1.345 (T - 1980).$$

Верхняя и нижняя пунктирные кривые различаются по величине наклона и по уровню. Это объясняется тем, что большие экваториальные и особенно полярные зоны по данным спутникового зондирования имеют пониженные значения ОСО по сравнению со средними широтами (рис. 2). Кроме того, полярные регионы отличаются значительно более высоким градиентом понижения ОСО [10].

На рисунке 3, а представлены среднемесячные (квадраты), а также максимальные (верхняя кривая) и минимальные (нижняя кривая) дневные, максимальные и минимальные (соответственно треугольники и крестики) месячные значения ОСО над Крымом, усредненные за период 1972 – 1995 гг.

Из рисунка видно, что встречаются очень низкие значения ОСО (188 е. Д.), характерные скорее для антарктической озоновой дыры. К счастью, такие минидыры над Черноморским регионом пока отмечаются не каждый год, но следить за их появлением не-

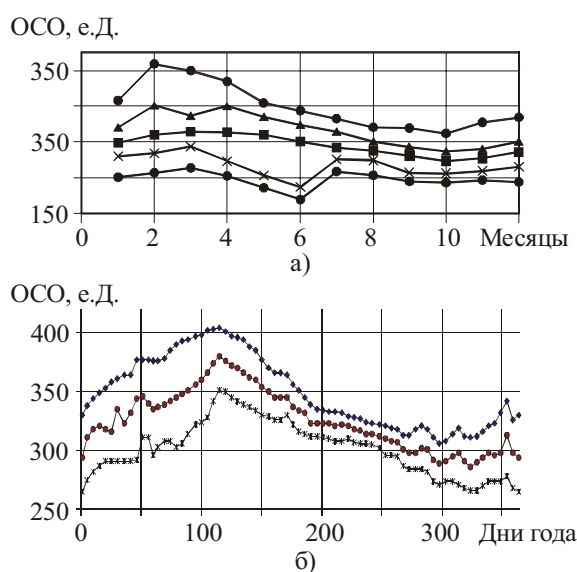


Рис. 3. а) Вариации среднемесячных значений ОСО над Крымом.

б) Сезонный ход среднесуточных значений ОСО (средняя кривая) над Крымом, усредненных за период 1978-1991 гг. по данным спутниковых наблюдений, а также границы дисперсии наблюдавшегося разброса данных (верхняя и нижняя кривые)

обходимо непрерывно, поскольку в этих случаях может более чем в два раза уменьшиться ОСО. Соответствующие государственные учреждения должны информировать население о приближении неблагоприятных для гелиопроцедур дней. Для этого необходимо иметь специальную службу прогнозирования и предупреждения, особенно в курортных зонах.

Для сравнения на рис. 3, б приведены среднедневные (с усреднением за период 1978 – 1991 гг.) значения ОСО, полученные для данной широты с помощью американского спутника, а также верхняя и нижняя границы их дисперсии.

Озонометрические измерения в Азербайджане проводятся на станции Государственного гидрометеорологического комитета в районе Баку (41° с. ш, 49° в. д). С 1995 г. данные, полученные на станции с помощью прибора М – 124, регулярно поставлялись в мировую сеть Всемирной метеорологической организации. На рис. 4, а ромбиками показаны вариации среднедневных значений ОСО за период с сентября 1996 г. по сентябрь 1998 г. Квадратиками отмечен ход среднемесячных значений ОСО (по спутниковым данным, усредненным за период 1979 – 1987 гг.) [11] для широты Баку. Видно хорошее совпадение качественного хода этих сезонных зависимостей, полученных с использованием двух различных способов мониторинга. Что касается количественных отличий, они связаны, главным образом, с различными периодами усреднения экспериментальных данных. Это хорошо видно из рис. 4, б, где на сезонный ход среднемесячных значений ОСО (с усреднением за период 1979 – 1987 гг.) наложены результаты спутниковых наблюдений с пятидневным интервалом выборки с сентября 1996 по сентябрь 1998 года.

Как уже отмечалось, спектральная аппаратура радиотелескопа МРТ-2 (Гебзе, Турция –29° в. д, 41° с. ш.) позволяет проводить измерения формы и интенсивности спектральных линий озона и некоторых других МГС. Пример формы такой спектральной линии, измеренной на МРТ-2 [12], приведен на рис. 5.

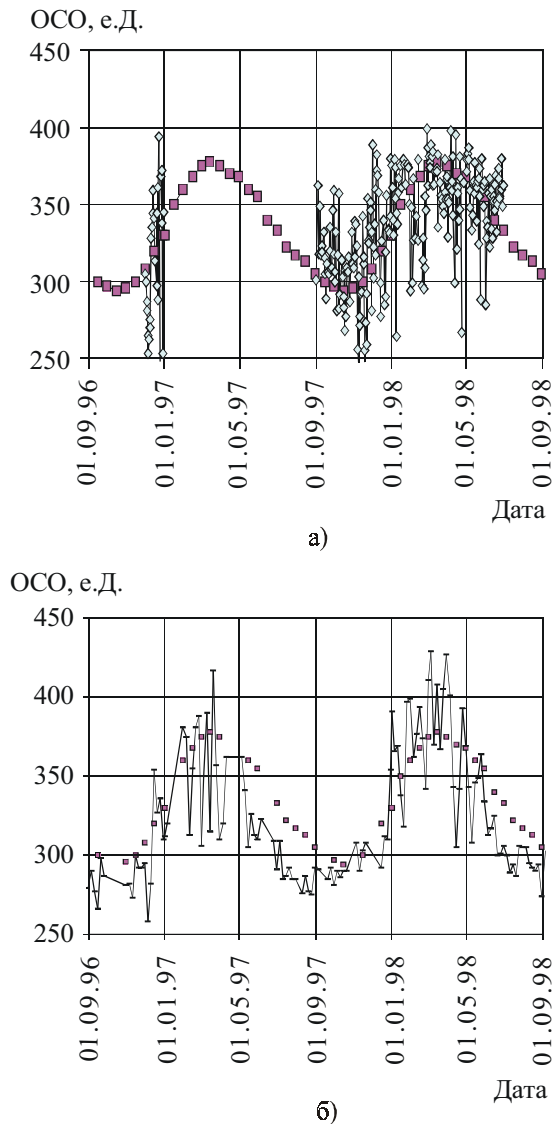


Рис. 4. а) Сезонные вариации ОСО над Баку по данным наземных измерений.
 б) Сезонные вариации ОСО над Баку по данным спутниковых измерений с 5-дневным периодом усреднения.
 Для сравнения на рисунках приведены среднемесячные значения ОСО по данным спутниковых измерений, усредненные за период 1979-1987 гг. (квадратики)

Используя известные в практике дистанционного зондирования методы восстановления параметров МГС, можно на основании формы и интенсивности спектральной линии озона получить высотный профиль его распределения до высот порядка 100 км. Эта возмож-

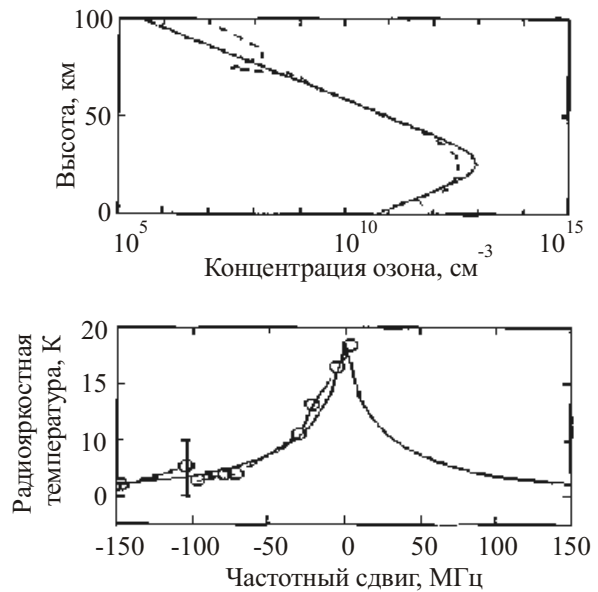


Рис. 5. Пример формы озоновой линии, наблюдавшейся в МРТ-2 на частоте 110836 МГц 22.11.98 (нижний рисунок), а также восстановленные на ее основе (сплошная линия) и на основе US-модели (пунктир) высотные профили концентрации озона (верхний рисунок)

ность в качестве примера продемонстрирована в нижней части данного рисунка.

На рисунке 6 данные, полученные на МРТ-2 методом спектроскопии миллиметрового диапазона (темные ромбики), представлены в сравнении с данными спутниковых измерений, усредненных за период 1979 – 1987 гг. (треугольники) в том же виде, что и на рис. 4. Светлыми ромбиками отмечены данные спутниковых измерений из архива Всемирной метеорологической организации.

Заключение

Рассмотренные в предыдущем разделе данные указывают на наличие четко прослеживаемой тенденции деградации озонового слоя атмосферы в течение последних 20 лет. Эта тенденция прослеживается как в глобальном (понижение ОСО почти на 9 %), так и в региональном масштабах (понижение ОСО почти на 6 % в Крыму). При этом в рассматриваемом Черноморско-Каспийском регионе

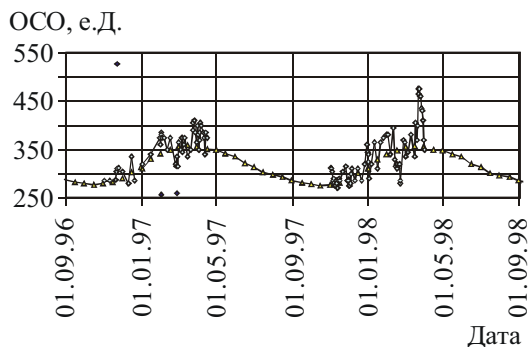


Рис. 6. Вариации ОСО над Стамбулом по данным измерений MPT-2 (черные ромбики), данным Всемирной метеорологической организации (белые ромбики) и усредненным за период 1979-1987 гг. спутниковым данным (треугольники)

были зафиксированы случаи, когда величина ОСО достигала очень малых значений (менее 200 е. Д.). Это почти вдвое меньше среднегодовых значений (что скорее характерно для Антарктической озоновой дыры). Такие события, получившие названия озоновых минидыр, приводят к опасному для здоровья людей и чреватому микроклиматическими изменениями уровню ультрафиолетовой радиации на поверхности Земли. Зафиксированные в этом регионе так называемые инверсные озоновые минидыры, характеризующиеся повышенными до 600 е. Д. значениями ОСО, также следует считать неблагоприятными явлениями.

Существующие в настоящее время гипотезы объясняют наблюдаемые тенденции динамики атмосферного озона как процессами естественного (природного) происхождения, так и антропогенным воздействием. При этом сторонники обеих точек зрения имеют свои весомые аргументы. Однако для разрешения этого спора путем оценки относительного вклада той или иной причины деградации атмосферного озона, на наш взгляд, в настоящее время ощущается недостаток экспериментальных данных, полученных посредством комплексного наблюдения общего содержания озона и озоноразрушающих веществ в атмосфере, а также высотных про-

филей распределения этих малых газовых составляющих.

Таким образом, существует актуальная проблема мониторинга озона в рассматриваемом регионе. Для ее решения необходима координация исследований и кооперация научных коллективов из различных стран.

В Черноморско-Каспийском регионе работают научные коллективы, которые уже обладают определенным (а в случае Кара-Дагской Геофизической Обсерватории весьма солидным) опытом озонотрии.

Совместные исследования могли бы увеличить достоинства и уменьшить недостатки методов наблюдения, используемых разными исследовательскими группами, а также обеспечить разработку и создание современной аппаратуры для осуществления мониторинга озонового слоя и других МГС. Естественно, для осуществления этой важной для стран региона задачи необходима государственная поддержка.

Литература

1. S. Silman. Ann. Rev. Energy Environ. 1993, **18**, pp. 31-52.
2. G. M. D. Dobson. Observers Handbook for the Ozone Spectrometer. Ann. IGY. 1957, pp. 46-89.
3. Г. П. Гуцин, Н. Н. Виноградов. Содержание озона в атмосфере. Ленинград, Гидрометиздат, 1983, 254 с.
4. WMO, World Meteorol. Organ. 1990, Report of International Ozone Trends Panel, 1990, Rep. No. 18.
5. А. Г. Кисляков, Ю. Ю. Куликов, В. Г. Рискин. В сб.: Спектроскопические исследования космической и атмосферной радиации. Россия, Нижний Новгород, 1979, с. 84-123.
6. А. Б. Бурков, В. Н. Воронов, А. А. Красильников. Известия АН СССР. Физика Атмосферы и Океана. 1981, **17**, №7, с. 46-51.
7. MRT – 2. Operation and Maintenance Instructions. Kharkov, RINAN, 1995, 28 pp.
8. EOQ, Envisat – Europe’s Earth Observation Mission for the Millenium, Earth Observation Quarterly, No. 60, 1998.
9. V. P. Churilov, B. I. Makarenko, M. E. Ozel et al. Development of means for monitoring of pollutant space-temporal distribution in atmosphere of Caspian-Black Seas region. Project for funding request to the

NATO Program "Science for Peace" (IRA NAS, RSIRM - Ukraine, MRC - Turkey, Hydrometeorology Committee – Azerbaijan) May, 2000.

10. <http://www.wmo.ch>.

11. J. P. D. Abatt, M. J. Molina. Ann. Rev. Energy Environ. 1993, **18**, pp. 1-29.

12. M. E. Ozel, I. M. Yusifov et al. Turkey Journal of Physics. 1999, **23**, №3, pp. 497-510.

Investigation of Atmospheric Ozone Layer over Black Sea – Caspian Region

**I. Yusifov, M. Ozel, H. Yildirim,
N. Ruzhentsev, V. Churilov, G. Gushin,
L. Gushina, Z. Musaev, R. Azimsade**

The current methods of control of the atmospheric ozone layer are considered. Some results of such monitoring carried out from the ground placed points situated in Ukraine (south of Crimea), Turkey (Gebze) and Azerbaijan (Baku) as well as some data of the satellite measurements over this region for many years are shown. Our consideration demonstrates a topicality of such direction of the investigations as well as an expediency of cooperation and coordination of efforts of countries of Black Sea – Caspian region for solution of the problem of ozone layer monitoring.