

УДК 551.521.17, 551.510.4

Оценки УФ-индексов в периоды пониженного содержания озона над Сибирью зимой – весной 2016 г.

Н.Е. Чубарова¹, Ю.М. Тимофеев², Я.А. Виролайнен², А.В. Поляков^{2*}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1

²Санкт-Петербургский государственный университет
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Поступила в редакцию 10.07.2018 г.

Выполнены расчеты УФ-радиации для районов России, где наблюдались аномалии общего содержания озона в первом квартале 2016 г. Понижение озона в зимнее время в северных регионах Сибири даже до уровня так называемой озоновой дыры не является критичным. Однако гораздо более слабые вариации озона в начале весны могут приводить к росту эритемной УФ-радиации до опасного уровня, при котором уже требуется защита кожи.

Ключевые слова: УФ-радиация, озоновые дыры, УФ-индекс, УФ-ресурс; UV radiation, ozone holes, UV index, UV resource.

Введение

Известно, что значение общего содержания озона (ОСО) в значительной степени определяет уровень УФ-радиации, достигающей земной поверхности [1]. Аномальные значения ОСО, часто называемые озоновыми мини-дырами (ОМД), наблюдаются в Северном полушарии довольно регулярно. Так, в работах [2, 3] отмечается, что существенные отрицательные аномалии ОСО над территорией России отмечались в первые месяцы 1995–1997, 2000, 2005, 2011 гг., причем их интенсивность нарастала к марту – апрелю. Аномалии озона в полярных и субполярных районах исследовались в [4, 5]. В [6] проанализирована динамика уровней биологически активной УФ-В- и коротковолновой УФ-А-радиаций в г. Томске во время озоновой аномалии весной 2011 г. В рассматриваемый период превышение значений суточной дозы УФ-В-радиации достигало 40%, а эритемной радиации – 36%. В публикациях [7–9] анализируется значительный рост УФ-радиации в связи с уменьшением содержания озона в различные годы и в различных регионах Северного полушария. Так, в [7] показано, что УФ-эритемная радиация в районе аномалии содержания озона в Арктике весной 1996 и 1997 гг. увеличилась соответственно на 36 и 33% по сравнению со средними значениями в 1979–1981 гг. Кроме того, в течение 80–100 дней в 1996 и 1997 гг.

в безоблачные дни большие районы Арктики были подвержены увеличению УФ-радиации на 50–70%. В работе [8] отмечалось, что в конце мая 2005 г. в Центральной Европе наблюдались необычно высокие значения УФ-радиации. Например, в Северной Германии эритемная эффективная радиация превышала климатологические средние более чем на 20%.

Особенно сильное увеличение УФ-радиации при рекордном уменьшении ОСО наблюдалось на 13 арктических и субарктических наземных станциях весной 2011 г. [9]. Измерения индекса УФ (УФИ) в течение этого периода показали превышение УФ-радиации в сравнениях с климатологическими значениями до 77% в районах Западной Арктики (Аляска, Канада, Гренландия) и до 161% в Скандинавии. По данным измерений Метеорологической обсерватории МГУ, в марте и апреле 2011 г. были зарегистрированы абсолютные часовые максимумы эритемной УФ-радиации в период расположения ОМД непосредственно над Москвой. В конце января 2016 г. на станциях российской наземной озонометрической сети над севером Урала и Сибири впервые зафиксированы значения ОСО меньше 220 е.Д., т.е. по наиболее популярному (но не единственному) критерию наблюдались ОМД. Аномалии содержания озона над территорией России были зарегистрированы в феврале – марте 2016 г. [2, 3]. Анализ трансформации полей содержания озона и других атмосферных параметров в полярных районах в это время в условиях аномалий ОСО осуществлен в [10–12].

В данной работе приводятся модельные оценки уровня эритемной УФ-радиации в зимний и весенний периоды 2016 г. с точки зрения ее непосредственного воздействия на здоровье человека.

* Наталья Евгеньевна Чубарова (natalia.chubarova@gmail.com); Юрий Михайлович Тимофеев (y.timofeev@spbu.ru); Яна Акселевна Виролайнен (yana.virolainen@spbu.ru); Александр Викторович Поляков (a.v.polyakov@spbu.ru).

Методика расчетов

Оценки уровня эритемной УФ-радиации в настоящей работе выполнялись для станций, расположенных в зоне отрицательных озоновых аномалий. Анализировались период с 27 по 31.01.2016 г., когда были зафиксированы значения ОСО менее 220 е.Д., и период с 9 по 19.03.2016 г., когда, согласно [3], также наблюдались пониженные на 27–39% значения ОСО над центральными районами Сибири (257–332 е.Д.). Анализ эритемной УФ-радиации проводился для ряда станций российской озонметрической сети (Печора, 65° с.ш., 57° в.д.; Ханты-Мансийск, 61° с.ш., 69° в.д.; Туруханск, 66° с.ш., 88° в.д.; Тура, 64° с.ш., 100° в.д.). Для этих станций были проведены расчеты УФ-потоков излучения методом дискретных ординат в восьмипотоковом приближении для условий истинного полдня и ясного неба. В качестве других параметров использовались аэрозольные оптические толщины ($AOT_{380} = 0,05$), которые соответствуют низкому аэрозольному содержанию, типичному для этого времени в этом регионе. Альbedo снега задавалось равным 0,7, несколько меньшим, чем альbedo относительно чисто белой поверхности ($A = 0,9$), в связи с тем, что даже в условиях тундры за счет темных зданий и других построек пространственное альbedo может быть более низким. Также понижение альbedo может быть вызвано загрязнением снежного покрова вследствие антропогенных выбросов (дровяное и угольное отопление и др.). Расчеты проведены для значений общего содержания озона, характерных для января и марта 2016 г. над этим регионом. Для сравнения проведены также вычисления эритемной УФ-радиации со средним значением озона за период 1979–1993 гг. по данным TOMS, полученным по результатам осреднения в этом же географическом районе. Значения других входных параметров оставались такими же. При расчетах также учитывалась поправка на реальное для этого времени расстояние между Землей и Солнцем.

В качестве рассчитываемой характеристики была выбрана безразмерная величина УФИ, определяемая, согласно [13], как произведение плотности потока эритемной УФ-радиации (в Вт/м²) на 40. Дополнительно рассчитывались величины УФ-ресурсов для разных типов кожи, которые определяются по методике, описанной в [14]. Понятие «УФ-ресурсы» введено не только для выявления степени опасности, но и для оценки полезного действия УФ-радиации с точки зрения образования витамина D. В результате выделяются условия УФ-недостаточности, УФ-оптимума и УФ-избыточности разных категорий. Более подробно структура выделения УФ-ресурсов изложена в [14]. В нашем исследовании оценки проведены только для условий ясного неба и могут быть рассмотрены в качестве верхних значений оценок эритемной УФ-радиации и соответствующих УФ-ресурсов.

Основные результаты

Рассмотрим полученные результаты отдельно для первого (январского) и второго (мартовского) периодов ОМД, наблюдаемых над Сибирью в 2016 г. Результаты расчетов УФИ для января 2016 г. показаны на рис. 1.

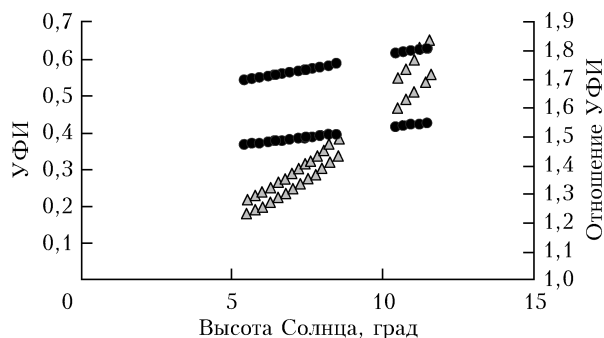


Рис. 1. Полуденные значения УФИ, рассчитанные для координат озонметрических станций в периоды ОМД при двух значениях ОСО: $X = 190$ (верхняя группа символов) и 220 е.Д. (нижняя группа символов) 27–31.01.2016 г. (левая ось, треугольники), и отношение УФИ к соответствующим средним значениям, рассчитанным при ОСО, типичном для данного региона в это время года ($X = 356$ е.Д.) (правая ось, точки); ясное небо; $A = 0,7$; $AOT_{380} = 0,05$

Видно, что при уменьшении ОСО до наблюдаемых в 2016 г. уровней ($X = 190–220$ е.Д.) УФ-индексы выросли в 1,5–1,8 раза относительно значений, типичных в это время для данного региона. С ростом высоты Солнца отношение этих значений УФИ к типичным величинам несколько увеличивается за счет усиления эффектов многократного рассеяния при уменьшении поглощения озоном рассеянного излучения. Это особенно проявляется в величинах отношения УФИ при расчетах с наиболее низким значением ОСО $X = 190$ е.Д. В то же время за счет очень малых высот Солнца сами значения УФИ малы и не превышают 0,6 даже при таком низком содержании озона. Согласно оценкам, за счет очень низких высот Солнца наблюдались условия УФ-недостаточности, несмотря на существование ОМД. Критическая величина УФИ, при которой уже образуется эритема и требуется защита от Солнца, в соответствии с международной классификацией [13], равна 2,2 для первого типа кожи и 3,0 для второго согласно классификации Фицпатрика [15]. Видно, что даже для первого типа кожи величины УФИ гораздо ниже порогового значения образования эритемы. Рассчитанный уровень УФИ в полуденное время для этого наиболее чувствительного типа кожи не превышает даже порога образования витамина D для полуденных условий при стандартно принятом значении открытости тела человека в 20% [16]. При реальной закрытости тела человека с учетом эффективных температур порог тем более не будет превышен.

Аналогичные расчеты проведены для периода с 9 по 19.03.2016 г., когда наблюдались пониженные на 27–39% значения ОСО (рис. 2).

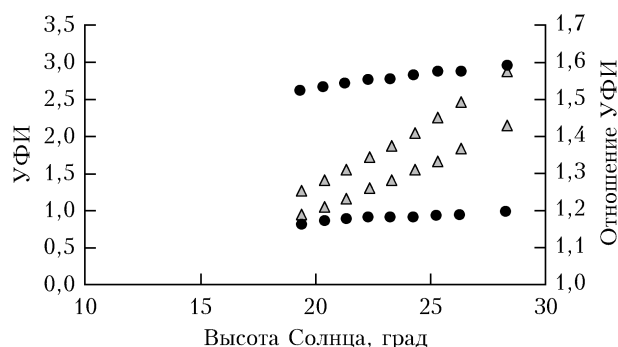


Рис. 2. Полуденные значения УФИ, рассчитанные для координат озонметрических станций в период резкого сокращения озона 9–19.03.2016 г. $X = 257$ (верхняя группа символов) и 332 е.Д. (нижняя группа символов) (левая ось, треугольники), и отношение УФИ к соответствующим средним значениям, рассчитанным при ОСО, типичном для данного региона в это время года ($X = 392$ е.Д.) (правая ось, точки); ясное небо; $A = 0,7$; $AOT_{380} = 0,05$

Видно, что в связи с несколько меньшей относительной разницей в ОСО рост УФИ по сравнению с типичными значениями меньше, чем в январе (1,2–1,6). В то же время за счет увеличения высоты Солнца уровень УФИ существенно выше, чем в январе. Максимальное значение УФИ достигает 2,9, что превосходит порог образования эритемы для первого типа кожи при высотах Солнца более 25° и близко к пороговому значению $УФИ_{крит} = 3,0$ для второго, наиболее распространенного типа кожи.

Заключение

Выполненные вычисления УФ-радиации для районов России, где наблюдались аномалии ОСО в первом квартале 2016 г. показывают, что существенное понижение озона в зимнее время до уровня так называемой озоновой дыры на севере Сибири не является критичным. Однако в начале весны даже относительно небольшое уменьшение озона может приводить к повышению уровня эритемной УФ-радиации до значений, представляющих опасность для кожи человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 14-17-00096).

1. *Future ozone and its impact on surface UV* / S. Bekki, G.E. Bodeker, A.F. Bais, N. Butchart, V.P. Braesicke, A.J. Charlton-Perez, N.E. Chubarova, I. Cionni, L.N.P.S.S.B. Diaz Gillett Pawson, M.A. Giorgetta, D.W. Fahey Eyring, D.E. Kinnison, U. Langematz, B. Mayer, R.W. Portmann, E. Rozanov // Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Report N 52. Geneva, Switzerland: WMO, 2011. 24 p.

2. *Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Никифорова М.П., Кузнецова И.Н., Варгин П.Н.* Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2016 г. // Метеорол. и гидрол. 2016. № 5. С. 124–130.
3. *Никифорова М.П., Звягинцев А.М., Варгин П.Н., Иванова Н.С., Лукьянов А.Н., Кузнецова И.Н.* Аномально низкие уровни общего содержания озона над севером Урала и Сибири в конце января 2016 г. // Оптика атмосфер. и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 12–19; *Nikiforova M.P., Zvyagintsev A.M., Vargin P.N., Ivanova N.S., Lukyanov A.N., Kuznetsova I.N.* Anomalous low total ozone levels over the Northern Urals and Siberia in late January 2016 // Atmos. Ocean. Opt. 2017. V. 30, N 3. P. 255–263.
4. *Millán L.F., Manney G.L.* An assessment of ozone mini-holes representation in reanalyses over the Northern Hemisphere // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17. P. 9277–9289.
5. *Griffin D., Walker K.A., Wohltmann I., Dhomse S.S., Rex M., Chipperfield M.P., Feng W., Manney G.L., Liu J., Tarasick D.* Stratospheric ozone loss in the Arctic winters between 2005 and 2013 derived with ACE-FTS measurements // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2018. URL: <https://doi.org/10.5194/acp-2017-1075>.
6. *Ивлев Г.А., Белан Б.Д., Дорохов В.М.* Динамика солнечной УФ-B- и УФ-A-радиации в Томске во время озоновой аномалии весной 2011 г. // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 11. С. 995–1004.
7. *Knudsen B.M., Jønh-Sørensen H., Eriksen P., Johnsen B.J., Bodeke G.E.* UV radiation below an Arctic vortex with severe ozone depletion // Atmos. Chem. Phys. 2005. V. 5. P. 2981–2987.
8. *Stick C., Krüger K., Schade N.H., Sandmann H., Macke A.* Episode of unusual high solar ultraviolet radiation over central Europe due to dynamical reduced total ozone in May 2005 // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6. P. 1771–1776.
9. *Bernhard G., Dahlback A., Fioletov V., Heikkilä A., Johnsen B., Koskela T., Lakkala K., Svendby T.M.* High levels of ultraviolet radiation observed by ground-based instruments below the 2011 Arctic ozone hole // Atmos. Chem. Phys. 2013. V. 13. P. 10573–10590.
10. *Manney G.L., Lawrence Z.D.* The major stratospheric final warming in 2016: Dispersal of vortex air and termination of Arctic chemical ozone loss // Atmos. Chem. Phys. 2016. V. 16. P. 15371–15396.
11. *Khosrawi F., Kirner O., Sinnhuber B.-M., Johansson S., Höpfner M., Santee M.L., Froidevaux F., Ungermann J., Ruhke R., Woitwode W., Oelhaf H., Braesicke P.* Denitrification, dehydration and ozone loss during the 2015/2016 Arctic winter // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17. P. 12893–12910.
12. *Timofeyev Yu.M., Smyshlyayev S.P., Virolainen Y.A., Garkusha A.S., Polyakov A.V., Motsakov M.A., Kirner O.* Case study of ozone anomalies over northern Russia in the 2015/2016 winter: Measurements and numerical modeling // Ann. Geophys. Discuss. 2018. URL: <https://doi.org/10.5194/angeo-2018-15>.
13. *Vanicek K., Frei T., Litynska Z., Schmalwieser A.* UV-Index for the Public. Brussels: European Communities, 2000. 26 p.
14. *Chubarova N., Zhdanova Ye.* Ultraviolet resources over Northern Eurasia // Photochem. Photobiol. 2013. V. 127. P. 38–51.
15. *Fitzpatrick T.B.* The validity and practicality of sunreactive skin types i through vi // Arch. Dermatol. 1988. V. 124. P. 869–871.

16. *Rationalizing* nomenclature for UV doses and effects on humans. WMO/GAW Report N 211. Vienna, Austrian:

Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). 2006. 22 p.

N.E. Chubarova, Yu.M. Timofeev, Ya.A. Virolainen, A.V. Polyakov. Estimates of UV indices during the periods of reduced ozone content over Siberia in winter–spring 2016.

Calculations of UV radiation for the regions of Russia, where anomalies of the total ozone content were observed in the first quarter of 2016, are performed. Ozone depletion in the winter in the Northern regions of Siberia, even to the levels of the so-called ozone hole is not critical. However, much weaker ozone variations in the early spring can lead to dangerous levels of erythemal UV radiation, when one need in protection from ultraviolet radiation.