

УДК 923.98

Магнитная активность Солнца, стратосферный озон и глобальная температура во второй половине XX и в начале XXI столетий

И.С. Лаба¹, И.Я. Пидстрыгач¹, П.Г. Лисняк²

¹ Астрономическая обсерватория Львовского национального университета им. И. Франко, ул. Кирилла и Мефодия, 8, г. Львов, 79005

laba@astro.franko.lviv.ua

² Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, ул. Кривоноса, 2, г. Тернополь, 46009

hvas.5corojidol@mail.ru

Поступила в редакцию 27 октября 2013 г.

Аннотация. По данным наблюдений Солнца ([//www.swpc.noaa.gov/solar_cycle](http://www.swpc.noaa.gov/solar_cycle)), центров исследования климата Земли (Великобритания), мониторинга общего содержания озона обсерватории Ароса (Швейцария) изучена важная роль стратосферного озона в солнечно-земных связях. Причиной роста $T_{\text{глоб.}}$ (до 1998 г.) является повышение солнечной активности (Modern Max) и истощение озонового слоя (ОС) с образованием озоновых дыр (ОД), а не выбросы CO_2 в атмосферу. К концу XX и в начале XXI столетий (1998–2010 гг.) $T_{\text{глоб.}}$ достаточно стабилизировалась из-за низкого уровня общего содержания озона (ОСО) и (за его счет) увеличения интенсивности УФ-излучения.

SOLAR MAGNETIC ACTIVITY, STRATOSPHERIC OZONE AND GLOBAL TEMPERATURE AT THE SECOND HALF OF THE 20TH AND AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURIES, by I.S. Laba, I.Ya. Pidstryhach, P.H. Lisnyak. The important role of stratosphere ozone at solar-terrestrial relations was investigated according to the solar observational data ([//www.swpc.noaa.gov/solar cycle](http://www.swpc.noaa.gov/solar_cycle)), data from British terrestrial climatic research centers, and monitoring of total ozone by the Asora Observatory (Switzerland). Before 1998 the increase of solar activity (Modern Max) and depletion of ozone layer with formation of ozone holes, rather than outbursts of CO_2 into the atmosphere, gave rise to the global temperature ($T_{\text{glob.}}$). By the end of 20th – beginning of the 21st centuries (from 1998 to 2010) $T_{\text{glob.}}$ had sufficiently stabilized due to the low level of total ozone abundance and increasing ultraviolet radiation.

Ключевые слова: солнечная активность, стратосферный озон, глобальная температура

1 Введение

Исследования солнечной активности (СА) и ее действия в пределах гелиосферы, в т. ч. влияния на климат Земли – главная тема солнечно-земных связей. Изменение климата Земли – важнейшая проблема человечества.

До конца 60-х годов XX столетия не было сомнений, что изменение климата обусловлено естественными причинами и, прежде всего, постоянным изменением СА. В то время была выдвинута гипотеза, что постоянно увеличивающиеся выбросы (CO_2 и др.) в атмосферу Земли приведут к парниковому эффекту (увеличению глобальной температуры, $T_{\text{глоб.}}$). Наблюдаемое потепление в 70-х годах XX века было проинтерпретировано как подтверждение этой гипотезы, и до настоящего времени идея антропогенного влияния на климат Земли стала доминантной.

В начале 70-х годов прошлого века была установлена потенциальная способность хлорфторуглеводородов (ХФУ) уничтожать озон, что может привести к нежелательным экологическим последствиям.

Большое внимание уделяется установлению связи между СА и климатическими изменениями с целью выяснения причин возрастания $T_{\text{глоб.}}$ во второй половине XX столетия; очень важна оценка вклада естественных и антропогенных факторов в наблюдаемое глобальное потепление. По данным обсерваторий США Маунт Вилсон и Джона Вилкокса (Стенфорд) обнаружено уменьшение напряженности полярного (полоидального) магнитного поля Солнца в два раза в минимумах трех последних циклов. Также было установлено (Ливингстон и Пенн, 2009) падение напряженности магнитного поля в солнечных пятнах. Такое уменьшение полоидального магнитного поля Солнца и магнитного поля пятен вызвало возникновение как глубокого и протяженного последнего минимума циклов 23/24, так и векового минимума – нескольких 11-летних циклов низкой интенсивности, начиная с цикла № 24.

Ряд авторов (Эдди, 1976, 1977; Борисенков, 1988) получили высокую корреляцию между периодами значительных вариаций СА и соответствующими климатическими изменениями Земли: в каждом вековом минимуме наблюдалось похолодание климата, а в период больших максимумов – потепление. Согласно климатологической теории (Свенсмарк, 2007) изменения климата, кроме прямого действия солнечной радиации на Землю существует также косвенное его действие – посредством галактических космических лучей (ГКЛ). Теория эта подтверждена проведенным CERN'ом (European Center for Nuclear Research) CLOUD-экспериментом в 2011 году (Киркби и др., 2011).

По данным обсерваторий США Маунт Вилсон и Джона Вилкокса (Стенфорд) обнаружено уменьшение напряженности полярного (полоидального) магнитного поля Солнца в два раза на протяжении трех последних циклов.

Во второй половине XX века антропогенные факторы и СА (Modern Max, рис. 1) действовали параллельно, увеличивая температуру Земли; но в дальнейшем в связи со спадом СА гелиофизики ожидали значительное падение $T_{\text{глоб.}}$, тогда как все климатические модели прогнозировали ее увеличение (в связи с продолжением выбросов CO_2 и др. в атмосферу Земли).

Мы изучили важную роль стратосферного озона в солнечно-земных связях, состояние которого влияет на климат Земли.

2 Данные для анализа

В работе использованы следующие данные для анализа:

1. Циклы СА во второй половине XX и в начале XXI столетий.
2. Среднегодовое и сглаженное за 11 лет общее содержание озона (СОЗ) обсерватории Ароса, Швейцария, с 1927 по 2008 гг.
3. Изменение $T_{\text{глоб.}}$ с 1979 по 2012 гг., полученное Метеорологическим бюро Центра Хедли и Климатическим центром Университета Восточной Англии. Последний вековой максимум (Modern Max, рис. 1) – это период высокой СА, который начался в 1914 г. (цикл № 15) и окончился в конце цикла № 23. Заметное увеличение амплитуды циклов началось в конце 30-х и в начале 40-х годов и достигло первого максимума в цикле № 19. После спада СА в цикле № 20 второй максимум приходится на циклы № 21–22. Исходя из косвенных исследований (по космогенным изотомам $^{10}Be, ^{14}C$) СА в конце XX века была самой высокой за последние 1200 лет.

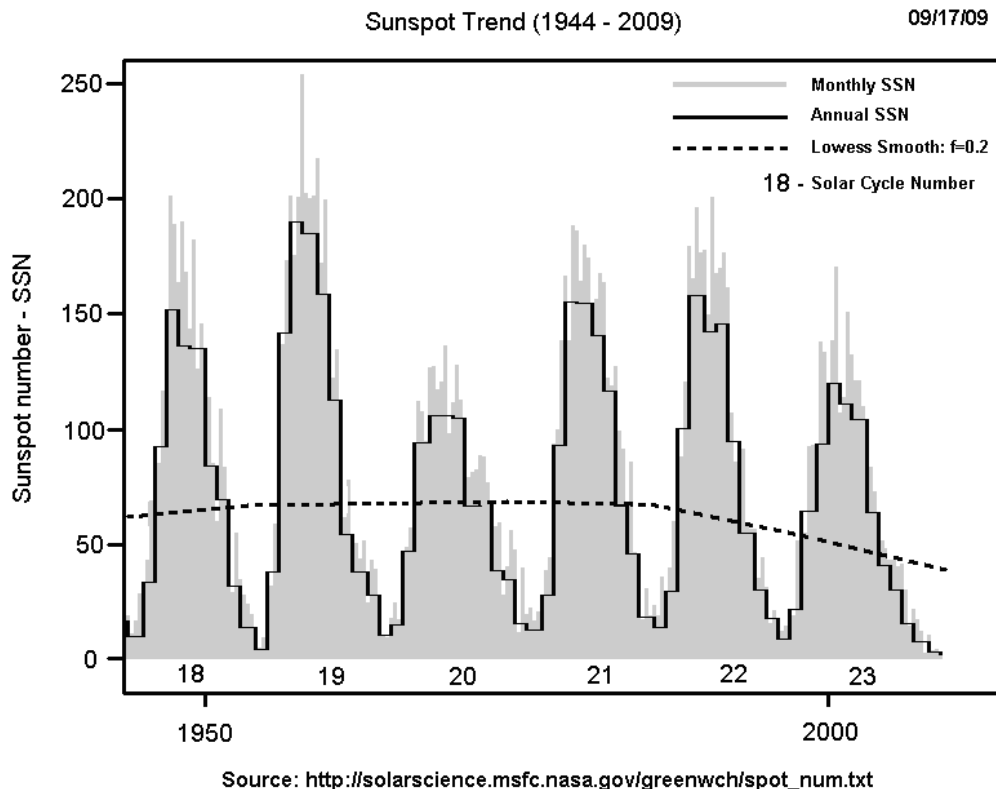


Рис. 1. Циклы солнечной активности (во второй половине XX и в начале XXI столетий)

Обсерватория Ароса в Швейцарских Альпах была одной из первых, положивших начало наблюдениям озона еще в 1926 г.

На рис. 2 представлены среднегодовое и среднесглаженное на протяжении 11 лет ОСО на обсерватории Ароса с 1927 по 2008 гг. (Ридер и др., 2010; Килифарска, 2012). Систематический мониторинг озона начался 50 лет назад. Покрывающая весь земной шар сеть станций/обсерваторий (~ 150) систематически измеряет ОСО, температуру, состояние загрязнения окружающей среды и другие необходимые метеоданные. Ведутся также спутниковые наблюдения. Благодаря таким наблюдениям можно получить полное представление о распределении O_3 в атмосфере.

Большая часть O_3 (~ 90 %) находится (или сосредоточена) в нижней стратосфере, образуя озоновый слой (ОС), поднимаясь вверх до 50–60 км. Остальная его часть локализована в тропосфере. Несмотря на незначительность содержания в атмосфере и большую нестабильность, озон играет важную роль в атмосферных процессах и жизни человечества.

Стратосферный (“доиндустриальный”) озон при нормальном его количестве (нормальное ОСО) в атмосфере – естественный терморегулятор природы и климата, защищает все живое от губительного влияния жесткого УФ-излучения: пропускает к поверхности Земли УФ-А (λ 400–320 нм), поглощает УФ (λ 300–200 нм), а также в видимой и ИК-областях. Тот же стратосферный O_3 при значительном истощении (“индустриальный”, уменьшение ОСО, озоновые дыры) обуславливает глобальное потепление.

В обоих случаях стратосферный озон является посредником в солнечно-земных связях, но во втором случае больше солнечной энергии приходит к земной поверхности, что и является причиной увеличения $T_{\text{глоб}}$. (озон пропускает значительную часть УФ-В (λ 320–280 нм), а также излучение в видимой и ИК-областях, в зависимости от степени истощения).

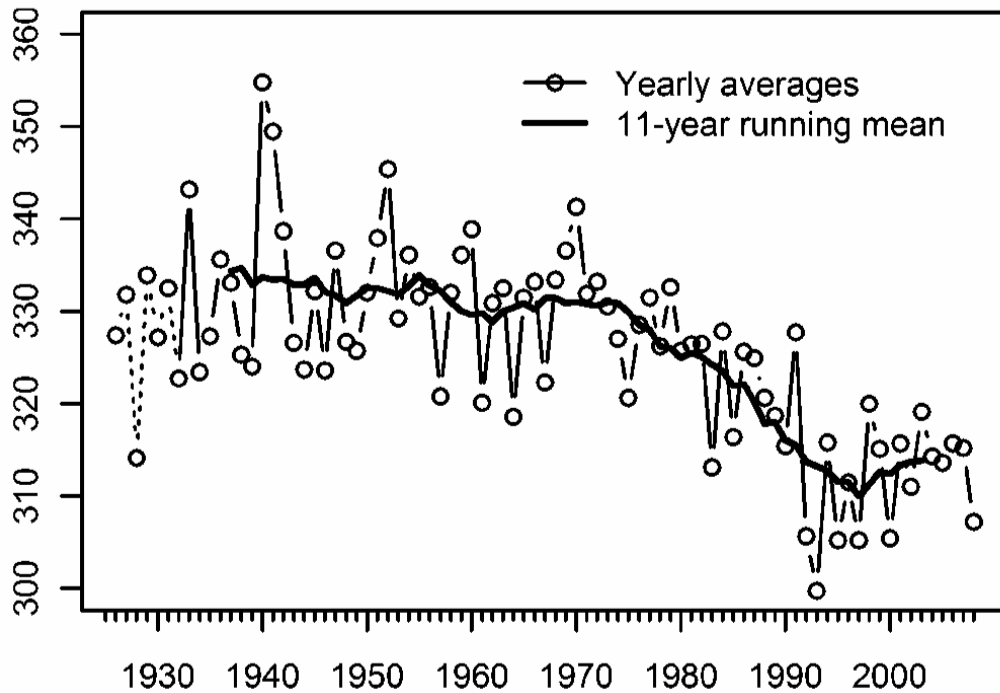


Рис. 2. Среднегодовое и сглаженное за 11 лет общее содержание O_3 (OSO) обсерватории Ароса, Швейцария, с 1927 по 2008 гг. в единицах Добсона

В начале 70-х годов XX века над полярными областями начали появляться озоновые дыры (ОД) с очень низким ОСО, которые разрастались с течением времени.

3 Результаты и обсуждение

Излучение Солнца влияет на все физические, химические и биологические процессы в земной экосистеме, на атмосферу и климат Земли. Солнечная постоянная изменяется синхронно относительно чисел Вольфа, непосредственно связана с изменением $T_{\text{глоб.}}$ и контролируется эволюцией магнитных полей на поверхности Солнца. Солнечный цикл является циклом его магнитной активности. Поэтому по мере роста площади поверхности Солнца, занятой магнитным полем, также растет и коротковолновое электромагнитное (УФ-, мягкое рентгеновское) излучение. За счет вышеупомянутого, солнечная постоянная увеличивается на 0.1 % (1.4 Вт/м^2) от минимума к максимуму. Изменения в УФ-диапазоне во много раз больше, чем в оптическом диапазоне.

За последние 150 лет человечество резко изменило состав атмосферы в основном из-за выбросов парниковых газов (CO_2 – 60 %; метан – 15 %; озон – 12 %; ХФУ – 8 %).

Загрязнение окружающей среды естественное (вулканический газ и пыль, пожары лесных массивов и торфа) и антропогенное (CO_2 , SO_3 , ХФУ и др.) в настоящее время составляет более 1 млрд тонн выбросов газов и приблизительно 400 млн тонн пыли. Высокая концентрация загрязненного вещества в атмосфере вызвала глобальные экологические проблемы: парниковый эффект, озоновые дыры (ОД), кислотные дожди, а также повлияла на ее тепловую проводимость и, соответственно, изменила (усилила) динамику и циркуляцию воздуха. Загрязнение атмосферы нарушило динамическое равновесие образования-уничтожения озона в ОС, изменило масштабы климатических явлений.

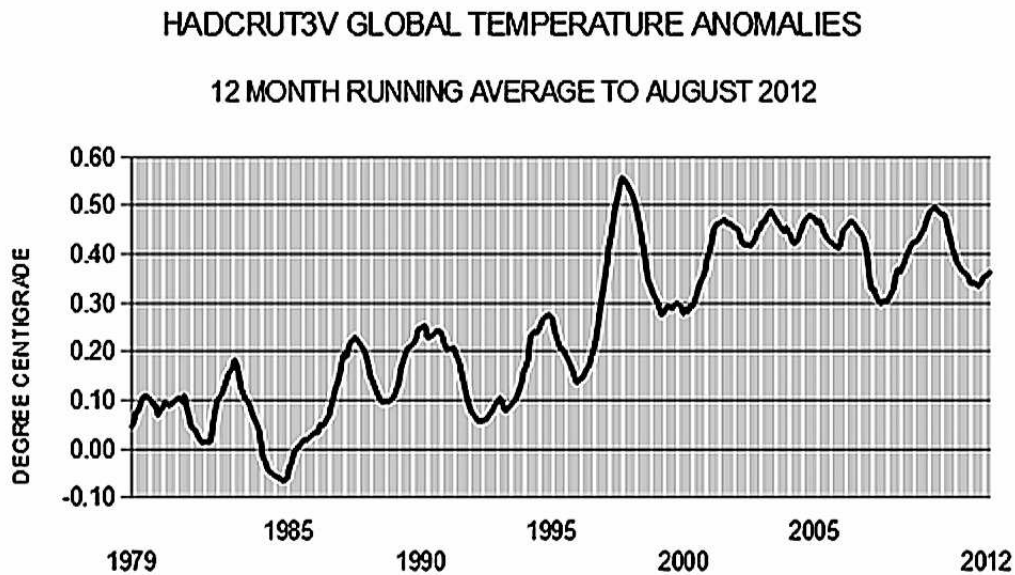


Рис. 3. Изменение $T_{\text{глоб.}}$ с 1979 по 2012 гг., представлено Метеорологическим бюро Центра Хедли и Климатическим центром Университета Восточной Англии

Растительность континентальной части планеты, а также планктон и водоросли морей и океанов, поглощая CO_2 (фотосинтез), не оставляют ему (CO_2) возможности стать главной причиной глобального потепления. Кислотные дожди уменьшают продуктивность с/х культур.

Однако с озоном можно связать как природные (в т. ч. зависимость от солнечной радиации), так и антропогенные изменения климата (Басманов, 1980; Александров и др., 1992; Феленберг, 1997).

Экологические последствия уничтожения озонового слоя. В начале 70-х годов прошлого века выявлено влияние человеческой деятельности на ОС. Выбросы ХФУ в атмосферу обусловили уменьшение ОСО. Согласно данным наблюдений ОСО в обсерватории Ароса, прослеживается линейная тенденция уменьшения ОСО (7 %) между 1973 и 1997 гг. Обнаружено большое влияние на ОСО галактических космических лучей (Килифарска, 2012), а также сильная чувствительность радиационного баланса Земли к изменениям стратосферного озона; 75 % вариаций температуры приземного воздуха связаны с изменениями стратосферного озона за период 1926–2011 гг.

ОСО (рис. 2) начало медленно уменьшаться до 1973 г., потом – быстрее, достигнув минимальных значений в 1997 г. (Ридер и др., 2010). На таком же уровне ОСО было с 1998 по 2010 гг. (Килифарска, 2012). В отдельных среднеширотных регионах ОСО уменьшилось на 10 %, 20 %, 40 % над большими городами и промышленными регионами.

ХФУ в основном выбрасываются в атмосферу Земли в северном полушарии (Европа, Россия, Китай, Япония, США) и через год-два полностью перемешиваются до одинаковой концентрации. Исходя из достаточной стабильности процесса выбросов, наблюдается избыток $T_{\text{глоб.}}$ в N -полушарии относительно S -полушария.

Почти до конца 2001 г. на протяжении трех 11-летних циклов во второй половине XX века наблюдалась относительно высокая корреляция между числом Вольфа и индексами солнечного УФ-излучения, а после произошло расхождение (Лукьянова, Марсула, 2009): значительные увеличения УФ-индексов при сравнительно небольшом увеличении чисел Вольфа. Повышение уровня УФ-излучения в конце 2001 г. – начале 2002 г. продолжалось вплоть до 2009 г. Такое увеличение УФ-излучения на ветви спада цикла № 23 и в глубоком минимуме циклов 23/24 способствовало стабилизации $T_{\text{глоб.}}$.

С 1970 по 1998 гг. $T_{\text{глоб.}}$ увеличилась на $0.6^{\circ}\text{C} - 0.8^{\circ}\text{C}$, а далее до конца 2012 г. – достаточно стабилизировалась (рис. 3), хотя выбросы CO_2 в атмосферу продолжались, и все климатические модели прогнозировали только увеличение.

Из сопоставления рис. 2 и рис. 3 вытекает, что период быстрого падения ОСО совпадает со значительным ростом $T_{\text{глоб.}}$. По данным Всемирной Метеорологической Организации уменьшение ОСО на 50 % увеличивает УФ-излучение более, чем на 100 %.

Отсюда причина роста $T_{\text{глоб.}}$ (до 1998 г.) – повышение СА (Modern Max) и истощение ОС с образованием ОД, а не выбросы CO_2 в атмосферу Земли.

Прогнозы климатологов и гелиофизиков относительно $T_{\text{глоб.}}$ на первое десятилетие XXI века не осуществились, поскольку не учитывался важнейший фактор влияния на изменение климата на нашей планете – истощение ОС с образованием ОД.

Значительное истощение ОС с образованием ОД стало причиной увеличения солнечной энергии, достигнувшей поверхности Земли и, таким образом, сохранило (“компенсируя” низкий уровень СА) $T_{\text{глоб.}}$ достаточно стабильной.

4 Выводы

- Период быстрого падения ОСО совпадает со значительным ростом $T_{\text{глоб.}}$ (1973–1998 гг.).
- Причина роста $T_{\text{глоб.}}$ (до 1998 г.) – повышение СА (Modern Max) и истощение ОС с образованием ОД, а не выбросы CO_2 в атмосферу.
- Выбросы ХФУ в атмосферу, а также ГКЛ обусловили уменьшение ОСО в стратосфере.
- Под конец XX и в начале XXI столетий (1998–2010 гг.) $T_{\text{глоб.}}$ достаточно стабилизировалась из-за стабильно низкого уровня ОСО и (за его счет) увеличения интенсивности УФ-излучения.
- Истощение ОС стало одним из важнейших факторов, которые влияют на изменение климата на нашей планете.
- Значительное истощение ОС с образованием ОД стало причиной увеличения солнечной энергии, которая достигла поверхности Земли и, таким образом, сохранило (“компенсируя” низкий уровень СА) $T_{\text{глоб.}}$ достаточно стабильной.

Литература

- Александров Э.Л., Израель Ю.А., Кароль И.Л. // Озонный щит Земли и его изменения. Сб. Гидрометиздат. 1992.
- Басманов Е.И. // Вестник Харьков. ун-та. 1980. Т. 198. С. 68
- Борисенков Е.П. // Колебания климата за последнее тысячелетие. Сб. Гидрометеиздат. 1988.
- Килифарска (Kilifarska N.F.) // J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys. 2012. V. 90–91. P. 9.
- Киркби и др. (Kirkby J. et al.) // Nature. 2011. V. 476. P. 429.
- Ливингстон, Пенн (Livingston W., Penn M.) // Eos. Transactions of the American Geophysical Union. 2009. V. 90. N. 30.
- Лукьянова Р.Ю., Марсула К. // Сб. Циклы активности на Солнце и звездах. 2009. С. 153.
- Ридер (Rieder H.E. et al.) // Atmosph. Chem. Phys. 2010. V. 10. P. 10021.
- Свенсмарк (Svensmark H.) // Astron. Geophys. 2007. V. 48. N. 1. P. 18.
- Феленберг Г. // Загрязнение природной среды. М: Мир. 1997.
- Эдди (Eddy I.A.) // Science. 1976. V. 192. P. 1189.
- Эдди (Eddy I.A.) // Scientific American. 1977. V. 236. P. 80.