

# Влияние вспышечной активности Солнца на общее содержание озона

К.Н. Вишератин, А.В. Шилкин

ГУ "НПО "Тайфун", 249030 г. Обнинск, ул. Победы, 4

E-mails: [kvisher@typhoon.obninsk.ru](mailto:kvisher@typhoon.obninsk.ru),

[shilkin@typhoon.obninsk.ru](mailto:shilkin@typhoon.obninsk.ru)

Проведен анализ временных и пространственных вариаций общего содержания озона (ОСО) в периоды наиболее мощных вспышечных процессов на Солнце. Были использованы среднедневные данные по общему содержанию озона, полученные с помощью спутниковой аппаратуры TOMS за период с 1979 по 2005 годы. В качестве индексов вспышечной активности использовались индекс УФ-излучения MgII и данные о потоках высокоэнергетических частиц. Анализ проводился для данных TOMS на сетке с пространственным разрешением 1 на 1.25 градусов, а также для среднезональных рядов озона. С помощью метода наложенных эпох построены карты глобального распределения ОСО, характеризующие отклик озона на вспышечные события. Оценка значимости полученных результатов проводилась методом Монте-Карло. Результаты анализа указывают на сложный характер пространственных и временных вариаций общего содержания озона в послевспышечный период. Корреляционные связи ОСО и вспышечной активности Солнца наиболее заметны для среднезональных рядов и преимущественно для умеренных и высоких широт.

**Ключевые слова:** общее содержание озона, солнечная активность, солнечная вспышка, ультрафиолетовое излучение, индекс MgII, метод наложенных эпох, солнечное протонное событие.

Активные образования на Солнце, такие как пятна, факелы и флоккулы влияют на интенсивность и спектральный состав солнечной радиации. В области интенсивных солнечных вспышек формируются потоки энергичных корпускулярных частиц, которые достигают орбиты Земли через несколько часов. Связанные со вспышками вариации магнитного поля модулируют поток галактических космических лучей. В атмосфере Земли энергичные частицы вызывают ионизацию и диссоциацию молекул воздуха и приводят, к частности, к росту окиси азота, которая активно разрушает молекулы озона.

Согласно [1] можно выделить прямые и косвенные солнечные индексы. К прямым солнечным индексам относят число солнечных пятен (числа Вольфа), площадь солнечных пятен, индекс радиоизлучения на длине волны 10.7 см [2], так называемый вспышечный индекс [3], корональный индекс, связанный с интенсивностью эмиссии в линии Fe XIV на длине волны 530.3 нм [4], индекс интегральной солнечной иррадиации [5], спектральные индексы CaII и MgII, причем последний характеризует интенсивность солнечного излучения в УФ диапазоне. К косвенным индексам относят геомагнитные индексы и индексы, характеризующие поток галактических космических лучей. При взаимодействии потоков протонов и электронов с атмосферными газами формируются различающиеся по энергиям вторичные потоки протонов, нейтронов, электронов, позитронов и мюонов.

Помимо галактических космических лучей на Солнце спорадически проявляются события получившие название событий SEP (solar energetic particle) сопровождаемых потоком частиц с повышенной энергией. Согласно пятибалльной шкале, разработанной NOAA, разделяют геомагнитные бури (GS – обозначаются G1 – G5), солнечные радиационные бури (SR) и радиозамириания (RB). Следует отметить, что только космические лучи с энергиями более 10 – 14 ГэВ могут достигать Земли в экваториальных широтах. Влияние геомагнитного поля приводит к тому, что чем меньше энергия космических лучей, тем выше широты, на которых они могут влиять на озоновый слой.

Вероятно впервые эффект убыли озона в высоких широтах был отмечен после вспышки 02.11.1969 в работе [6]. Позднее в ряде работ рассматривалось влияние событий, связанных со вспышками на Солнце, на общее содержание озона. По оценкам [7] вторжение релятивистских электронов в 80-х годах могло привести к образованию нечетного азота и уменьшению глобального ОСО на 2.6 %. В [8 – 10] были рассмотрены механизмы образования в результате солнечных вспышек окиси и двуокиси азота NO и NO<sub>2</sub>. NO<sub>x</sub> компоненты участвуют в разрушении озона в фотохимических реакциях, но вместе с тем могут связывать хлорины ClO и тем самым уменьшать убыль озона на высотах менее 20 км [8, 10].

Связь вариаций ОСО с солнечными вспышками по данным для отдельных наземных озоновых станций и выборочным спутниковым данным анализировались в ряде работ. Согласно [11] солнечные протонные события (2.05.1998) привели к значительному росту над Мурманском окиси и двуокиси азота NO и NO<sub>2</sub>, однако падения ОСО не было замечено. 30 % уменьшение ОСО после вспышки 28 ноября 2003 г. было объяснено в [12] ростом NO и OH. Также для Мурманска анализ 8 случаев высывания релятивистских электронов с энергиями более 300 кэВ был проведен в [13]. Были сопоставлены среднедневные значения ОСО в течение 6 дней до и после событий. В 7 случаях наблюдалось понижение ОСО до 20 ЕД. Для одного широтного разреза было найдено, что падение ОСО характерно для высоких широт и незначимо для низких широт. Падение ОСО вблизи полярных шапок, вызванное потоком солнечных протонов, было найдено также в [14, 15]. На основе фотохимической модели в [16] были проведены оценки убыли озона для ряда протонных событий в 2000 – 2001 гг. Уменьшение концентрации озона на высотах 40 – 60 км варьировало от 2 до 90 %, для ОСО составило 0.1 – 0.9 %.

Значительное влияние вариаций интенсивности галактических космических лучей было обнаружено для умеренных широт (Алма-Ата) в работе [17]. В результате анализа методом наложенных эпох 9-ти событий, было найдено, что в начальный период падения ОСО составляло около 30 ЕД, затем в течение 10 – 11 дней наблюдался рост до 18 ЕД. Однако для данных станции Градек-Карлове, также расположенной в умеренных широтах влияние солнечных вспышек на ОСО не было обнаружено [18]. Отрицательный результат был получен и в работе [19] для станций Ароза, Бельск и Хохенпайсенберг, где анализировались вариации озона на различных высотах, а также общее содержание. Ряд аспектов проблемы взаимодействия вспышечных явлений и вариаций потоков космических лучей на озоновый слой рассмотрены также в обзорах [20, 21]. Отметим, что согласно оценкам [22], распределение по пространству потока космических лучей, достигающих поверхности Земли, имеет ярко выраженный локальный эффект, и может отличаться до 2 порядков.

Резюмируя итоги краткого обзора, можно сделать вывод, что солнечные вспышки и связанные с ними события, оказывают, прежде всего, влияние на общее содержание озона в высоких и полярных широтах, приводя к убыли ОСО. Однако величина эффекта по данным разных авторов варьирует в значительных пределах и может отсутствовать. Противоречивы данные работ для отдельных станций, расположенных в умеренных широтах и имеются указания на полное отсутствие влияния вспышек на ОСО экваториальной зоны. Поэтому целью настоящей работы является анализ вариаций глобального поля ОСО по спутниковым данным с пространственным разрешением порядка 100 км для событий наиболее значительных солнечных вспышек в период с 1979 – 2005 гг.

### **Описание данных и методики анализа**

Настоящая работа основана на анализе среднедневных данных по общему содержанию озона (ОСО), полученных с помощью спутниковой аппаратуры TOMS на ИСЗ Nimbus-7 и Earth Probe за период с 1979 по 2005 годы [26]. Пространственное разрешение составляет 1 на 1.25 градусов. Отметим, что спутниковые данные по ОСО имеют пропуски во временном и пространственном распределении. Значительное их отсутствие наблюдается в период с 8 мая 1993 года по 22 июля 1996 года. В пространственном распределении иногда наблюдаются пропуски в интервале от 30S до 30N. Анализ влияния вспышечных событий на ОСО проводился для 15 дат (табл. 1), соответствующих, согласно [24], датам наиболее значительных солнечных вспышек за последние 21, 22 и 23 солнечных цикла. Даты вспышек в таблице представлены в порядке убывания по вспышечному индексу, характеризующему их

мощность. Критериями анализа служили спутниковые данные индексов эмиссионной линии атомов MgII в период с 1979 по 2005 годы [25]. Поведение индекса служит индикатором изменения солнечной УФ-радиации, т.к. линия MgII является самой интенсивной в спектре ультрафиолетового излучения (100 – 400 нм). Также как и спутниковые данные по ОСО, данные по индексам MgII имеют пропуски во временном распределении.

Основной анализ проводился методом наложенных эпох (МНЭ), который используется для нахождения связи между двумя временными рядами. Такой способ анализа данных особенно полезен, если один из рядов состоит из дискретных событий, таких как события вспышек на солнце [23]. В основе метода лежит выбор  $k$  ключевых (реперных) дат  $D_0$  (например, даты вспышек) и  $k$  последовательностей дат, следующих за реперной ( $D_1, D_2, \dots, D_n$ ) или предшествующих ей ( $D_{-m}, \dots, D_{-2}, D_{-1}$ ). Далее следует почленное усреднение данных (например, по ОСО) в дни полученных  $k$  множеств, в результате которого получается множество усредненных данных в дни в окрестности некоторой ключевой даты, в нашем случае относительно события вспышки. Полученная последовательность затем изучается в связи с некоторой априорной гипотезой.

Таблица 1. Данные о наиболее мощных вспышках за 21 – 23 солнечных циклы [24]

| № | Дата            | Вспышечный индекс | №  | Дата            | Вспышечный индекс |
|---|-----------------|-------------------|----|-----------------|-------------------|
| 1 | 09 июня 1991    | >86.5             | 10 | 10 апреля 2001  | 28.73             |
| 2 | 29 октября 2003 | >62.56(73.06)     | 11 | 08 августа 1989 | 26.8              |
| 3 | 12 марта 1989   | 57.0              | 12 | 04 августа 1972 | 26.0              |
| 4 | 08 июня 1982    | 42.4              | 13 | 11 ноября 1980  | 25.9              |
| 5 | 04 июля 1974    | 41.4              | 14 | 28 марта 2001   | >25.74 (28.24)    |
| 6 | 16 декабря 1982 | 36.7              | 15 | 17 мая 1990     | 23.1              |
| 7 | 23 марта 1991   | 32.6              | 16 | 12 января 1989  | 22.4              |
| 8 | 15 июля 1982    | 31.6              | 17 | 28 апреля 1984  | 21.2              |
| 9 | 14 июля 1978    | 29.7              | 18 | 18 июня 1982    | 18.8              |

Для оценки значимости результатов проводилось сравнение с результатами, полученными для модельных рядов с такой же дисперсией и такого же размера (метод Монте-Карло).

### **Анализ вариаций общего содержания озона с высоким пространственным разрешением**

Солнечные протонные события (СПС), как было найдено в ряде рассмотренных выше работ, относятся к наиболее важным явлениям, связанным с солнечной активностью и могут оказывать воздействие на озоновый слой. Как следует из приведенного обзора в подавляющем большинстве работ, в которых было установлено, влияние Солнца проявляется во время СПС, использовались данные отдельных станций наблюдения. Поэтому на первом этапе нами были построены карты глобального распределения ОСО для всех реперных дат из табл. 1 и проведен визуальный анализ влияния солнечной активности на поля озона. В качестве примера на рис. 1 показано распределение озона вблизи реперной даты №10. Вспышка произошла 10 апреля, и тогда же вспышечный индекс имел максимальное значение, а интенсивность протонного потока с энергиями  $E > 1$  МэВ – 11 апреля. На рисунках можно отчетливо выделить области повышенного содержания озона, которые перемещаются с течением времени на запад. Естественно предположить, что такое перемещение связано с динамическими процессами, происходящими в нижней стратосфере. Поэтому выделить процессы роста или уменьшения ОСО в отдельных пунктах, обусловленные влиянием вспышек, чрезвычайно сложно. Обычная картина временной изменчивости ОСО в высоких широтах в переходные периоды (весной в северном полушарии или осенью в южном) – это результат влияния на пространственное распределение озона процессов

разрушения циркумполярных вихрей и сложные вихревые образования от перемещающихся высотных циклонов и антициклонов.

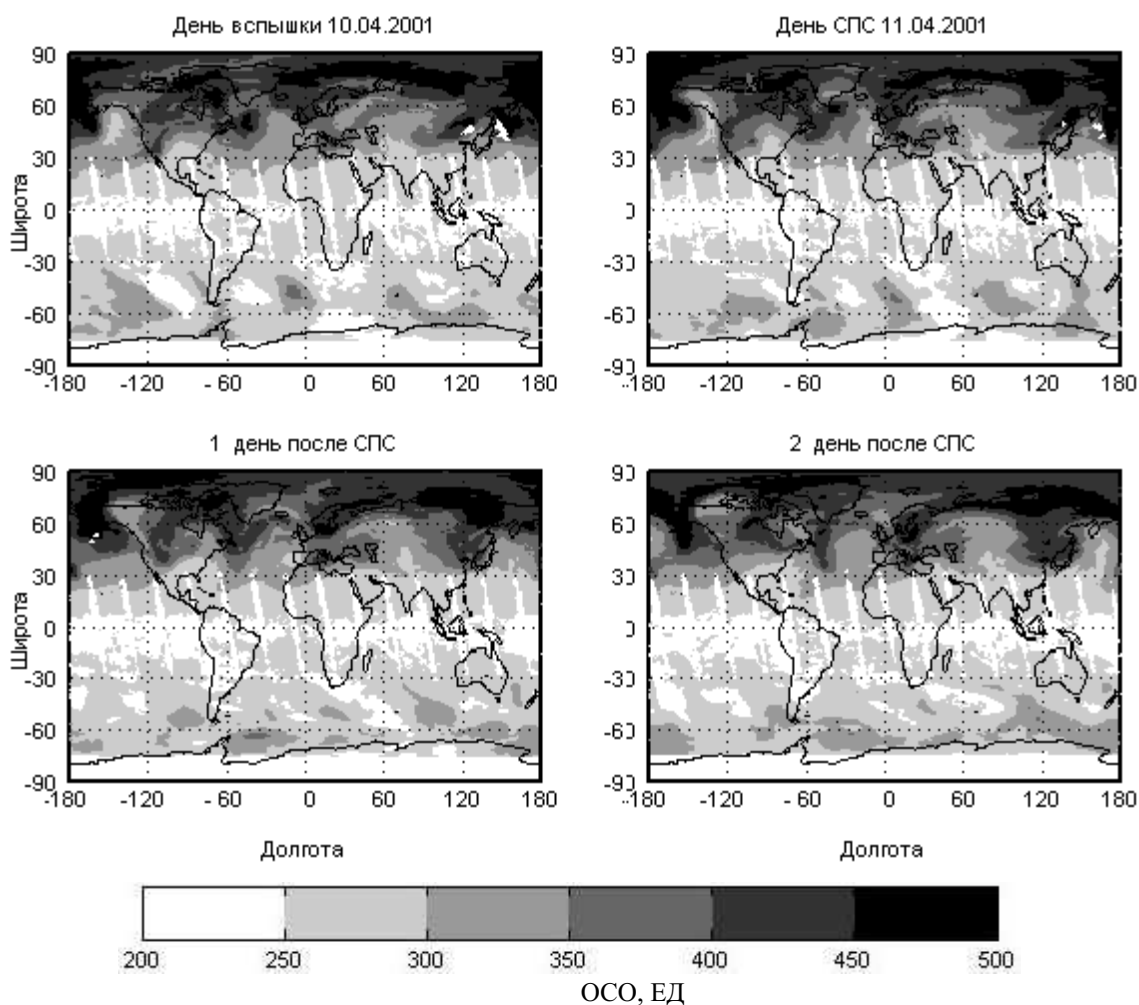


Рис. 1. Вариации общего содержания озона с пространственным разрешением 1 на 1.25 градусов в апреле 2001 г.

Относительно более стабильные состояния глобального озонового поля наблюдаются летом и зимой, и в некоторых случаях становится возможным оценить коррелированность вариаций СО и вспышечной активности. Однако всегда можно найти области, в которых поведение СО в дни после вспышек имеет разные знаки. Поэтому на втором этапе был использован метод наложенных эпох [23], «ключевыми датами» которого являются даты вспышек из табл. 1 (за исключением №5, 9 и 12, для которых нет данных по озону). В основе метода лежит усреднение данных по СО для каждой точки земного шара ( $1^\circ \times 1.25^\circ$ ), в которых имеются измерения, для дней до и после вспышек.

На рис. 2 показаны вариации СО, полученные методом наложенных эпох по 15 вспышечным событиям из табл. 1 (реперные дни – дни вспышек).

Из рис. 2 следует, что при таком усреднении поля распределения озона вдоль широтных зон выравниваются. Для того чтобы оценить величины и знак вариаций СО после вспышки, из данных, соответствующих дням после вспышки, поточечно был вычтен массив данных СО для реперного дня. Эти данные показаны на рис. 3. Представленные на рис. 3 результаты соответствуют первым четырем дням после реперного. Как видно из рисунка, изменения в общем содержании СО наиболее заметны в умеренных и высоких широтах, имеют пятнистую структуру и в отдельных точках достигают  $\pm 30$  ЕД. Заметно также чередование в указанных широтах областей с повышенным и пониженным содержанием озона с волновым числом около 5 – 6. В тропической зоне заметны чередования зон с пониженным содержанием озона, которые являются результатом случайного наложения областей, в которых были пропуски в спутниковых данных.

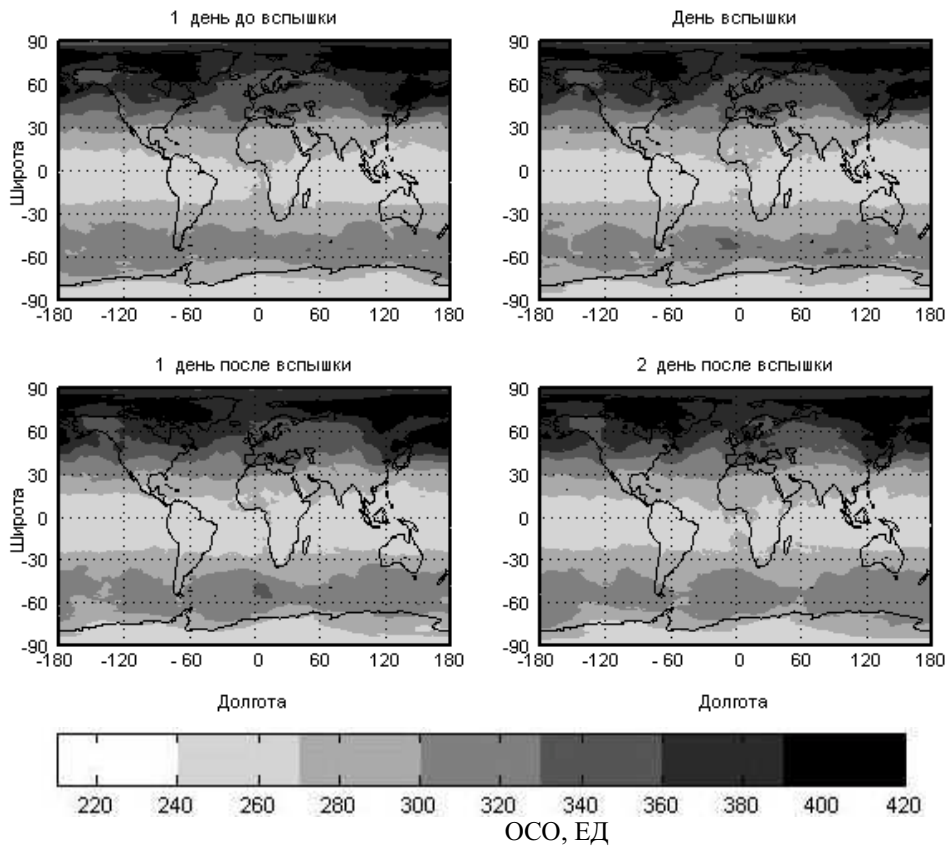


Рис. 2. Вариации общего содержания озона с пространственным разрешением 1 на 1.25 градусов, полученные методом наложенных эпох

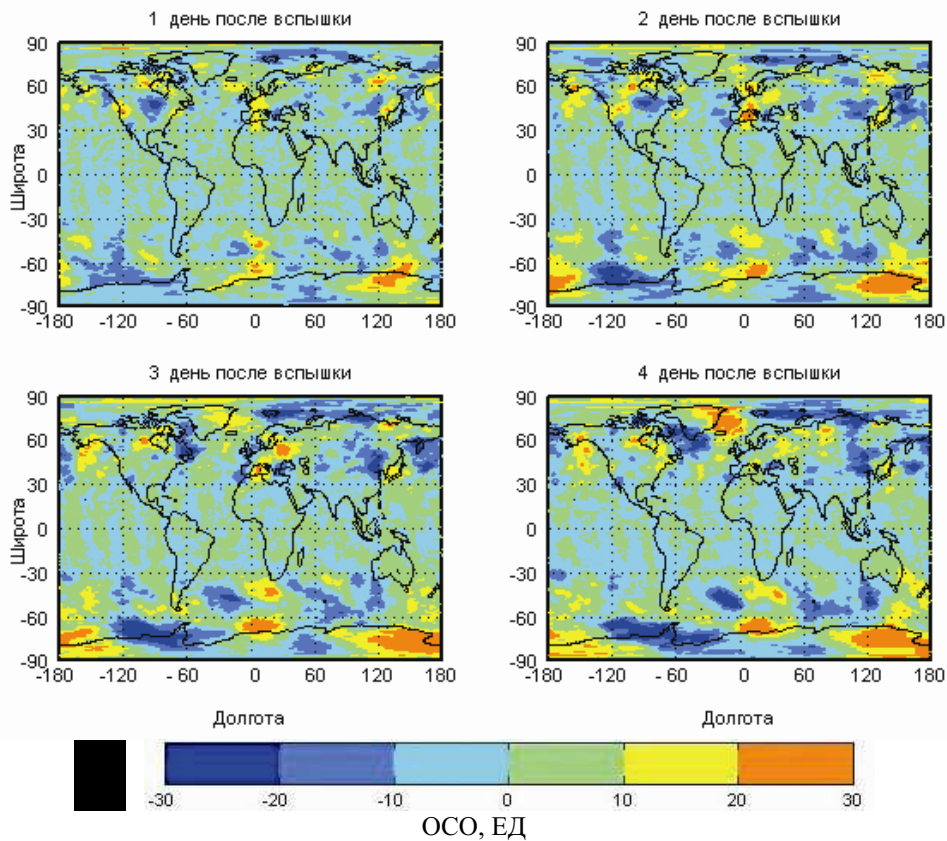


Рис. 3. Вариации общего содержания озона с пространственным разрешением 1 на 1.25 градусов, полученные методом наложенных эпох, после вычитания массива данных для нулевого дня

Следует отметить, что используемый подход имеет свои недостатки. Выбрав в качестве реперных дат другие наборы дат можно получить отличающуюся картину изменчивости ОСО после вспышечных событий. Видимо, целесообразен дальнейший более детальный анализ вариаций полей ОСО с высоким пространственным разрешением для большего числа вспышечных событий и с разделением вспышечных событий, например, по сезонам.

### Анализ вариаций общего содержания озона для среднезональных рядов

Представленные на рис. 1 и рис. 3 данные показывают, что наибольшие временные и пространственные вариации ОСО происходят вдоль широтных зон. Поэтому был проведен анализ вариаций ОСО после вспышечных событий для среднезональных рядов. Были составлены два массива данных, первый из которых содержал среднезональные значения ОС для 5-градусных широтных зон, а второй для 15-градусных.

На рис. 4 в качестве примера показаны вариации ОСО для ряда широтных зон, полученные методом наложенных эпох. Ключевыми событиями для метода наложенных эпох (нулевой день) также являются даты 15 вспышечных событий из табл. 1.

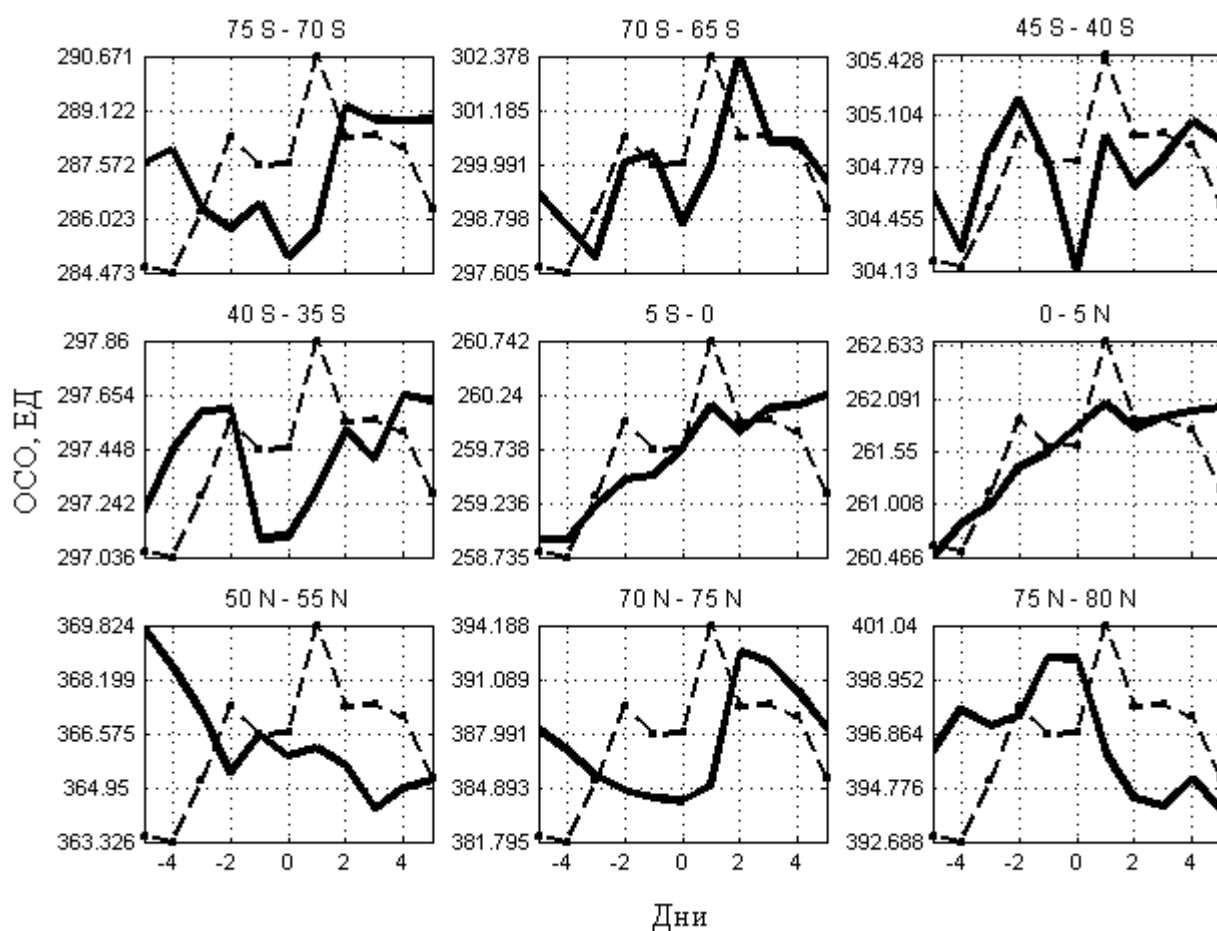


Рис. 4. Вариации среднезональных значений общего содержания озона, полученные методом наложенных эпох

Поскольку ультрафиолетовое излучение является одним из основных факторов влияющих на озон, естественно было ожидать наличия корреляции с индексом MgII. Действительно, в большинстве широтных зон наблюдается падение ОСО в пределах 1 – 2 дней после максимумов индекса магния (-2 и 1 дни). Величина падения ОСО в различных поясах варьирует от 0.5 до 3 ЕД. Вместе с тем для ряда зон падения не наблюдается.

Очевидно, что одним из основных вопросов при анализе подобных ситуаций должен стать вопрос оценки значимости тех или иных вариаций ОСО непосредственно после вспышечных событий. Этот вопрос достаточно сложен и, видимо, остается открытым. Тем не менее, в некоторых из работ, рассмотренных во введении, оценка значимости проводилась на основе подсчета средней дисперсии вариаций ОСО для «довспышечных» дней и дисперсия с учетом вариаций ОСО в дни после таких событий. Понятно, что на эти оценки накладываются многие случайные факторы и в том числе вариации ОСО за счет динамических процессов. Поэтому нами была предпринята попытка оценить значимость полученных результатов методом Монте-Карло.

Некоторые аспекты практического использования метода Монте-Карло для анализа геофизических рядов изложены в [27 – 29] (копии статей доступны на <http://www.typhoon.obninsk.ru/last/papers.htm>). Общим принципом метода Монте-Карло является формирование значительного числа случайных рядов с заданными параметрами (характер шума, дисперсия, среднее и т.д.) [30]. В рассматриваемом случае были сгенерированы 1000 случайных рядов нормально распределенного шума такой же длины и с такой же дисперсией, как и для конкретного среднеширотного ряда ОСО. Такие случайные, или суррогатные, ряды среднедневных значений для периода с 1979 по 2005 гг. были построены для каждой широтной зоны. Затем из каждого суррогатного ряда вырезались  $k$  последовательностей для  $k$  вспышек, из которых методом наложенных эпох получали набор рядов, который использовался для оценки значимости.

Сравнительно просто организовать таким образом оценку значимости долговременных трендов [27, 30] и результатов Фурье-анализа [27 – 29]. В нашем же случае мы должны оценить вероятность того, что в дни после вспышек происходит некоторое изменение (со знаком плюс или минус) содержания озона. Однако эти изменения происходят в течение нескольких дней и накладываются на предыдущие (и последующие) тренды. Другими словами, надо, в простейшем случае, когда мы в качестве «нулевой гипотезы» предполагаем уменьшение ОСО, оценить, какова вероятность того, что положительный тренд в дни до вспышек сменится после вспышечного события отрицательным, или отрицательный тренд станет еще «отрицательней». Авторы данной работы пока не пришли к окончательному мнению относительно способа оценки значимости. Поэтому в данной работе мы оценили значимости изменений содержания ОСО в результате вспышечных событий исходя из следующих соображений. Мы выдвигаем, основываясь на литературных данных гипотезу, что вспышечные события приводят к уменьшению ОСО. Если окажется, что во всех 1000 суррогатных рядах для данной широтной зоны в первый или второй день после вспышки происходит падение «ОСО», тогда значимость равна нулю. Если число суррогатных рядов, в которых величина падения будет меньшей, равна 10, тогда значимость будет составлять 99%.

Результаты оценок для всех широтных зон, в которых наблюдалось послевспышечное уменьшение ОСО, показали, что значимость событий, состоящих в одновременном падении ОСО после первого и второго максимума индекса магния, составляет около 70 – 80 %.

## **Основные выводы**

Проведен анализ временных и пространственных вариаций общего содержания озона (ОСО) в периоды наиболее мощных вспышечных процессов на Солнце на сетке с пространственным разрешением 1 на 1.25 градусов, а также для среднезональных рядов озона. Карты глобального распределения ОСО, характеризующие отклик озона на вспышечные события указывают на сложный характер пространственных и временных вариаций общего содержания озона в послевспышечный период. Корреляционные связи ОСО и вспышечной активности Солнца наиболее заметны для среднезональных рядов и преимущественно для умеренных и высоких широт. Для ряда широтных зон оценка значимости полученных результатов методом Монте-Карло составила около 70 – 80 %.

Авторы рассматривают полученные результаты как предварительные, поскольку на этом этапе работы анализировался отклик ОСО только по индексу магния и только на наиболее мощные вспышки и вне зависимости от времени сезона. Видимо дальнейший анализ с учетом также и таких процессов как квазидвухлетняя цикличность стратосферного экваториального ветра, фаза солнечного цикла, а также выбором в качестве реперных дат мощных протонных событий позволят дать более точные оценки влияния вспышечной активности Солнца на вариации общего содержания озона.

## Литература

1. *Usoskin I.G.* A History of solar activity over millennia // *Solar Phys.* 2008. Vol. 5. №3. 84 p.
2. *Tapping K.F., Charrois D.P.* Limits to the accuracy of the 10.7 cm flux // *Solar Phys.* 1994. Vol. 150. №1 – 2. P.305 – 315.
3. *Ozguç A., Ataç T., Rybak J.* Temporal variability of the flare index // *Solar Phys.* 2004. Vol. 214. №3. P.375 – 396.
4. *Rybansky M., Rusin V., Minarovjech M., Klocok L., Cliver E.W.* Reexamination of the coronal index of solar activity // *Journal of geophysical research.* 2005. Vol. 110. №A8. P.A08106.1 – A08106.9.
5. *Solanki S.K., Krivova N.A.* Solar irradiance variations: from current measurements to long-term estimates // *Solar Phys.* 2004. Vol. 224. №1 – 2. P.197 – 208.
6. *Weeks L.H., Cuikey R.S. and Corbin J.R.* Ozone measurements in the mesosphere during the solar proton event of 2 November 1969 // *J. Atmos. Sci.* 1972. Vol. 29. P.1349 – 1355.
7. *Callis L.B., Baker D.N., Blake J.B., Lambeth J.D., Boughner R.E., Natarajan M., Klebesadel R.W. and Gorney D.J.* Precipitating relativistic electrons: their long-term effect on stratospheric odd nitrogen levels // *Journal of geophysical research.* 1991. Vol. 96. P.2939 – 2976.
8. *Crutzen P.J.* The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 1970. Vol. 96. P.320 – 325.
9. *Jackman C.H., Fleming E.L. and Vitt F.M.* Influence of extremely large solar proton events in a changing stratosphere // *Journal of geophysical research.* 2000. Vol. 105. P.11659 – 11670.
10. *Solomon S., Portmann R.W., Sanders R.W., et al.* On the role of nitrogen dioxide in the absorption of solar radiation // *Journal of geophysical research.* 1999. Vol. 104. P.12047–12058.
11. *Kasatkina E.A., Shumilov O.I., Kyro E., Fadel K., Turyansky V.A. and Kivi R.* Nitrogen dioxide variations caused by penetration of solar protons into the high-latitude // *Atmosphere Cosmic Research.* 2003. Vol. 41. №2. P.118 – 122.
12. *Krivolutsky A.A., Kuminov A.A., V'yushkova T.Yu., Kuznetsov S.N. and Myagkova I.N.* Changes in the earth's ozonosphere due to ionization of high-latitude atmosphere by solar protons in October, 2003 // *Cosmic Research.* 2004. Vol. 42. No.6. P.626 – 635.
13. *Roldugin V.C., Beloglazov M.I., Remenets G.F.* Total ozone decrease in the Arctic after REP events // *Annales Geophysicae.* 2000. Vol. 18. №3. P.332 – 336.
14. *Shumilov O.I., Kasatkina E.A., Raspopov O.M. and Henriksen K.* Influence of Forbush decreases of galactic cosmic rays on the ozone layer // *Geomagn. Aeron.* 1997. Vol. 37. P.24 – 31.
15. *Stephenson J.A.E. and Scourfield M.W.J.* Ozone depletion over the polar caps caused by solar protons // *Geophys. Res. Lett.* 1992. Vol. 19. №24. P.2425 – 2428.
16. *Krivolutsky A.A., Kuminov A.A., Kukoleva A.A., Repnev A.I., Pereyaslova N.K., Nazarova M.N.* Solar proton activity during cycle 23 and changes in the ozonosphere: numerical simulation and analysis of observational data // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2008. Vol. 48. №4. P.432 – 445.
17. *Fedulina I.N.* Changes of ozone content at middle latitudes during Forbush decreases in cosmic rays // *Studia Geophysica et Geodaetica.* 1998. Vol. 42. №4. P.521 – 532.
18. *Marin D., Lastovicka J.* Do solar flares affect total ozone? // *Studia Geophysica et Geodaetica.* 1998. Vol. 42. №4 P.533 – 539.
19. *Robert S. Weinbeck and Douglas N. Yarger.* Relationship of atmospheric ozone profiles to solar magnetic activity // *Pure and Applied Geophysics.* 1978. Vol. 116. №1. P.32 – 43.
20. *Krivolutsky A.A., Kuminov A.A. and Repnev A.I.* Effects of cosmic rays on the Earth's ozonosphere: a review // *Geomagn. Aeron.* 1999. Vol. 39. №3. P.243 – 252.
21. *Krivolutsky A.A.* History of cosmic ray influence on ozone layer of the Earth: key steps // *Advances in Space Research.* 2003. Vol. 31. №9. P.2127 – 2138.
22. *Bazilevskaya G.A., Usoskin I.G., Fluckiger E.O., Harrison R.G., Desorgher L., Butikofer R., Krainev M.B., Makhmutov V.S., Stozhkov Y.I., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S., Kovaltsov G.A.* Cosmic ray induced ion production in the atmosphere // *Space Science Reviews.* 2008. Vol. 137. P.149 – 173.



23. Пановский Г.А., Байер Г.В. Статистические методы в метеорологии // Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1967. 242 с.
24. Ишков В.Н. Солнечные экстремальные события: история, осуществление, прогноз // Солнечно-земная физика. 2005. Вып. 8. С.19 – 23.
25. <ftp://ftp.sec.noaa.gov/pub/sbuw/>
26. NASA Goddard Space Flight Center. <http://toms.gsfc.nasa.gov>
27. Вишератин К.Н. Межгодовые вариации и тренды среднезональных рядов общего содержания озона, температуры и зонального ветра // Изв. РАН ФАО. 2007. Т. 43. №4. С.67-85.
28. Вишератин К.Н., Карманов Ф.И. Практические методы оценивания спектральных параметров. Учебное пособие по курсу «Вычислительные методы в инженерных расчетах» // Обнинск: ИАТЭ, 2008. 60 с.
29. Вишератин К.Н., Бугрим Г.И. Спектральная структура индекса Бевериджа и индексов солнечной активности в 1500 – 1869 гг. // С-Пб.: Физика атмосферы. Наука и образование. Юбилейный сб. Физ. фак-т СПбГУ, 2007. С.142-152.
30. Percival D.B., Rothrock D.A. Eyeballing trends in climate time series: a cautionary note // J.Climate. 2006. Vol. 18. №6. P.886-891.

## Solar flare activity and atmospheric ozone variations

K.N. Visheratin, A.V. Shilkin

*RPA "Typhoon"*

*4 Pobeda str., Obninsk, Kaluga Region, 249038*

*E-mails: [kvisher@typhoon.obninsk.ru](mailto:kvisher@typhoon.obninsk.ru),*

*[shilkin@typhoon.obninsk.ru](mailto:shilkin@typhoon.obninsk.ru)*

The analysis of the total ozone (TO) temporal and spatial variations during the periods of the most powerful solar flares was carried out. The daily mean TOMS total ozone data from 1979 to 2005 were used. The MgII index and energetic particle flux data were used as solar flare indices. The analysis was carried out for each point from the TOMS data on the 1 by 1.25 grid, as well as for zonal mean TO time series. The method of superimposed epochs was used to construct global maps of total ozone distribution, characterizing ozone changes due to flare events. The results obtained were estimated by the Monte-Carlo method. The results of the analysis have shown the complexity of spatial and temporal variations of total ozone after flare events. The TO and solar flare activity correlative relations are more pronounced for zonal mean data and for middle and high latitudes.

**Keywords:** total ozone, solar activity, solar flare, ultraviolet emission, MgII index, the method of superimposed epochs, solar proton event.