

В.И. Демин, В.В. Пчелкин, М.И. Белоглазов

О реакции общего содержания озона на Форбуш-понижения галактических космических лучей

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл.

Поступила в редакцию 11.05.2005 г.

Показано, что при изучении реакции озоносферы на изменение потока галактических космических лучей необходимо учитывать аэросиноптическую ситуацию либо привлекать к рассмотрению большое число событий. На основе статистического анализа более 200 случаев Форбуш-понижений (отдельно сильных и слабых) доказано отсутствие значимого отклика в общем содержании озона на восьми станциях, расположенных в северных широтах.

Введение

Изменение химического состава атмосферы Земли за счет модуляции потока галактических космических лучей (ГКЛ) часто рассматривают как один из возможных механизмов воздействия солнечной активности на погодные и климатические процессы (см., например, [1, 2]). Предполагается, что изменение вертикального профиля ионизации вызывает соответствующую реакцию в концентрациях малых газовых составляющих атмосферы, в том числе и озона. Так как последний играет исключительную роль в радиационном балансе атмосферы, то изменение его концентрации с неизбежностью должно привести к изменению термобарических полей в стратосфере, что, в конечном счете, отразится и на характере циркуляции в нижней тропосфере.

Наиболее убедительным доказательством реальности такого механизма могло бы стать непосредственное экспериментальное обнаружение реакции общего содержания озона (ОСО) на изменения потока ГКЛ. И в работе [3] сообщается о 10–15%-м увеличении общего содержания озона на шести станциях европейской территории России во время Форбуш-понижений (ФП) потока ГКЛ 15 февраля 1978 г. В то же время в работе [4] говорится уже о понижении ОСО в периоды ФП. Статистическое увеличение числа событий до 21 для одной точки и привлечение некоторых данных о динамике высотных барических полей в [5] привели к выводу о постоянстве общего содержания озона во время ФП. Таким образом, в литературе высказываются самые разные взгляды на данную проблему. Учитывая, что гипотеза о воздействии солнечной активности на погодные явления посредством изменения ОСО по-прежнему привлекается для объяснения ряда метеорологических и климатических эффектов (см., например, [6]), представляет интерес дополнительное изучение данного вопроса.

Методические основания

К сожалению, большинство приводимых в литературе примеров отклика ОСО на ФП, в том числе и на отдельные особо знаменательные события, не включает в себя рассмотрение соответствующей аэросиноптической ситуации, в то время как хорошо известно, что уже только смена воздушной массы над пунктом наблюдения способна вызвать изменение ОСО на 5–30%, в том числе за считанные часы при прохождении оси струйного течения (СТ) [7–10].

Так, описанные в [3] изменения ОСО во время ФП наблюдались на станциях, расположенных в зоне действия сразу двух планетарных высотных фронтальных зон и соответствующих им СТ, а сам период 10–22 февраля 1978 г., согласно каталогу типов синоптических процессов северного полушария, приведенного в [11], пришелся сразу на 3 (!) элементарных синоптических процесса: 10–13, 14–16 и 17–22 февраля. Поэтому обнаруженное авторами [3] 10–15%-е повышение ОСО могло быть вызвано простой сменой воздушных масс с различным содержанием озона.

Осторожного отношения к себе требует и сообщение о реакции ОСО на ФП в высоких широтах в зимний период в восточной фазе квазидвухлетнего цикла [12], как по причине крайне малой выборки (что подчеркивается и авторами), так и ввиду того, что межсуточные изменения ОСО в арктической воздушной массе в зимний период, когда ее центральная и периферийная части находятся в сугубо разных условиях освещения, имеют большую амплитуду за счет волновых процессов [7]. Согласно климатическим данным [13], арктическая высотная планетарная фронтальная зона (и связанное с ним СТ) находится практически в авроральных широтах; нередко проникновение сюда и северной ветви планетарной фронтальной зоны умеренных широт. В этой ситуации, при временном совпадении прохождения оси СТ и ФП,

изменение ОСО, вызванное только динамическими причинами, можно, в том числе и ошибочно, интерпретировать как отклик озоносферы на изменение потока космических лучей.

Важным моментом является также то, что 30%-е изменение ОСО при пересечении оси СТ, по всей видимости, превышает прокламируемые изменения ОСО под воздействием изменений потока ГКЛ. Это значит, что при наложении данного динамического процесса на изменение содержания озона, вызванное ФП, возможен различный даже по знаку эффект, чем, скорее всего, и объясняются получаемые противоположные результаты при рассмотрении конкретных событий.

С учетом сказанного становится очевидным, что для обнаружения реального отклика ОСО на ФП необходимы либо обязательное рассмотрение аэросиноптической ситуации и проверка циркуляционной однородности для каждого из тех немногих случаев, которые были рассмотрены авторами [3, 4, 12], либо значительное увеличение числа рассматриваемых событий для сглаживания вариаций, обусловленных динамическими процессами в атмосфере. Ниже изложены результаты анализа, проведенного по второму пути.

Использованная база данных

В данной работе количество ФП, включенных в анализ, было существенно увеличено: использовано более двухсот событий, что намного больше, чем в упомянутых выше работах [3–5, 12]. Другой идеей, реализованной в настоящем исследовании, было предположение о том, что ситуация может развиваться существенно по-разному для ФП разных типов. Была предпринята попытка обнаружить эту разницу.

Из истории магнитосферных исследований известно, что длительное время явление понижения интенсивности ГКЛ наблюдалось лишь наземными детекторами и связывалось с магнитными бурями. При этом ФП определяли как понижение интенсивности ГКЛ во время магнитных бурь [14]. Качественное и количественное расширение экспериментальной базы данных (и, прежде всего, наблюдения на космических аппаратах) привело к пониманию того, что ФП – прежде всего модуляционный эффект, обусловленный взаимодействием ГКЛ с крупномасштабными неоднородностями солнечного ветра [15]. Последние, в свою очередь, соотносены с источниками потоков плазмы разных классов: солнечные вспышки, корональные дыры, исчезающие волокна, пояс корональных лучей [16]; и это может приводить к различиям в ФП. Сама по себе мысль достаточно очевидна – например, вспышечные ФП, в частности, сопровождаются рентгеновской вспышкой, а рекуррентные – нет. Список подобных различий можно продолжить. Взвешенно судить о природе ФП можно лишь по комплексу данных наблюдений – как на поверхности Земли, так и в космосе.

В последние годы был выработан достаточно простой и надежный критерий разделения вспы-

шечных и иных ФП (прежде всего, обусловленных исчезающими волокнами), основанный на простом анализе амплитуд ФП. В работе [15] было установлено, что практически все ФП с амплитудой A_F , превышающей 3%, являются вспышечными, а понижения, обусловленные, например, внезапно исчезающими волокнами, имеют амплитуду менее 1,5%. Применяя данный критерий, мы рассматривали вспышечные ФП отдельно от остальных.

В работе использована база данных, специально созданная для изучения ФП и соответствующих корреляционных зависимостей и содержащая результаты наземных наблюдений (нейтронные мониторы) космических лучей, а также спутниковые измерения параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП).

Данные по ОСО взяты из справочников «Общее содержание озона и спектральная прозрачность атмосферы. Справочные данные по станциям СССР» (1972–1989 гг.). Были использованы также данные спутниковых измерений ОСО TOMS (<http://toms.gsfc.nasa.gov>). При изучении связи ОСО с потоковыми характеристиками ГКЛ применен метод наложения эпох. При этом анализ проводился отдельно как для сильных ($A_F > 2,3\%$) (их было порядка 60), так и для слабых ($A_F < 1,5\%$) ФП.

Анализ результатов

Ввиду того что отклик ОСО на изменения потока космических лучей наиболее ожидаем в высоких широтах, для анализа нами были выбраны обсерватории: Мурманск (68,97° с.ш., 33,05° з.д.), Диксон (73,50° с.ш., 80,23° з.д.), Оленек (68,50° с.ш., 112,43° з.д.), Тикси (71,58° с.ш., 128,92° з.д.), Игарка (67,47° с.ш., 86,57° з.д.), Марково (64,68° с.ш., 170,42° з.д.), Архангельск (64,58° с.ш., 40,50° з.д.), Печора (65,12° с.ш., 57,10° з.д.).

Изменения ОСО за 10 дней до и 11 дней после сильных ФП, полученные методом наложения эпох, для перечисленных обсерваторий представлены на рис. 1. Из-за пропусков в наблюдениях ОСО число событий, включенных в анализ для разных обсерваторий, оказалось неодинаковым.

Выше уже говорилось, что вариации ОСО при смене воздушных масс достигают 30%. Поэтому относительно малая выборка не позволяет сгладить естественные вариации. Однако из рис. 1 видно, что по мере увеличения числа рассматриваемых событий эти колебания становятся менее выраженными (в идеале ход ОСО до «нулевого» дня при использовании метода наложенных эпох должен бы представлять прямую линию). Вместе с тем характер вариаций ОСО до «нулевого» дня, обусловленный только динамическими процессами в атмосфере, и после начала ФП практически не меняется. Более того, в предположении, что ОСО не меняется в процессе ФП, была проведена прямая, параллельная оси абсцисс, отражающая среднее содержание озона над данной обсерваторией за все дни рассмотренных событий, и вертикальными линиями отмечены 5%-е отклонения от нее. Как видим,

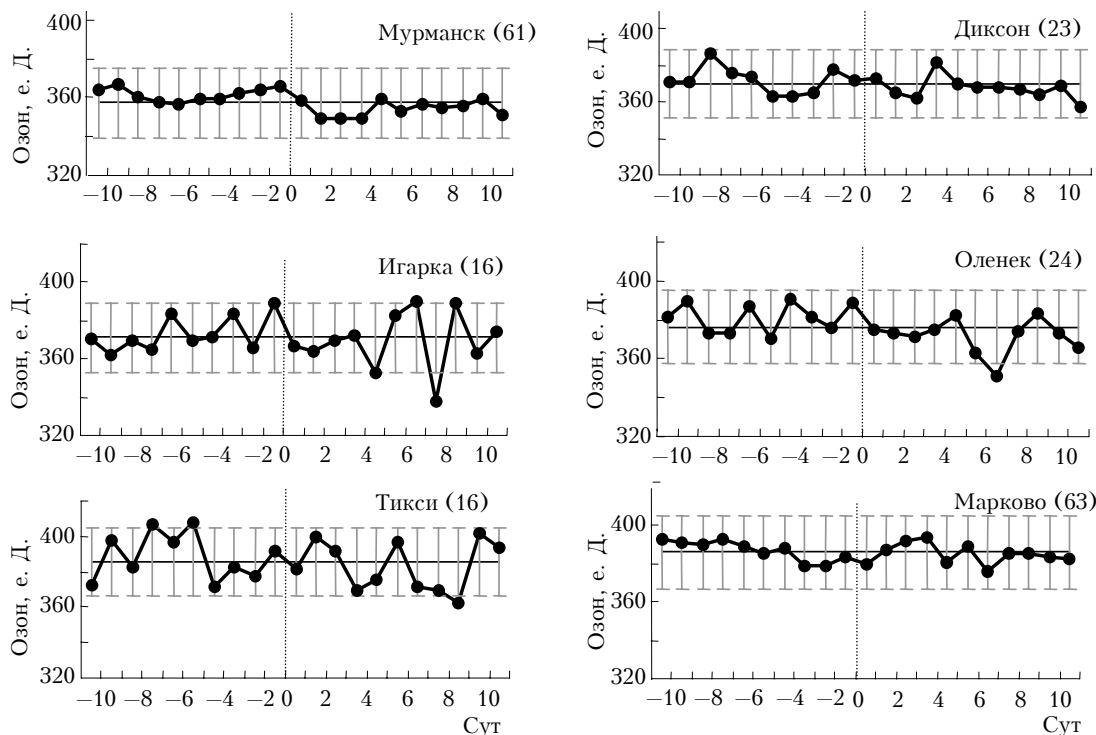


Рис. 1. Вариации ОСО за 10 дней до и 11 дней после сильных ($A_F > 2,3\%$) Форбуш-понижений ГКЛ (в скобках указано число рассмотренных событий на данной станции)

практически все вариации ОСО до и после начала ФП оказываются менее этих 5%, причем увеличение числа рассмотренных событий только подтверждает данный вывод.

Привлечение к рассмотрению слабых ФП ($A_F < 1,5\%$) не меняет картины. На рис. 2 представлено изменение ОСО над Мурманском за 10 дней до и 11 дней после слабых ФП, полученное методом наложения эпох для 150 событий. Вариации ОСО и в данном случае не выходят за пределы 5%-го отклонения от среднего значения за рассмотренные дни.

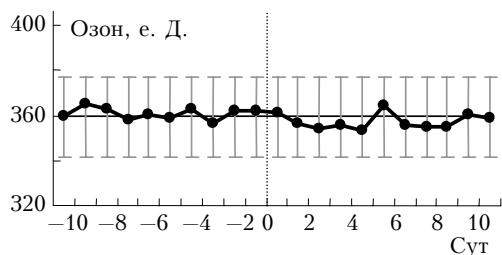


Рис. 2. Вариации ОСО над Мурманском за 10 дней до и 11 дней после слабых ($A_F < 1,5\%$) Форбуш-понижений ГКЛ

Аналогичный результат получается и при другом способе анализа. Так, известно [17], что наибольшие различия в содержании озона разных воздушных масс наблюдаются в феврале–апреле, когда, например, разница между величинами ОСО в арктической и умеренноширотной воздушной массе достигает, в среднем, 80–100 е. Д. (между арктической и тропической воздушными массами – более 100 е. Д.); при этом наименьшая разница на-

блюдается в августе–сентябре – всего 15–20 е. Д. Соответственно, эффект от смены воздушных масс будет наибольшим в конце зимы и весной, а наименьшим – в конце лета и начале осени (рис. 3).

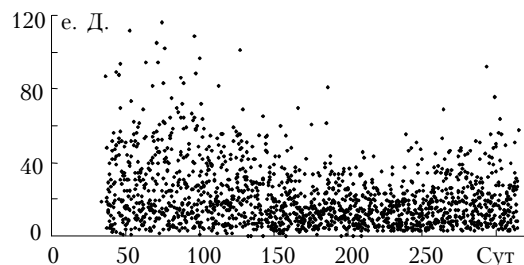


Рис. 3. Межсуточные изменения ОСО (модуль) над Мурманском в 1998–2003 гг.

В связи с этим представляется перспективным попытаться обнаружить отклик ОСО на ФП в тот период, когда его вариации за счет динамических процессов в атмосфере минимальны и, соответственно, эффекты от изменения потока космических лучей могли бы быть наиболее выраженными.

С этой целью нами были отобраны 27 сильных ФП, имевших место в августе–сентябре в период 1972–2001 гг., и методом наложения эпох рассмотрены изменения ОСО над гг. Мурманском, Архангельском, Печорой и пос. Марково. Результаты представлены на рис. 4, из которого следует, что и в этом случае никаких особых вариаций ОСО после начала ФП, по сравнению с вариациями до нулевого дня, не происходит: имеют место изменения ОСО с амплитудой не более 5 е. Д. (или 1,5%).

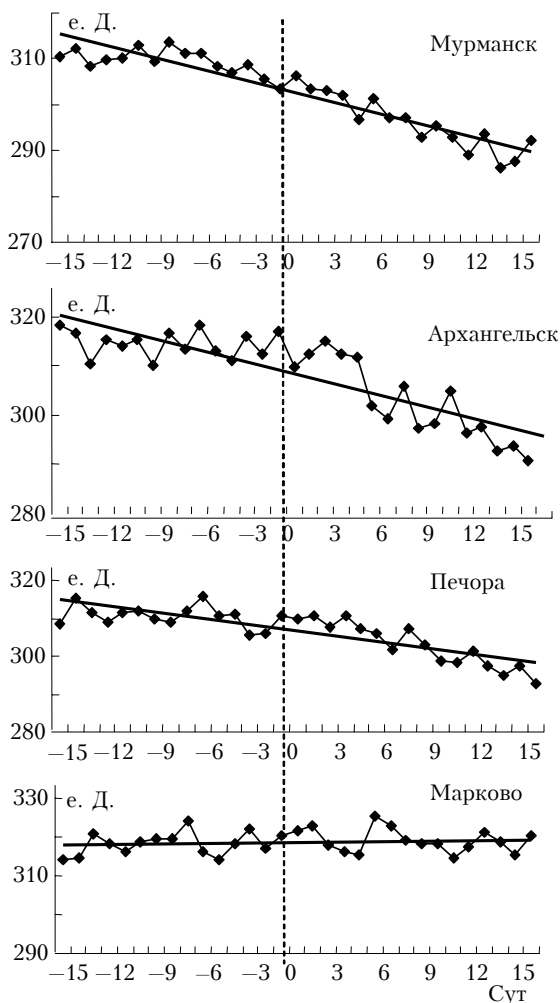


Рис. 4. Вариации ОСО для 27 сильных Форбуш-понижений ГКЛ в августе–сентябре за период 1972–2001 гг.

Наличие отрицательного тренда над Мурманском, Архангельском и Печорой вызвано годовым ходом, когда уменьшения средних многолетних значений ОСО за 30 дней в августе – сентябре составляют 15 е. Д. Над Марково, напротив, в данный период года ОСО практически не меняется (в июле 332 е.Д., в августе 323, в сентябре 326, в октябре 335), и это проявляется и в соответствующем отсутствии тренда на рис. 4.

Заклучение

Таким образом, результаты анализа, проведенного на достаточно большом статистическом материале (восемь высокоширотных обсерваторий, более 200 событий), позволяют утверждать, что во время Форбуш-понижений ГКЛ изменения общего содержания озона практически отсутствуют (либо

не выделяются на фоне естественных флуктуаций, не превышая 1–2%).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 02-05-64114, 05-05-64271).

1. Герман Дж.Р., Гольдберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 320 с.
2. Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрон. 1992. Т. 32. № 5. С. 1–21.
3. Шумилов О.И., Касаткина Е.А., Распопов О.М., Хенриксен К. Воздействие Форбуш-понижений галактических космических лучей на озоновый слой // Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 1. С. 24–31.
4. Козин И.Д., Федулina И.Н., Чакенов Б.Д. Изменение общего содержания озона при возмущениях космических лучей в периоды Форбуш-понижений // Метеорол. и гидрол. 1994. № 10. С. 31–33.
5. Ролдугин В.К. Постоянство общего содержания озона при вторжении релятивистских протонов // Метеорол. и гидрол. 2000. № 10. С. 53–58.
6. Авдюшин С.А., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнетизм и аэрон. 2000. Т. 40. № 5. С. 3–14.
7. Шаламянский А.М., Ромашина К.И. Распределение и трансформация общего содержания озона в различных воздушных массах // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1980. Т. 16. № 1. С. 1258–1265.
8. Гуцин Г.П. Распределение озона и динамика атмосферы в зоне струйного течения // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1980. Т. 16. № 3. С. 277–283.
9. Гуцин Г.П. О динамических образованиях в атмосфере, препятствующих турбулентному обмену // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1993. Т. 29. № 1. С. 40–46.
10. Гуцин Г.П., Виноградова Н.Н. Суммарный озон в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 238 с.
11. Дмитриев А.А., Сельцер П.А., Кондратюк С.И., Кучин В.А. Макромасштабные атмосферные процессы и среднесрочные прогнозы погоды в Арктике. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 253 с.
12. Fedulina I.N., and Lastovicka J. Effects of Forbush decreases of cosmic ray flux on ozone at higher middle latitudes // Adv. Space Res. 2001. V. 27. N 12. P. 2003–2006.
13. Воробьев В.И. Высотные фронтальные зоны северного полушария. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 231 с.
14. Дорман Л.И. Вариации космических лучей и исследование космоса. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 1027 с.
15. Белов А.В., Иванов К.Г. Форбуш-эффекты в 1978 году. 1. Роль внезапно исчезающих волокон // Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 3. С. 32–42.
16. Иванов К.Г. Солнечные источники потоков межпланетной плазмы на орбите Земли // Геомагнетизм и аэрон. 1996. Т. 36. № 1. С. 18–26.
17. Шаламянский А.М., Кароль И.Л., Клягина Л.П., Ромашина К.И. Общее содержание озона над территорией Российской Федерации и прилегающих стран по 30-летним наблюдениям наземных станций // Метеорол. и гидрол. 2004. № 8. С. 24–35.

V.I. Demin, V.V. Pchelkin, M.I. Beloglazov. About reaction of the total ozone content to Forbush-decreases of galactic cosmic rays.

It is shown, that at study of ozonesphere reaction to flow change of galactic cosmic rays it is necessary to take into account the airmass situation or to involve into consideration a large number of events. The absence of a significant response in the total ozone content at eight stations located in northern latitudes is proved on the basis of the statistical analysis of more than 200 cases of the Forbush-decreases (separately, strong and weak).