

ISSN 0552-5829

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ГЛАВНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ РАН  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

# **СОЛНЦЕ В ЭПОХУ СМЕНЫ ЗНАКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**28 мая — 1 июня 2001 года**

**ТРУДЫ**

*Конференция приурочена к:*

*90-летию со дня рождения чл.-корр. АН В.А. Крата  
70-летию со дня рождения д.ф.-м.н. В.Н. Карпинского  
70-летию со дня рождения к.ф.-м.н. Г.Ф. Вяльшина*

Санкт-Петербург  
2001

Сборник содержит доклады, представленные на международной конференции «Солнце в эпоху смены знака магнитного поля» (28 мая – 1 июня 2001 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург). Конференция проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН, Астрономического общества. В конференции принимали участие ученые Российской Федерации, Бельгии, Казахстана, США, Украины, Финляндии.

ISBN 5-7997-0367-7

#### **Оргкомитет конференции:**

Сопредседатели:

В.И. Макаров (ГАО), В.Н. Обридко (ИЗМИРАН)

Члены оргкомитета:

В.М. Богод (САО), И.С. Веселовский (НИЯФ МГУ), В.А. Дергачев (ФТИ),  
Е.В. Иванов (ИЗМИРАН), Р.Н. Ихсанов (ГАО), И.С. Ким (ГАИШ),  
Л.Л. Кичатинов (ИСЗФ), А.В. Мордвинов (ИСЗФ), Н.Н. Степанян (КрАО),  
К.С. Тавастшерна (ГАО)

#### **Местный оргкомитет:**

А.В. Степанов (председатель),  
В.И. Макаров (зам. председателя), Ю.А. Наговицын (зам. председателя),  
Х.И. Абдусаматов, В.Е. Абрамов-Максимов, В.Г. Иванов, М.В. Кушнир,  
Е.В. Милецкий, Л.П. Обляпина, В.И. Постников, Л.М. Правдок, М.Н. Стоянова,  
Г.Н. Троицкий

#### **Редакционная коллегия:**

В.Г. Иванов, В.И. Макаров, Е.В. Милецкий, К.С. Тавастшерна

Компьютерная верстка оригинал-макета Е.Л. Терехиной

На обложке представлен рисунок структуры магнитного поля Солнца — вид с южного полюса 11 июля 19999 года (черный цвет “+” полярность)

ISBN 5-7997-0367-7

© Главная астрономическая обсерватория РАН, 2001 год

# ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ СПС И ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЙ ГКЛ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

А. Л. Морозова, М. И. Пудовкин

*Научно-исследовательский Институт Физики, СПбГУ, С.-Петербург.  
anita@geo.phys.spbu.ru, pudovkin@geo.phys.spbu.ru*

С помощью метода наложенных эпох были проанализированы вариации приземного атмосферного давления, связанные с солнечными протонными событиями (СПС) и Форбуш-понижениями интенсивности потока галактических космических лучей (ГКЛ) для 223 метеорологических станций бывшего СССР.

Весь рассматриваемый регион был разделен на несколько синоптических зон по типу вариаций давления. Анализ полученных данных показал, что характер вариаций атмосферного давления, вызванных как СПС, так и Форбуш-понижениями ГКЛ, зависит от географического положения той или иной метеостанции и климатической зоны, в которой она находится. Кроме того, было обнаружено, что после СПС возмущения атмосферного давления распространяются преимущественно в широтном, а после Форбуш-понижений - преимущественно в меридиональном направлении.

## Введение

Имеется огромное количество работ, посвященных изучению влияния солнечной активности на параметры земной атмосферы и, в частности, вариации атмосферного давления. Эти исследования выявили эффекты как длиннопериодных (11-ти и 22-летние циклы), так и короткопериодных (солнечные протонные события (СПС), Форбуш-понижения интенсивности потоков галактических космических лучей (ГКЛ), пересечения границ секторов межпланетного магнитного поля и т. п.) вариаций солнечной активности в изменении состояния нижней атмосферы, вариациях погоды и климата.

В частности, было обнаружено, что такие короткопериодные (3-4 дня) вариации уровня солнечной активности как СПС и Форбуш-понижения ГКЛ оказывают существенное влияние на атмосферное давление, как в стратосфере, так и в тропосфере, и даже у поверхности Земли. Пудовкин и Веретененко (1992) обнаружили, что СПС вызывают в средних и высоких широтах значительное уменьшение приземного давления, а в низких - небольшое его увеличение. Амплитуда вариаций в среднем составляет  $1 \div 2$  мбар. С другой стороны, примерно на 3-4 день после Форбуш-понижений интенсивности потоков ГКЛ приземное давление в средних и высоких широтах увеличивается примерно на 2 мбар. Эти результаты были получены при анализе зонально осредненных значений приземного атмосферного давления. Однако имеются данные, свидетельствующие о том, что вариации атмосферного давления, наблюдающиеся после СПС и Форбуш-понижений ГКЛ, неоднородны вдоль широтных кругов: в одних местах образуются ячейки увеличения атмосферного давления (подъема высоты изобарических поверхностей), а в других - области уменьшения давления (уменьшения высот изобарических поверхностей) (см. Stolov and Shapiro (1974), Zerefos (1975)).

Для того, чтобы продолжить предыдущие исследования, в данной работе были рассмотрены вариации приземного атмосферного давления во время СПС и Форбуш-понижений интенсивности потоков ГКЛ на территории бывшего СССР (223 метеостанции) в период с 1 июня 1966 по 31 декабря 1990.

## Данные

Данные, использованные в данной работе, являются частью базы данных CDIAC NDP-048/R1, "Six- and Three-Hourly Meteorological Observations from 223 U.S.S.R. stations" (Razuvaev V. N. et al. (1993), Vose et al. (1992)). Эта база данных включает ежедневные измерения 24 метеорологических параметров для каждой из 223 метеостанций бывшего СССР, расположенных между 35° с.ш. и 75° с.ш. и между 20° в.д. и 190° в.д. (см. Рис. 1)

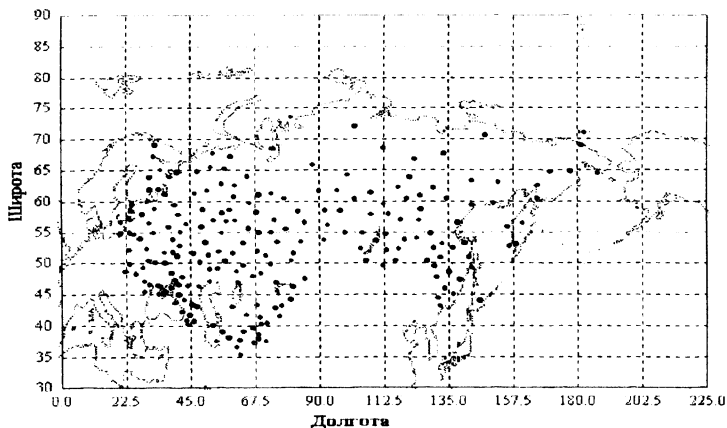


Рис. 1. Распределение 223 метеостанций на территории бывшего СССР.

Для исследования были выбраны данные об изменении атмосферного давления (в десятых долях мбар) в местный полдень. Для исследования реакции приземного давления на изменение потока энергичных частиц (СПС или Форбуш-понижения ГКЛ) мы воспользовались методом наложенных эпох. В качестве реперных точек использовались даты начала солнечных протонных событий с энергиями протонов  $E_p \geq 90$  Мэв и Форбуш-понижения с уменьшением интенсивности потоков ГКЛ более, чем на 2,5%, с октября по март. При этом события отбирались таким образом, чтобы одно событие отстояло от другого не менее, чем на 5 дней – см. Табл. 1. В начале, для каждой из 223 рассматриваемых метеостанций методом наложенных эпох были получены средние вариации атмосферного давления во время СПС и Форбуш-понижений. Затем, весь исследуемый регион был разделен на восемь широтных зон (по 5° ш.). После этого, для каждой из этих зон метеостанции, имеющие общий характер вариаций атмосферного давления во время исследуемых событий и находящиеся близи друг от друга, были объединены в группы. Далее, вариации атмосферного давления, связанные с СПС или Форбуш-понижениями, осреднялись для каждой такой группы и рассчитывались отклонения атмосферного давления от среднего уровня. На Рис. 2 и 4 представлены результаты такого анализа для СПС и Форбуш-понижений интенс соответственно.

Как видно из приведенных рисунков, весь рассматриваемый регион бывшего СССР можно разделить на 3 области: западную ( $\lambda \approx 20^\circ$  в.д. ÷  $50^\circ$  в.д. – Европейская часть),

центральную ( $\lambda \approx 50^\circ$  в.д.  $\div 140^\circ$  в.д. – Сибирь) и восточную ( $\lambda \approx 140^\circ$  в.д.  $\div 190^\circ$  в.д. – Дальний Восток), что справедливо как для СПС, так и для Форбуш-понижений.

**Табл. 1. Даты СПС и Форбуш-понижений интенсивности потоков ГКЛ, использованных в данной работе в качестве реперных точек для анализа методом наложенных эпох (см. текст)**

№	Солнечные протонные события			Форбуш-понижения		
	Год	Месяц	День	Год	Месяц	День
1	1967	01	28	1969	11	09
2	1969	03	30	1970	11	07
3	1977	11	22	1971	01	27
4	1981	03	07	1978	01	03
5	1982	01	31	1978	02	15
6	1982	02	08	1978	11	12
7	1982	03	07	1979	02	18
8	1982	12	15	1980	03	06
9	1983	01	05	1980	10	31
10	1984	02	16	1980	11	10
11	1984	03	14	1980	12	11
12	1986	02	06	1981	01	30
13	1988	03	25	1981	10	03
14	1988	10	12	1981	11	12
15	1988	11	08	1981	12	29
16	1988	12	14	1982	03	01
17	1988	12	27	1982	12	10
18	1989	03	11	1983	01	10
19	1989	03	23	1986	03	08
20	1989	10	19	1986	11	04
21	1989	10	29	1988	01	05
22	1989	11	15	1988	01	13
23	1989	12	01	1988	02	21

## Результаты

### 1. Солнечные протонные события

Предыдущие исследования (см. например Пудовкин и Веретененко, 1992) показали, если рассматривать поведение приземного давления в определенных широтных поясах, усреднив его по долготе, то можно обнаружить, что на второй день после СПС приземное давление в широтном диапазоне  $\varphi = 55^\circ \div 70^\circ$  с.ш. падает примерно на 1 мбар, а в широтном диапазоне  $\varphi = 40^\circ \div 55^\circ$  с.ш. – увеличивается примерно на 0.5 мбар.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные (223 метеостанции на территории бывшего СССР) позволяют проанализировать поведения приземного давления во время СПС не только в зависимости от широты станции, но и от ее долготы. На Рис. 2 представлены усредненные вариации (см. "Данные") приземного давления, следующие за СПС. Рассмотрим вариации атмосферного давления в западной, центральной и восточной областях рассматриваемого региона (см. "Данные").

## Вариации давления во время СПС

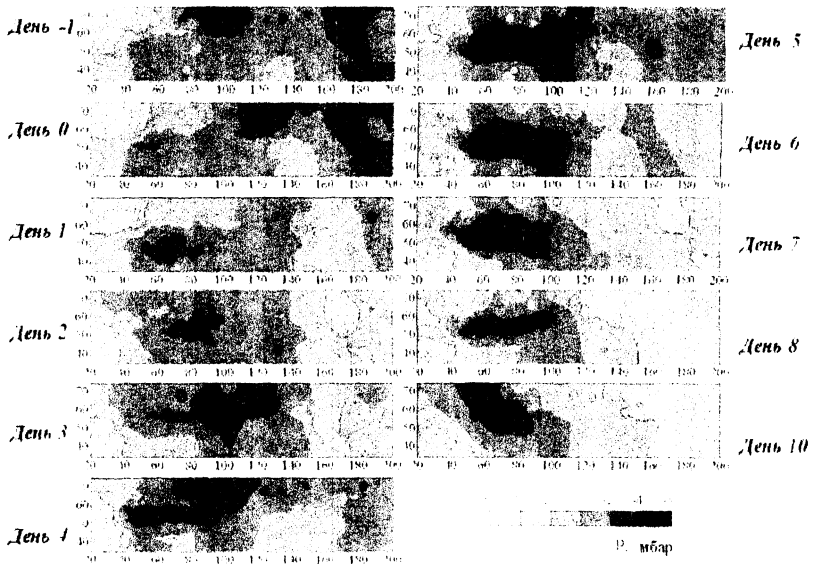


Рис. 2. Вариации приземного давления (относительно среднего уровня) во время солнечных протонных событий (день 0 – день начала СПС). Оси абсцисс – долгота, оси ординат – широта.

**А. Западная область ( $\lambda \approx 20^\circ \text{ в.д.} + 50^\circ \text{ в.д.}$ ).** В первый день после СПС наблюдается увеличение приземного давления в северной части рассматриваемой области ( $\varphi \geq 55^\circ \text{ с.ш.}$ ) –  $\Delta p = 5\text{-}6$  мбар. На следующий день это возмущение распространяется на юг ( $20^\circ \text{ с.ш.} \leq \varphi \leq 55^\circ \text{ с.ш.}$ ) и на пятый день распадается.

**Б. Центральная область ( $\lambda \approx 50^\circ \text{ в.д.} + 140^\circ \text{ в.д.}$ ).** С началом СПС в рассматриваемой области развиваются два центра падения приземного давления ( $\Delta p \approx -5$  мбар):  $50^\circ \text{ в.д.} \leq \lambda \leq 90^\circ \text{ в.д.}$ ,  $30^\circ \text{ с.ш.} \leq \varphi \leq 60^\circ \text{ с.ш.}$  и  $110^\circ \text{ в.д.} \leq \lambda \leq 140^\circ \text{ в.д.}$ ,  $60^\circ \text{ с.ш.} \leq \varphi \leq 75^\circ \text{ с.ш.}$ . На третий день после начала СПС эти две области сливаются, образуя обширный регион пониженного давления. На шестой день восточная часть региона пониженного давления распадается, а западная ( $50^\circ \text{ в.д.} \leq \lambda \leq 100^\circ \text{ в.д.}$ ,  $50^\circ \text{ с.ш.} \leq \varphi \leq 70^\circ \text{ с.ш.}$ ) продолжает существовать вплоть до десятого дня.

**В. Восточная область ( $\lambda \approx 140^\circ \text{ в.д.} + 190^\circ \text{ в.д.}$ ).** В нулевой день приземное давление в этом регионе падает примерно на 5-6 мбар, затем давление начинает расти и на третий день превышает среднюю величину на 4-5 мбар. В течение 4-6 дня после СПС приземное давление в этом регионе медленно уменьшается, а начиная с 7-го – растет.

На Рис. 2 представлены осредненные вариации приземного давления, связанные с солнечными протонными событиями. Однако представляет большой интерес исследование распространения возмущений атмосферного давления от одной станции (или группы станций) к другой и от одного региона к другому. Результаты такого анализа

представлены на Рис. 3. Стрелками указаны направления распространения возмущений атмосферного давления во время СПС. Видно, что для всех станций, расположенных в центральной области и в западной и восточной областях, но севернее  $60^\circ$  с.ш., возмущения атмосферного давления движутся практически вдоль параллелей с запада на восток (с легким уклоном к северу для самых высокоширотных станций Европы и Дальнего Востока). В остальных областях возмущения атмосферного давления распространяются в южном и юго-восточном направлениях.

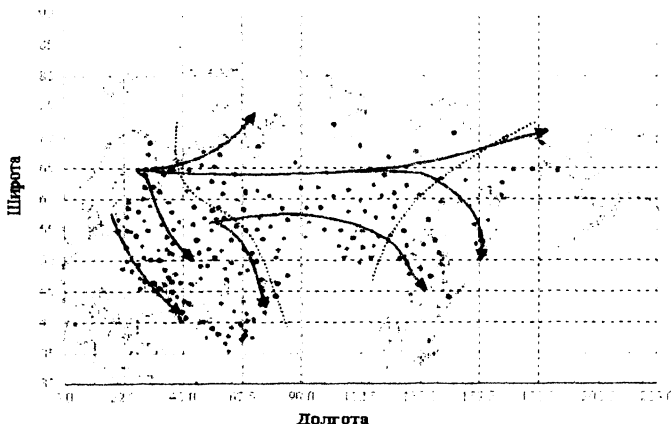


Рис. 3. Направление движения возмущений атмосферного давления во время СПС.

Полученные результаты можно сравнить данными предыдущих исследований. Так Zerefos (1975) изучал изменения атмосферного давления во время СПС на различных геопотенциальных высотах над территорией Северной Америки. Он обнаружил значительное уменьшение высоты изобарических поверхностей в полярной и субполярной областях ( $\varphi \geq 50^\circ$  с.ш.) и увеличение этих высот в более южных регионах. Эти данные были подтверждены исследованиями Schuurmans (1981). Он также обнаружил появление после СПС долготных ячеек повышения и понижения высоты изобарической поверхности  $p = 500$  мбар.

По результатам наших исследований можно сделать вывод о том, что в восточной ( $140^\circ$  в.д.  $\leq \lambda \leq 190^\circ$  в.д.) и западной ( $20^\circ$  в.д.  $\leq \lambda \leq 50^\circ$  в.д.) областях рассматриваемого региона приземное давление возрастает на всех широтах. В центральном же регионе ( $50^\circ$  в.д.  $\leq \lambda \leq 140^\circ$  в.д.) в диапазоне широт  $50^\circ$  с.ш.  $\leq \varphi \leq 65^\circ$  с.ш. имеет место падение приземного давления. Таким образом, в отношении континентальной части бывшего СССР наши результаты совпадают с результатами предыдущих исследований. Для восточной и западной частей рассматриваемого региона наши результаты противоречат данным Zerefos (1975). Это противоречие может быть вызвано тем, что указанные регионы находятся под сильным океаническим и циклоническим влиянием. Кроме того, наши данные в целом не противоречат результатам Schuurmans (1981) – некоторые несоответствия могут быть связаны с тем, что в нашей работе рассматривалось приземное

давление ( $p \approx 700 + 1000$  мбар), а в работе Schuifmans – поведение изобарической поверхности 500 мбар.

## 2. Форбуш-понижения интенсивности галактических космических лучей.

Результаты некоторых предыдущих исследований (Пудовкин и Веретенко, 1992) показали, что на третий день после начала Форбуш-понижения ГКЛ приземное давление в широтном поясе  $\Delta\varphi = 50^\circ + 70^\circ$  с.ш. увеличивается примерно на 2 мбар. В настоящей работе мы провели долготный анализ этих широтных вариаций давления. На Рис. 4 представлены осредненные вариации приземного давления, связанные с Форбуш-понижениями (см. "Данные").



Рис. 4. Вариации приземного давления (относительно среднего уровня) во время Форбуш-понижений интенсивности ГКЛ (день 0 – день начала Форбуш-понижений).

Рассмотрим вариации атмосферного давления в западной, центральной и восточной областях рассматриваемого региона (см. "Данные").

**А. Западная область ( $\lambda \approx 20^\circ$  в.д. +  $50^\circ$  в.д.).** С началом Форбуш-понижения приземное давление в этой области немного уменьшается, но уже через день здесь начинает формироваться область повышенного приземного давления. Центр этой области расположен приблизительно на  $\varphi \approx 60^\circ$  с.ш.,  $\lambda \approx 70^\circ$  в.д. Максимальное увеличение приземного давления наблюдается на 4 день после Форбуш-понижения ( $\Delta p = 7 + 8$  мбар).



На 7 день после Форбуш-понижения в северо-западной части рассматриваемой области ( $\varphi \geq 60^\circ$  с.ш.,  $20^\circ \leq \lambda \leq 50^\circ$  в.д.) образуется ячейка падения атмосферного давления, которая затем смещается к югу ( $\varphi \leq 60^\circ$  с.ш.).

**Б. Центральная область ( $\lambda \approx 50^\circ$  в.д. +  $140^\circ$  в.д.).** В нулевой день приземное давление в этом регионе увеличивается примерно на 2 +3 мбар, а затем падает, достигая минимума на 4 день ( $\Delta p = -6$  мбар).

**В. Восточная область ( $\lambda \approx 140^\circ$  в.д. +  $190^\circ$  в.д.).** Характер вариаций приземного давления в этом регионе в целом совпадает с характером вариаций давления в западной области: в первые дни после Форбуш-понижения давление немного уменьшается, а затем растет, достигая максимального значения ( $\Delta p = 7$  мбар) на 7-8 день.

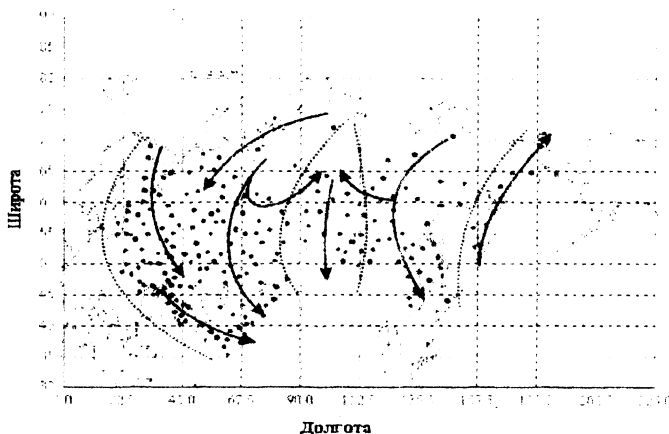


Рис. 5. Направления движения возмущений атмосферного давления во время Форбуш-понижений интенсивности ГКЛ.

Теперь рассмотрим процесс распространения возмущений приземного давления от одной станции к другой. На Рис. 5 стрелками показаны направления, по которым происходит распространение возмущений давления. В отличие от СПС, во время Форбуш-понижений интенсивности ГКЛ возмущения приземного давления распространяются преимущественно в меридиональном направлении с севера на юг (и с юга на север на Дальнем Востоке:  $\lambda \geq 150^\circ$  в.д.)

Мы можем сравнить наши результаты с данными Stolov and Shapiro (1974), которые исследовали поведение изобарической поверхности 700 мбар во время Форбуш-понижений и обнаружили образование ячеек повышения и понижения давления. Наши результаты не обнаруживают серьезного совпадения с данными Stolov and Shapiro, что может быть связано с тем, что в этих работах рассматривались разные уровни давления.

### Выводы

Анализ поведения приземного давления во время солнечных протонных событий и Форбуш-понижений интенсивности ГКЛ выявил значительные изменения давления в

течение, как минимум, пяти дней после рассматриваемых событий. Характер этих вариаций зависит от широты и долготы места наблюдения. Имеют место как области увеличения, так и уменьшения приземного давления.

Характер вариаций приземного давления во время СПС и Форбуш-понижений, в основном, противоположен. По характеру вариаций приземного давления весь рассматриваемый регион бывшего СССР можно разделить на 3 области (Европа, Сибирь, Дальний Восток). В западной области (Европа) СПС являются причиной роста приземного давления, тогда как Форбуш-понижения вызывают сначала падение, а потом (на третий день) увеличение давления. В центральной области (Сибирь) рассматриваемого региона с СПС связано уменьшение приземного давления, а с Форбуш-понижениями – рост, а затем падение (на третий день). В восточной области бывшего СССР (Дальний Восток) как СПС, так и Форбуш-понижения вызывают падение приземного давления в первые дни после начала событий и его увеличение в последующие.

Кардинальным образом отличаются направления распространения возмущений приземного давления во время СПС и Форбуш-понижений. После СПС возмущения давления распространяются, преимущественно, вдоль параллелей с запада на восток с небольшим отклонением к югу на западе и востоке. Возмущения же приземного давления, связанные с Форбуш-понижениями, распространяются в меридиональном направлении с севера на юг (и с юга на север на Дальнем Востоке). Это изменение в направлении распространения возмущений давления может быть интерпретировано как преобладание во время СПС зонального, а во время Форбуш-понижений – меридионального переноса масс воздуха (см. Pudovkin and Babushkina, 1992).

Таким образом, представленные в данной работе результаты служат косвенным подтверждением того, что СПС вызывают усиление зональной циркуляции, а Форбуш-понижения – ее ослабление и усиление меридиональных ветров.

Работа выполнена при поддержке программы “Интеграция” Министерства Образования Российской Федерации.

### Литература

- Pudovkin M. I., Babushkina S. V. (1992)** Influence of solar flares and disturbances of the interplanetary medium on the atmospheric circulation // *J. Atmos. Terr. Phys.*, vol. 54, N 7/8, p.841.
- Пудовкин М. И., Верегенинко С. В. (1992)** Вариации меридионального профиля атмосферного давления в ходе геомагнитного возмущения. // *Геомагнетизм и Аэрономия*, т. 32, № 1, стр. 118.
- Razuvaev V. N., Avasova E. G., Martuganov R. A. (1993)** Daily temperature and precipitation data for 223 USSR stations // *ORNL/CDIAC-56, NDP-040*.
- Schuermans K. I. E. (1981)** Solar flares effect on atmosphere circulation. // *Solar activity, weather, and climate*. (eds. McCormac, Seliga), p. 129.
- Stolov H. L., Shapiro R. (1974)** Investigation of the response of the general circulation at 700 mbar to solar geomagnetic disturbance. // *JGR*, vol. 79, N 15, pp. 2161.
- Vose R. S., Schroyer R. L., Steurer P. M., Peterson T. C., Helm R., Karl T. R., Eischeid J. K. (1992)** The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. // *ORNL/CDIAC-53, NDP-041*.
- Zerefos C. S. (1975)** Circulation changes in the free atmosphere during proton events associated with type IV radio bursts. // *Planet. Space Sci.*, vol 23, pp. 1035.