

Структура поля давления при прохождении Землей секторов межпланетного магнитного поля

А.А. Караханян, С.И. Молодых

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
E-mail: asha@iszf.irk.ru*

Секторная структура межпланетного магнитного поля (ММП), которая является одним из основных свойств ММП, оказывает влияние на состояние тропосферы в периоды низкой солнечной активности. На основе данных реанализа NCEP/NCAR проведен статистический анализ пространственной структуры отклика высоты изобарической поверхности 500 гПа на прохождение Землей секторов ММП в периоды низкой солнечной и геомагнитной активности для пяти солнечных циклов с 20 по 24. Показано, что при прохождении Землей магнитных секторов наблюдаются статистически значимые изменения высоты изобарической поверхности. Наблюдаемый отклик высоты изобарической поверхности неоднороден в пространстве на средних и высоких широтах. Пространственная структура отклика высоты поверхности 500 гПа на прохождение секторов ММП меняется в течение года. Величина отклика высоты изобарической поверхности на прохождение Землей магнитных секторов максимальна для Северного полушария в марте и апреле, для Южного полушария наибольший отклик наблюдается в сентябре и октябре. Сезонные изменения пространственной структуры отклика высоты изобарической поверхности на знак сектора ММП определяются изменениями уровня геомагнитной активности в этих секторах. Барический отклик на знак магнитных секторов представляет небольшую часть от сезонных вариаций поля давления.

Ключевые слова: атмосферное давление, высота изобарической поверхности, секторная структура ММП, геомагнитная активность

Введение

О том, что природные процессы на Земле контролируются солнечной активностью, утверждалось еще в начале прошлого столетия. По мере развития представлений о физике Солнца и околоземного космического пространства увеличивается интерес к проблеме солнечно-земных связей. Активное обсуждение влияния секторной структуры межпланетного магнитного поля (ММП) на характеристики атмосферы опубликовано во многих работах 70-х годов прошлого века. Результаты, полученные по данным 1964 года (Мансуров и др., 1972) подтверждают наличие связи между секторной структурой ММП и атмосферным давлением в сопряженных точках. Подобные исследования проводились и зарубежными учеными. В работе (Wilcox et al., 1979) на основе ранее полученных выводов представлены результаты об отклике циркуляционных процессов в тропосфере во время пересечения Землей секторов ММП. В настоящее время эти результаты подтверждены с использованием современных данных (Prikrýl et al., 2009).

Секторная структура ММП, то есть существование довольно длительных периодов времени (несколько дней) с преимущественным направлением радиальной компоненты ММП от Солнца (положительный сектор) или к Солнцу (отрицательный сектор), является одним из основных свойств межпланетного магнитного поля. Секторная структура ММП наиболее ярко проявляется в периоды низкой солнечной активности.

Физическая схема влияния секторной структуры ММП на характеристики нижней атмосферы возможна в системе магнитосфера – ионосфера – тропосфера. В теории взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли показано, что знак ММП влияет

на магнитосферную конвекцию и, соответственно, на ионосферный электрический потенциал в утреннем и вечернем секторах (Беленькая, 2009). Согласно механизму, изложенному в работе (Молодых и др., 2007), разность потенциалов ионосфера – Земля оказывает влияние на поток уходящей длинноволновой радиации, изменяя радиационный баланс, что в свою очередь будет приводить к изменению температуры воздуха и атмосферного давления.

Целью данной работы является статистический анализ пространственной структуры отклика высоты изобарической поверхности на знак сектора ММП при прохождении его Землей в периоды низкой солнечной активности.

Исходные данные

Описание и изучение климатической системы опирается на многолетние ряды наблюдений. Неравномерное распределение сети метеорологических станций, изменения окружающих условий и методики наблюдений, пропуски в наблюдениях, разная длина временных рядов – факторы, которые способствовали развитию и усовершенствованию численных методов по созданию баз данных для более полного и качественного анализа климатической информации, так называемые проекты реанализов. Для проектов реанализов используются данные метеорологических измерений, радиозондовые наблюдения, данные самолетного и спутникового зондирования. В настоящее время существует порядка десяти реанализов с разным пространственным и временным разрешением. В данной работе использованы результаты проекта реанализа NCEP/NCAR (www.cdc.noaa.gov) по атмосферному давлению, которые в целом хорошо согласуются с фактическими данными наблюдений (Рубинштейн, Стерин, 2002).

Определение тропосферного отклика на знак сектора ММП проводилось по следующей методике. На первом этапе нами выбраны периоды низкой активности Солнца. Это обусловлено тем, что секторная структура ММП является не единственным солнечным фактором, который может оказывать влияние на состояние тропосферы. Выборка дней с положительным и отрицательным направлением ММП произведена в годы низкой солнечной и геомагнитной активности (*табл. 1*) для пяти солнечных циклов с 20 по 24 (www.wdcb.ru). В результате получено два массива: первый – с датами, когда Земля находилась в положительном секторе, второй – когда в отрицательном секторе ММП. Далее, в связи с тем, что амплитуда сезонных колебаний высоты изобарической поверхности намного превышает амплитуды всех остальных вариаций, каждый из полученных массивов с датами был разделен на 6 групп по два месяца каждый. Затем на основе среднесуточных данных реанализа NCEP/NCAR, построены наборы карт высоты изобарической поверхности 500 гПа для каждой из 12 групп с датами. Во время заключительного этапа были рассчитаны средние карты разностей высоты уровня в положительном и отрицательном секторах ММП в каждой из 6 групп, а также проведена оценка

их статистической значимости (для всех возможных комбинаций дней с положительной и отрицательной полярностью ММП в данной группе месяцев).

Таблица 1. Количественные характеристики активности Солнца во второй половине 20-го века

<i>Номер цикла</i>	<i>Годы</i>	<i>Интенсивность (W)</i>	<i>Aa-индекс</i>
20	1964; 1965; 1966	10,2; 15,1; 47,0	17,1; 14,0; 17,3
21	1976; 1977	12,6; 27,5	22,2; 20,2
22	1986; 1987	13,4; 29,4	20,9; 19,0
23	1995; 1996; 1997	17,5; 8,6; 21,5	22,0; 18,6; 16,1
24	2006; 2007; 2008; 2009	15,2; 7,5; 2,9; 3,1	16,2; 15,0; 14,2; 8,7

Обсуждение результатов

Анализ пространственной структуры отклика барического поля на прохождение Землей секторов ММП показал, что в среднем за год наблюдаются статистически значимые разности высоты изобарической поверхности в положительном и отрицательном секторах ММП, которые неоднородны в пространстве на средних и высоких широтах. При этом в одних регионах высота барического уровня больше в положительных секторах, а в других – в отрицательных секторах ММП. Распределение областей максимального отклика высоты изобарической поверхности на прохождение Землей магнитных секторов в Северном и Южном полушариях неодинаково и совпадает с известным расположением областей высокой бароклинности в тропосфере обоих полушарий (Дроздов и др., 1989). Существование бароклинной неустойчивости в зональном переносе в атмосфере создает благоприятные условия для возникновения атмосферных вихрей: циклонов и антициклонов.

Учитывая наличие значительной сезонной вариации высоты изобарической поверхности, было проведено исследование сезонной изменчивости пространственной структуры отклика высоты барического уровня 500 гПа на прохождение секторов ММП, полученные результаты представлены на *рис. 1*. В Северном полушарии в зимний период наибольший отклик высоты изобарической поверхности на прохождение секторов ММП отмечается у восточных берегов Северной Америки и Азии, где чаще всего возникают перемещающиеся циклоны, и на материках, где в тылу циклонов развиваются подвижные антициклоны. В Южном полушарии из-за более однородной подстилающей поверхности пространственная структура отклика высоты барического уровня 500 гПа на прохождение Землей магнитных секторов является менее сложной. Изменения высоты изобарической поверхности при прохождении Землей секторов ММП происходят вокруг Антарктиды в полосах цикло- и антициклогенеза прилегающих к материку (*рис. 1*). Величина отклика высоты изобарической поверхности 500 гПа на прохождение Землей магнитных секторов максимальна в месяцы,

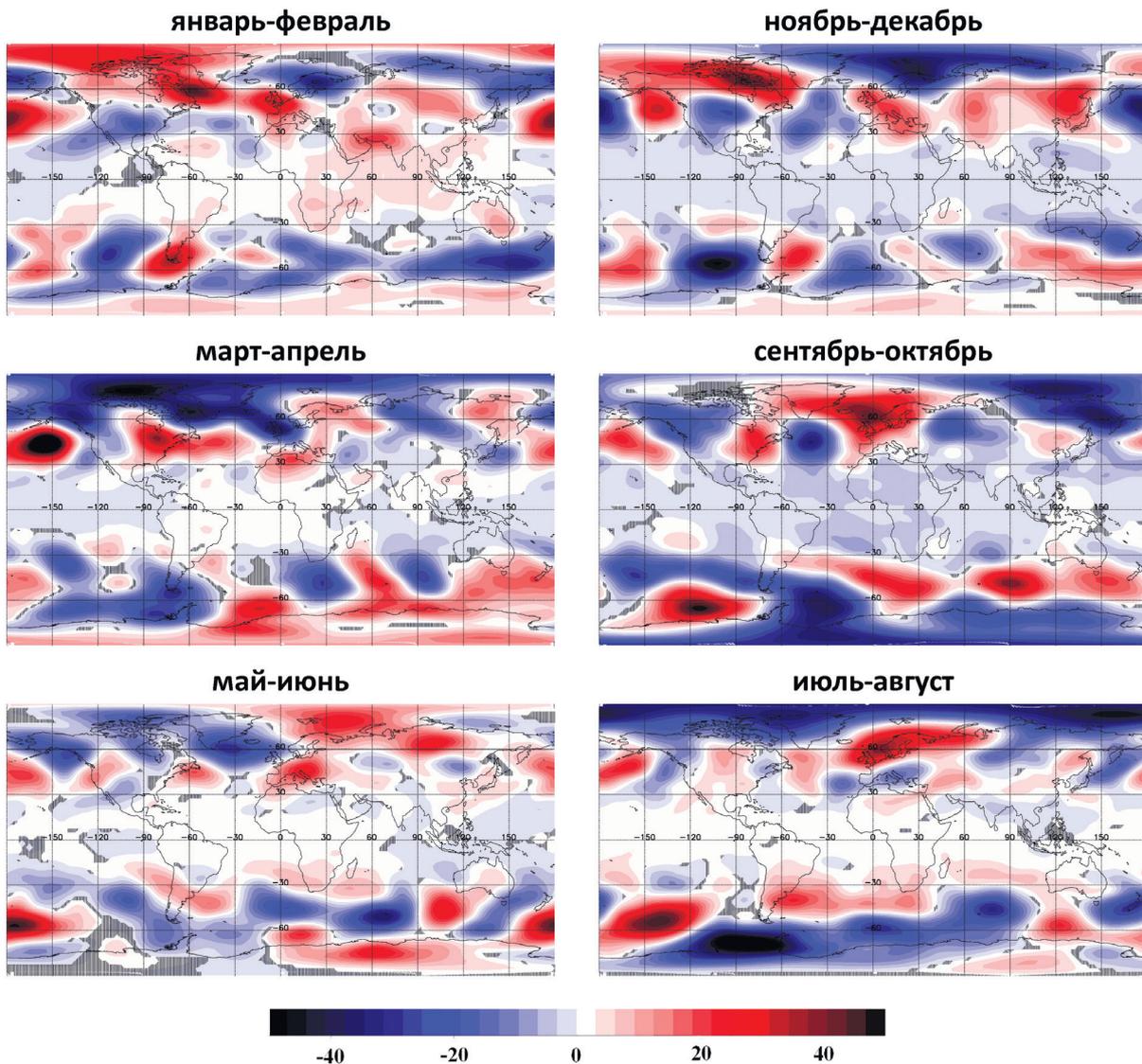


Рис. 1. Сезонные изменения пространственной структуры отклика высоты изобарической поверхности 500 гПа на прохождение секторов ММП (серые штриховые области – уровень значимости ниже 99 %)

следующие за холодным периодом. Для Северного полушария наибольший отклик наблюдается в марте и апреле, для Южного полушария – в сентябре и октябре.

Важным свойством сезонных вариаций пространственного распределения отклика высоты барического уровня на знак сектора ММП является изменение знака отклика на противоположный при переходе от осенне-зимних к весенне-летним месяцам. Полученная особенность наиболее выражена в областях, где величина барического отклика максимальна. Так в области 60° с. ш. вблизи восточного побережья Америки с ноября по февраль высота уровня 500 гПа во время нахождения Земли в положительном секторе была выше, чем при нахождении в отрицательном секторе ММП, а с марта по июнь – ниже. В области 60° ю. ш. вблизи западного побережья Америки с июля по октябрь высота уровня 500 гПа

во время нахождения Земли в положительном секторе была выше, чем при нахождении в отрицательном секторе ММП, а с ноября по февраль – ниже.

Несмотря на то, что выборка дней с положительным и отрицательным направлением ММП произведена в годы низкой активности Солнца, и в эти периоды наблюдается геомагнитная возмущенность. Следовательно, можно предположить, что величина сезонного отклика высоты изобарической поверхности (в данном регионе) в разных секторах ММП связана с изменением уровня геомагнитной возмущенности в этих секторах. Анализ сезонного хода геомагнитной активности при разных направлениях ММП, проведенный для тех же дней, что и для высоты барического уровня 500 гПа, показал наличие годовой вариации разности суточных значений *aa*-индекса между периодами положительного и отрицательного направления ММП с максимумом в период осеннего равноденствия (рис. 2). Полученная особенность вариаций геомагнитного поля согласуется с результатами, представленными в работе (Вальчук, 2008). Данная вариация разности значений геомагнитной активности при разных направлениях ММП может приводить к обнаруженным сезонным изменениям в пространственной структуре отклика высоты изобарической поверхности при прохождении Землей секторов ММП.

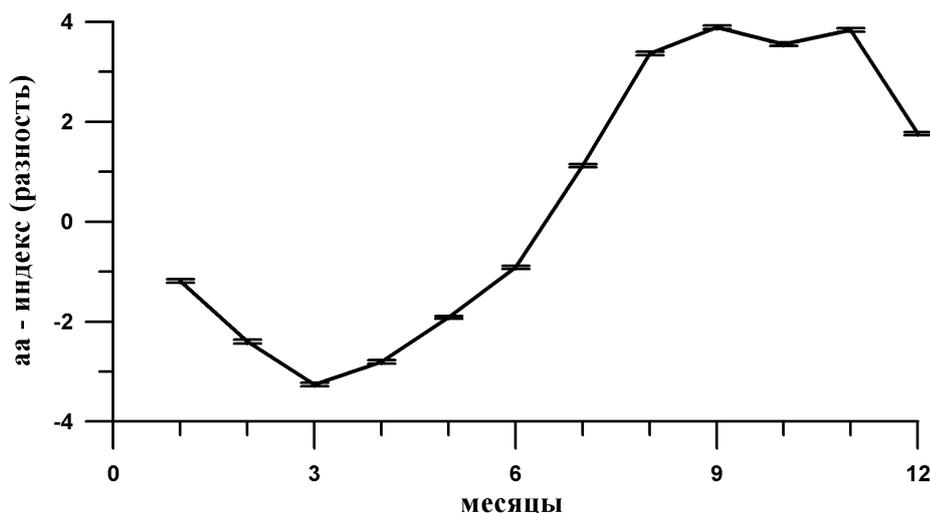


Рис. 2. Сезонный ход разности суточных значений *aa*-индекса между периодами положительного и отрицательного направления ММП

Амплитуда сезонной изменчивости высоты барического уровня 500 гПа равна сотням метров. Полученная в результате статистического анализа, величина отклика высоты изобарической поверхности в разных секторах ММП составила десятки метров (рис. 1). Следовательно, барический отклик на магнитные сектора разного знака не превышает десятка процентов от сезонной изменчивости атмосферного давления. Таким образом, внешнее воздействие, связанное с изменением знака сектора ММП, представляет относительно небольшую часть от естественных вариаций атмосферного давления. Тем не менее, полученные результаты подтверждают реальность солнечного сигнала в атмосферных процессах.

Заключение

Проведенное исследование пространственной структуры отклика высоты изобарической поверхности 500 гПа на прохождение Землей секторов ММП в периоды низкой солнечной и геомагнитной активности позволило сделать следующие выводы:

1. Изменения высоты изобарической поверхности при прохождении магнитных секторов межпланетного поля неоднородны в пространстве на средних и высоких широтах.

2. Пространственная структура отклика высоты изобарической поверхности на прохождение секторов ММП меняется в течение года. Для Северного полушария отклик максимален в марте и апреле, для Южного полушария – в сентябре и октябре.

3. Сезонная изменчивость пространственной структуры отклика высоты изобарической поверхности в разных секторах ММП определяется, в основном, изменением уровня геомагнитной активности в этих секторах.

4. Солнечное воздействие, связанное с изменением знака сектора ММП, представляет небольшую часть от сезонных вариаций атмосферного давления.

Авторы выражают благодарность за полезные замечания рецензенту. Данная работа выполнена в рамках гранта № НШ-2942.2014.5 Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ.

Литература

1. *Беленькая Е.С.* Магнитосферы планет, обладающих собственным магнитным полем // УФН. 2009. Т. 179. № 8. С. 809–835.
2. *Вальчук Т.Е.* Полугодовые вариации геомагнитной активности по данным aa-индекса // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 1. С. 170–171.
3. *Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П.* Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
4. *Мансуров С.М., Мансурова Л.Г., Мансуров Г.С.* Связь между секторной структурой межпланетного магнитного поля и атмосферным давлением в сопряженных точках и ее статистический анализ / Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды: Сб. статей, Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 259–270.
5. *Молодых С.И., Коваленко В.А., Жеребцов Г.А.* Механизм влияния атмосферного электричества на характеристики тропосферы Земли // Труды VI Российской конференции по атмосферному электричеству. 2007. С. 26–27.
6. *Рубинштейн К.Г., Стерин А.М.* Сравнение результатов реанализа с аэрологическими данными // Изв. РАН. ФАО. 2002. Т. 38. № 3. С. 301–315.
7. *Prikryl P., Rusin V., and Rybansky M.* The influence of solar wind on extratropical cyclones – Part 1: Wilcox effect revisited // *Annales Geophysicae*. 2009. Vol. 27. No. 1. P. 1–30.
8. *Wilcox J.M., Scherrer P.H., and Svalgaard L.* Intensity of tropospheric circulation associated with solar magnetic sector boundary transits // *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. 1979. Vol. 41. No. 6. P. 657–659.

Pressure field structure as the Earth passes the interplanetary magnetic field sectors

A.A. Karakhanyan, S.I. Molodykh

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
E-mail: asha@iszf.irk.ru

The interplanetary magnetic field (IMF) sector structure which is one of IMF main properties has an impact on the troposphere conditions during periods of low solar activity. Based on the NCEP/NCAR reanalysis data, we carried out the statistical analysis of the spatial structure of 500 hPa isobaric height response to the Earth passing of IMF sectors during periods of low solar and geomagnetic activities for solar cycles 20–24. Statistically significant isobaric height changes are shown to be observed as the Earth passes the magnetic sectors. These changes of isobaric height are spatially inhomogeneous at middle and high latitudes. The spatial structure of isobaric height response to the Earth passing of IMF sectors varies through the year. The intensity of this response is maximal for the Northern Hemisphere in March and April, and for the Southern Hemisphere this is observed in September and October. Seasonal variations in spatial structure of the isobaric height response to the sign of IMF sector are determined by geomagnetic activity level changes in these sectors. Baric response to the sign of magnetic sectors appears to be a small part of the pressure field seasonal variations.

Keywords: atmospheric pressure, isobaric height, IMF sector structure, geomagnetic activity

References

1. Belen'kaya E.S., Magnitosfery planet, obladayushchikh sobstvennym magnitnym polem (Magnetospheres of planets with an intrinsic magnetic field), *UFN*, 2009, Vol. 179, No. 8, pp. 809–835.
2. Val'chuk T.E., Polugodovye variatsii geomagnitnoi aktivnosti po dannym aa-indeksa (Semiannual variations of geomagnetic activity from aa-index data), *Solnechno-zemnaya fizika*, 2008, Issue 12, Vol. 1, pp. 170–171.
3. Drozdov O.A., Vasil'ev V.A., Kobysheva N.V., Raevskii A.N., Smekalova L.K., Shkol'nyi E.P. *Klimatologiya* (Climatology), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, 568 p.
4. Mansurov S.M., Mansurova L.G., Mansurov G.S., Svyaz' mezhdu sektornoj strukturoj mezhplanetnogo magnitnogo polya i atmosferynym davleniem v sopryazhennykh tochках i ee statisticheskii analiz (The relation between the sector structure of the interplanetary magnetic field and atmospheric pressure at the conjugate points and its statistical analysis), In: *Solnechno-atmosfernye svyazi v teorii klimata i prognozakh pogody* (Solar-atmospheric relations in the theory of the climate and weather forecasts), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972, pp. 259–270 (483 p.)
5. Molodykh S.I., Kovalenko V.A., Zherebtsov G.A., Mekhanizm vliyaniya atmosferynogo elektrichestva na kharakteristiki troposfery Zemli (The mechanism of the effect of atmospheric electricity on characteristics of the Earth's troposphere), *Shestaya Rossiiskoi konferentsii po atmosferynomu elektrichestvu* (6th Russian Conference on Atmospheric Electricity), Proc. Conf., N.Novgorod, 1–7 October 2007, pp. 26–27.
6. Rubinshtein K.G., Sterin A.M., Sravnenie rezul'tatov reanaliza s aerologicheskimi dannymi (Comparison of the reanalysis results with the upper-air data), *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2002, Vol. 38, No. 3, pp. 301–315.
7. Prikryl P., Rusin V., and Rybansky M., The influence of solar wind on extratropical cyclones – Part 1: Wilcox effect revisited, *Annales Geophysicae*, 2009, Vol. 27, No. 1, pp. 1–30.
8. Wilcox J.M., Scherrer P.H., and Svalgaard L., Intensity of tropospheric circulation associated with solar magnetic sector boundary transits, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 1979, Vol. 41, No. 6, pp. 657–659.