

МЕТЕОРОЛОГИЯ

М.В. Воротков, В.Л. Горшков

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

M.V. Vorotkov, V.L. Gorshkov

REGIONAL MANIFESTATIONS OF SOLAR ACTIVITY INFLUENCING ATMOSPHERIC PROCESSES

Исследовано географическое распределение обусловленности атмосферных параметров солнечной активностью. По данным NCEP/NCAR reanalysis показано, что существует заметная корреляция долгопериодической компоненты солнечной активности (11-летнего солнечного цикла) и ряда поверхностных атмосферных параметров (давление, температура). Эта корреляция имеет выраженную региональность, в частности, максимальна в тропической зоне и на ветви спада солнечного цикла.

Обнаружено, что одной из мезомасштабных атмосферных структур, отражающих связь метеорологических параметров с солнечной активностью в тропической зоне, являются ураганы. Выявлена статистическая связь моментов образования и разрушения ураганов с индексом геомагнитной активности A_p . Замечена существенная разница в проявлении геомагнитной возмущенности на циклогенезе разных регионов. Магнитные бури в среднем препятствуют возникновению тропических циклонов Северной Атлантики, в то время как на тихоокеанские (со стороны Северной Америки) они оказывают слабое и скорее противоположное воздействие.

Ключевые слова: проявление, солнечная активность, атмосферные процессы.

Geographic distribution of the influence of solar activity on atmospheric parameters is investigated. Based on the NCEP/NCAR reanalysis data, the work shows that there is an appreciable correlation of the long-period component of solar activity (the 11-year solar cycle) and a number of certain surface atmospheric parameters (pressure, temperature). This correlation has a pronounced regional character; in particular, it is maximal in the tropical zone and on the recession curve of the solar cycle.

Hurricanes have been revealed to be one of the mesoscale atmospheric structures reflecting the link of meteorological parameters with the solar activity in the tropical band. A statistical connection of the moments of formation and breakup of a hurricane with the geomagnetic activity index A_p is shown. A significant variance in the impact of the geomagnetic disturbance on cyclogenesis in various regions is registered. On average, magnetic storms hinder formation of tropical cyclones in the North Atlantic, while they produce a weak and more likely opposite impact on the Pacific ones (in the North America region).

Key words: manifestations, solar activity, atmospheric processes.

Введение

При поиске механизмов, отвечающих за природу солнечно-земных связей, существенным может оказаться ответ на вопрос, проявляется ли воздействие Солнца на атмосферные параметры повсеместно или имеет региональный характер. В первом случае достаточно найти механизмы, определяющие влияние Солнца на основные климатообразующие факторы. Во втором случае задача сводится к обнаружению конкретных региональных механизмов или отдельных чувствительных к солнечным воздействиям явлений, а также к поиску путей перераспределения этих воздействий по всей планете.

Цель данного исследования – попытка совместить оба подхода. Изучение глобального (географического) распределения проявлений солнечной активности в атмосферных данных должно оконтурить те регионы, где можно искать ответственные за это мезомасштабные атмосферные явления или структуры.

При исследовании *глобальных* воздействий солнечной активности (СА) на атмосферные параметры изучаются, как правило, модуляции климатических процессов, в основном облачности [Kristjánsson, 2002], космическими лучами и возможные механизмы этого воздействия [Schröder, 2000; Кудрявцев, 2005; Maug, 2006].

Исследования по *региональным* проявлениям СА более многочисленны и в основном относятся к северо-западной части Атлантического океана [Kodera, 2003; Veretenenko, 2005]. Это свидетельствует, с одной стороны, о практической значимости этого проявления, особенно актуализировавшегося в возникшем диалоге между сторонниками чисто антропогенного фактора в наблюдающихся климатических изменениях и сторонниками естественных, но медленных и не вполне исследованных пока воздействий СА на динамику климатических изменений. С другой стороны, это связано с отсутствием продолжительных и подробных глобальных баз метеорологических данных в противовес накопленным в отдельных регионах.

Глобальные атмосферные данные неизбежно сильно моделированы в пространственном отношении, особенно в зонах Мирового океана. При этом их надежность резко падает при продвижении в прошлое. Если же говорить о действительно климатических вариациях и их связи с СА, то объем физических данных о проявлениях солнечной активности также не превышает столетия за исключением ряда чисел Вольфа.

В данном исследовании обнаружена заметная корреляция между долгопериодической компонентой СА (солнечный 11-летний цикл – СЦ) и метеорологическими параметрами. Оказалось, что эта корреляция имеет выраженное региональное распределение. Поиск метеорологического фактора, ответственного за региональный характер взаимосвязи, привел к обнаружению влияния геомагнитной возмущенности на процесс тропического циклогенеза, исследованный также в работе [Иванов, 2007] на интервале 23 СЦ. Это влияние может объяснить некоторые из наблюдаемых закономерностей в пространственном распределении корреляций.

1. Данные

Исследовались поверхностные давление (SLP) и температура (SST), а также их дисперсионные характеристики, по данным NCEP/NCAR reanalysis (<ftp://ftp.cdc.noaa.gov>) на сетке 2,5 на 2,5 градуса с интервалом в 6 часов с 1948 по 2004 г. Использовались также базы данных ураганов (www.csc.noaa.gov/hurricane_tracks и <http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml>). Данные о солнечной активности (числа Вольфа SSN и индекс геомагнитной возмущенности Ap) брались из базы (<ftp://ngdc.noaa.gov>).

2. Результаты

2.1. Солнечный цикл и глобальное распределение атмосферных параметров

Координатная сетка данных порождает $144 \times 72 = 10\,368$ временных рядов для каждого атмосферного параметра (SLP и SST), каждый из которых сглаживался на интервале 0,1 года (145 шестичасовых значений ряда) с вычислением соответствующей этому интервалу дисперсией. Для каждого из них, включая ряды дисперсий (dSLP, dSST), вычислялись кросс-корреляции $R(\tau)$ со сглаженным рядом чисел Вольфа (SSN) на интервале одного солнечного цикла (СЦ). Шаг смещения составлял 0,1 года. Таким образом, одновременно получались оценки фазового сдвига τ рядов атмосферных параметров относительно ряда SSN и величины экстремумов $R(\tau)$. На глобальной карте отображались точки со значимой $[R(\tau) > 0,4]$ связью атмосферных параметров с СЦ.

Исследуемые ряды дали заметно структурированную карту распределения $R(\tau)$. Области корреляций поверхностных атмосферного давления и температуры существенно пересекаются особенно в зоне действия североатлантического колебания (NAO). Наиболее ярко выражена зависимость SLP, и особенно dSLP, от СЦ (рис. 1). На рис. 2 приведено распределение фаз τ для тех же атмосферных параметров. Видно, что максимум $R(\tau)$ для SLP и dSLP приходится на разные фазы солнечного цикла. При этом заметна явная кластеризация (более отчетливая для dSLP) – максимум $R(\tau)$ чаще приходится на нисходящую ветвь СА.

Среди предположений, объясняющих этот факт, рассмотрим возможность других, асимметричных солнечному циклу проявлений солнечной активности на исследуемые метеорологические данные. Одним из таких факторов является геомагнитная возмущенность. На рис. 3 приведены кривая SSN и сглаженная и масштабированная кривая индекса геомагнитной активности Ap. Видно, что минимумы этих кривых почти совпадают, в то время как максимумы Ap зачастую приходится на нисходящую ветвь СЦ. Этот факт позволяет предположить, что особенности полученных нами пространственных распределений корреляции могут в какой-то степени, возможно опосредованной, объясняться воздействием магнитных возмущений на атмосферные процессы.

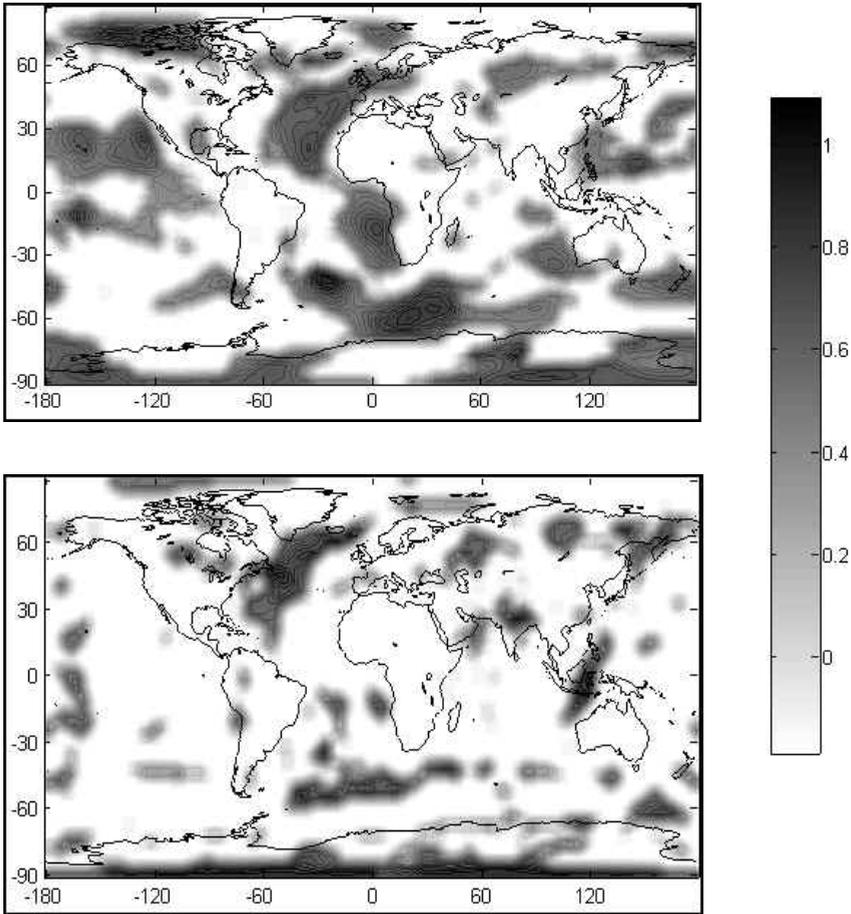


Рис. 1. Вверху – зоны максимальных значений $R(\tau)$ SSN и SLP. Внизу – аналогично для SSN и dSLP. Значения $R(\tau) < 0,4$ не приведены, изолинии проходят через 0,1.

Заметим, что области хорошо выраженной корреляции приурочены, в основном, к океанам в непосредственной близости от континентов. Чем эти области отличаются от остальных или, иначе говоря, какие связанные с этими областями мезомасштабные атмосферные процессы могут быть ответственны за корреляцию с солнечной активностью? Одна из самых примечательных зон аномалий корреляционных связей соответствует зоне прохождения североатлантических ураганов (тропических циклонов – ТЦ). Это позволяет предположить, что именно воздействие солнечной активности на условия формирования ТЦ является важной компонентой в исследуемой нами солнечно-земной связи. Подтверждает эту мысль визуальное сравнение карты распределения ураганов (рис. 4) на поверхности Земли с полученными нами картами распределений корреляции.

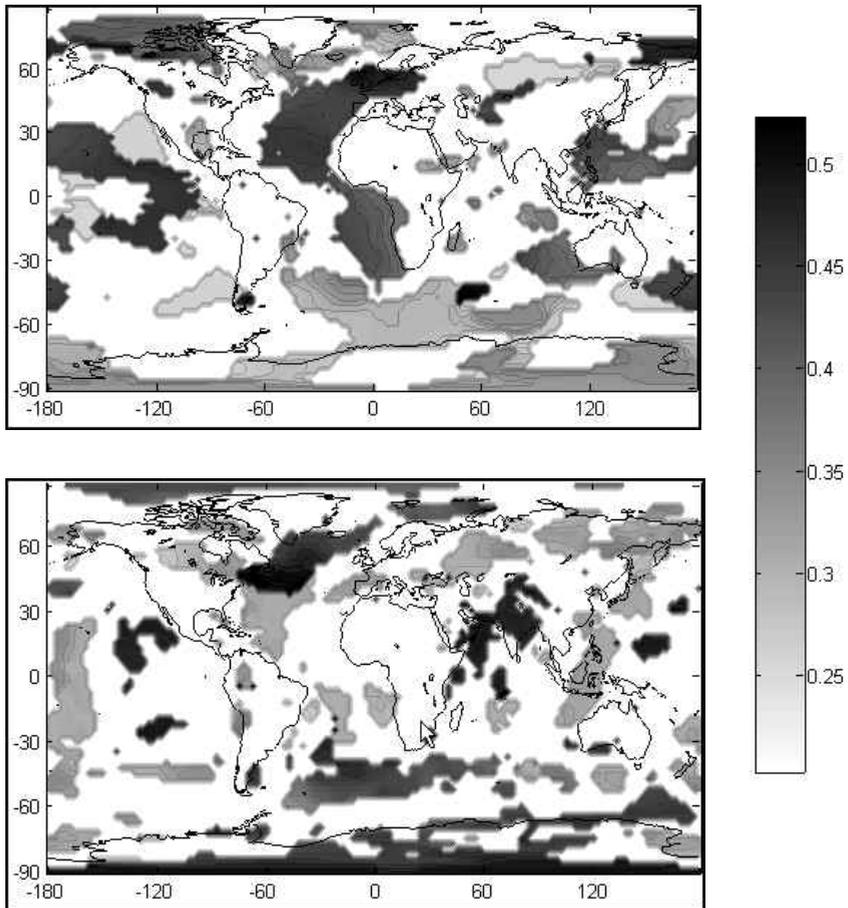


Рис. 2. Для данных рис. 1 приведены фазы в процентах от продолжительности CII, вверху для значений $R(\tau)$ между SSN и SLP, внизу – аналогично для SSN и dSLP.

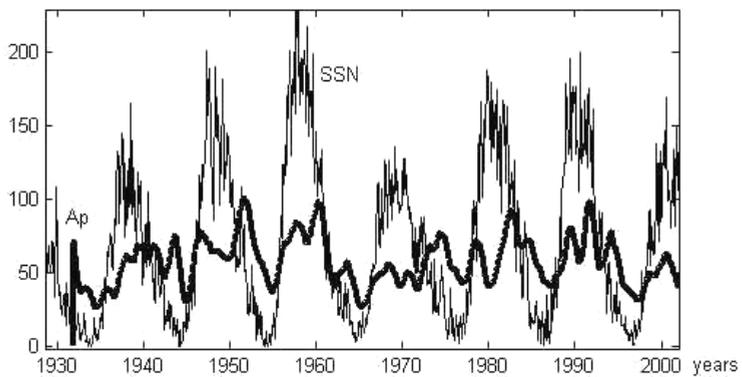


Рис. 3. Сопоставление ряда SSN и сглаженного на интервале 2 года ряда Ap.

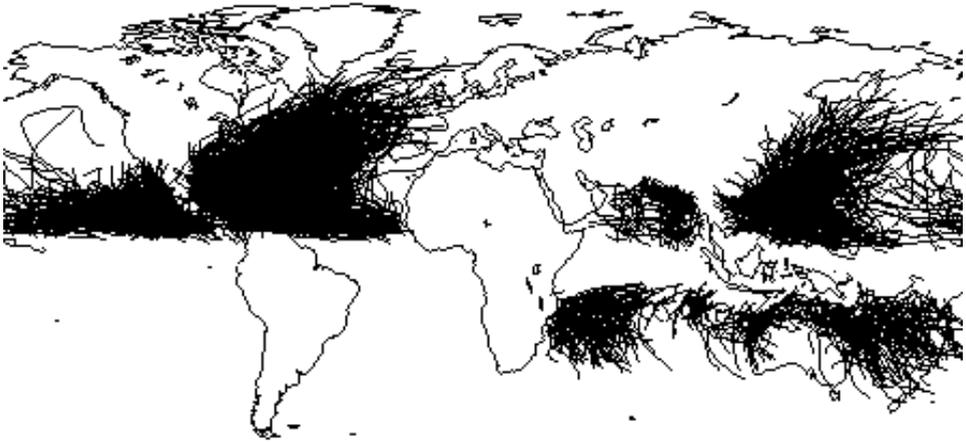


Рис. 4. Треки ТЦ по данным базы www.csc.noaa.gov/hurricane_tracks.

2.2. Геомагнитная возмущенность и тропический циклогенез

Тропический циклогенез один из самых важных в прикладном отношении и изучаемых аспектов в динамике метеорологических мезомасштабных процессов. Причины генерации ТЦ еще не до конца поняты, так же как и их роль в глобальной атмосферно-океанической динамике и, соответственно, в климатических процессах. В работах [Sharkov, 2000; Шарков, 2005] дан обзор этой проблематики. При этом отмечено, что ТЦ, вероятно, являются «механизмом эффективного сброса избыточного тепла в атмосфере в условиях, когда действие обычных механизмов становится недостаточным».

В работе [Ванина-Дарт, 2007] исследовалось взаимодействие нижней экваториальной ионосферы с ТЦ по данным ракетного зондирования. Показано, что в период функционирования активной фазы ТЦ в области D ионосферы (50–80 км) происходит резкое (в 2–4 раза) понижение электронной концентрации. Таким образом, высказанное выше предположение о возможном влиянии геомагнитной возмущенности на тропический циклогенез имеет экспериментальную поддержку в обнаруженной взаимосвязи ТЦ с ионосферными возмущениями.

Для проверки высказанного предположения проведено исследование характера развития ТЦ в моменты магнитных бурь. Для изучения были выбраны два региона тропического циклогенеза: североатлантический (NA) и тихоокеанский (NP) (восточное и западное побережье Северной Америки).

Использованный метод подобен методу наложения эпох. На сглаженной кривой индекса A_p выделяем точки локальных максимумов и отбираем среди них значимые ($A_p > 30$) моменты магнитных бурь. В соответствующие им моменты времени вырезаем на временной оси интервал, примерно соответствующий удвоенной продолжительности ТЦ. Суммируем интенсивность ураганов для каждой точки на этом интервале. Переходим к следующей магнитной буре,

повторяем эту операцию, накладывая результат на предыдущий. В итоге получаем кумулятивную кривую, которая показывает, как распределена во времени интенсивность «среднего» ТЦ относительно магнитной бури (рис. 5). По ряду с 1980 г. оказалось, что североатлантические ТЦ (NA) «избегают» магнитных бурь. Видно, что кривая «среднего» циклона имеет отчетливый минимум примерно на 4-й день после магнитной бури. Наличие магнитной бури препятствует возникновению ТЦ, что соответствует результату работы [Иванов, 2006], касающейся анализа ТЦ «Катрин», и способствует его завершению (подавляет ураган). При этом процесс подавления более весом. Кривая для тихоокеанских ТЦ не имеет этой особенности.

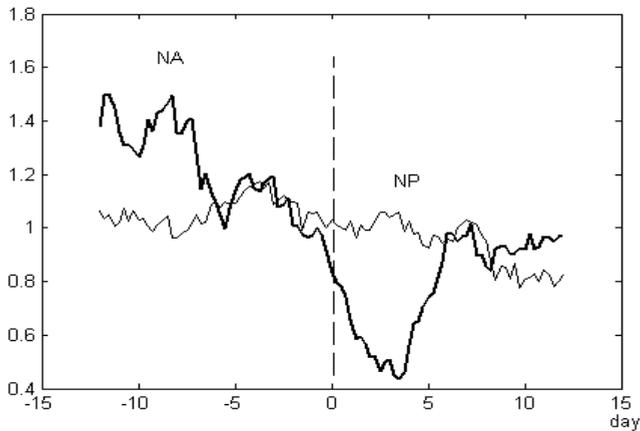


Рис. 5. Нормированная интенсивность «среднего» циклона (NA – североатлантический, NP – тихоокеанский) относительно центра магнитной бури ($A_p > 30$).

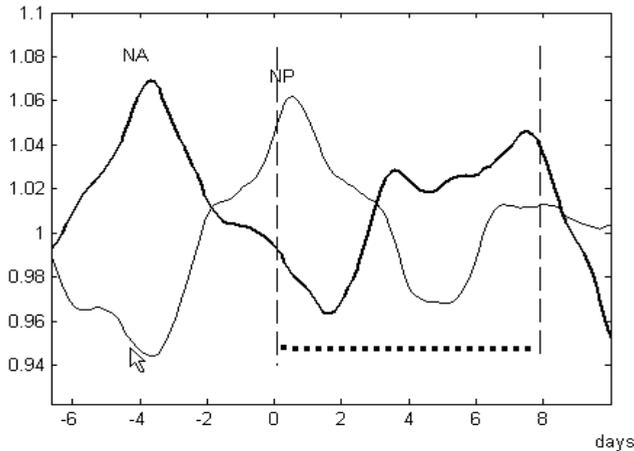


Рис. 6. Нормированная интенсивность «средней» магнитной бури (NA – для североатлантической зоны, NP – для тихоокеанской) относительно активной фазы ТЦ, выделенной на графике пунктиром.

Полученный вывод подтверждается результатом применения несколько иной модификации этого метода (рис. 6). Здесь методом наложения эпох построена «средняя» магнитная буря относительно среднего момента времени между началом и концом каждого ТЦ. Горизонтальная пунктирная линия показывает среднюю продолжительность активной фазы ТЦ. Видно, что развитие ТЦ для зоны NA происходит во время спада магнитной возмущенности, в то время как для зоны NP ураган «стартует» в момент наивысшей магнитной возмущенности.

Надо заметить, что присутствие регионального различия в связи ТЦ и магнитной активности нашло отражение на картах корреляции, которые рассматривались выше. Видно, что раскраска областей Северной Атлантики и севера Тихого океана различна как для параметра $R(\tau)$, так и для фазового сдвига τ .

Выводы

– *Связь атмосферных процессов с солнечной активностью имеет выраженный региональный характер.*

Проведенное нами исследование показало, что существует заметная корреляция долгопериодической компоненты солнечной активности (11-летнего солнечного цикла) и ряда поверхностных атмосферных параметров (давление, температура). Эта корреляция имеет заметную региональность. Наиболее проявлена обнаруженная зависимость атмосферных данных от СЦ в тропической зоне.

– *Значительный вклад в связь СА с атмосферными процессами могут вносить тропические циклоны.*

Одной из возможных мезомасштабных структур, определяющих связь СА с атмосферными параметрами в тропической зоне, являются ураганы. Проведенное исследование подтвердило это. Была обнаружена отчетливая связь моментов образования и разрушения ТЦ с индексом геомагнитной возмущенности A_p , в свою очередь, связанного с СЦ. Как следствие, с магнитной активностью связаны и вариации физических характеристик ураганов (распределения температуры и давления). Указанные характеристики, внося вклад в средние значения соответствующих атмосферных параметров и их дисперсию, предполагают некоторую обусловленность последних от индексов геомагнитной активности. Несмотря на то что непосредственно с формированием ураганов статистически связана короткопериодная компонента солнечной активности, последняя имеет выраженные 11-летние вариации. Исходя из сказанного, становятся вполне объяснимыми обнаруженные нами корреляции, синфазные с СЦ.

– *Характер влияния магнитных бурь на тропический циклогенез также имеет региональные особенности.*

Замечена существенная разница в проявлении магнитной возмущенности на циклогенез в разных регионах. Североатлантические ТЦ в среднем «избегают» магнитных бурь. Иначе говоря, наличие магнитной бури препятствует воз-

никновению ТЦ и способствует его завершению. Влияние же магнитных бурь на тихоокеанские (со стороны Северной Америки) либо противоположно, либо индифферентно.

Литература

1. *Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Исследование взаимодействия нижней экваториальной ионосферы с тропическими циклонами по данным дистанционного и ракетного зондирования // Исслед. Земли из космоса, 2007, № 1, с. 1–9.
2. *Иванов К.Г.* Зарождение тропического урагана Katrine во время геомагнитной экстратури при пересечении гелиосферного токового слоя: случайное совпадение или физическая сущность // Геомагн. и аэрономия, 2006, т. 46, № 5, с. 643–650.
3. *Иванов К.Г.* Корреляция между тропическими циклонами и магнитными бурями в 23-м цикле солнечной активности // Геомагн. и аэрономия, 2007, т. 47, № 3, с. 394–398.
4. *Кудрявцев И.В., Юнгер Х.* К вопросу о возможном механизме влияния космических лучей на формирование облачности на малых высотах // Геомагн. и аэрономия, 2005, т. 45, № 5, с. 682–689.
5. *Шарков Е.А.* Глобальный тропический циклогенез: эволюция научных взглядов и роль дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса, 2005, № 6, с. 1–10.
6. *Kodera K.* Solar influence on the spatial structure of the NAO during the winter 1900–1999 // Geoph. Res. Lett., 2003, 30(4), 1175, doi: 10.1029/2002GL016584.
7. *Kristjánsson J. E., Staple A., Kristiansen J., Kaas E.* A new look at possible connections between solar activity, clouds and climate // Geoph. Res. Lett., 2002, vol. 29, 1029/2002GL015646.
8. *Mayr H.G., Mengel J.G., Wolff C.L., Porter H.S.* QBO as potential amplifier of solar cycle influence, Geoph. Res. Lett., 2006, vol. 33, 1029/2005GL025650.
9. *Schröder W.* Long and short term variability in Sun's history and global change // Science edition, D-28777, Bremen-Roenberg, 2000, 263 pp.
10. *Sharkov E.A.* Global Tropical Cyclogenesis // Belin, Heidelberg, L., N.Y. etc: Springer/PRAXIS, 2000, 361 pp.
11. *Veretenenko S.V., Thejll P.* Cyclon regeneration in the North Atlantic intensified by energetic solar proton events // Adv. Space Res., 2005, vol. 5, p. 2169–2172.