**60-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ В КЛИМАТЕ ЗЕМЛИ
И ДИНАМИКЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ
МЕЖДУ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ И ЦИРКУЛЯЦИЕЙ
НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ: НОВЫЕ ДАННЫЕ**

Веретененко С.В.¹, Огурцов М.Г.^{1,2}

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

**60-YEAR CYCLE IN THE EARTH'S CLIMATE AND CORRELATION
LINKS BETWEEN SOLAR ACTIVITY
AND THE LOWER ATMOSPHERE CIRCULATION: AN UPDATE**

Veretenenko S.V.¹, Ogurtsov M.G.^{1,2}

¹Ioffe Physical-Technical Institute RAS, St. Petersburg, Russia

²Central astronomical observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia

In this work we continue studying ~60-year oscillations in the Earth's climate and correlation links between characteristics of the lower atmosphere and solar activity/galactic cosmic ray (SA/GCR) variations. New evidences for a link between sign reversals of SA/GCR effects on troposphere pressure and changes in the regime of large-scale circulation are presented, with the evolution of the main circulation forms according to the Vangengeim-Girs classification being considered both in the Atlantic-Eurasian and Pacific-American sectors. It was shown that the changes of the circulation regime may be due to the transitions between the different states of the stratospheric polar vortex influencing a transfer of solar signal from the stratosphere to the troposphere. The study revealed dominating harmonics with the periods ~80 and ~60 years in variations of total solar irradiance (TSI) according to the Hoyt-Schatten reconstruction updated by Scafetta and Wilson (2014). The results obtained allow suggesting that long-term variations of TSI may be one of possible reasons for a roughly 60-year periodicity in the polar vortex strength influencing large-scale circulation epochs and the character of SA/GCR effects on the lower atmosphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-91-94

В наших работах [1–2] было обнаружено, что временная изменчивость корреляционных связей между давлением в тропосфере внетропических широт и числами Вольфа характеризуется четко выраженной ~60-летней периодичностью. Колебания с близкими периодами наблюдаются в целом ряде климатических характеристик (напр., [3–4]) и свидетельствуют об изменениях циркуляционного режима атмосферы. В данной работе продолжено исследование влияния перестроек атмосферной циркуляции на формирование эффектов солнечной активности (СА) и галактических космических лучей (ГКЛ) в развитии внетропических барических систем, а также рассматриваются возможные причины указанных перестроек.

На рис. 1 (левая панель) временной ход коэффициентов корреляции между давлением в тропосфере высокоширотной области ($\varphi \geq 60^\circ\text{N}$) и характеристиками СА/ГКЛ сопоставлен с частотами повторяемости основных форм крупномасштабной циркуляции в Атлантико-Евразийском и Тихоокеано-Американском секторах согласно классификации Вангенгейма-Гирса [5]. Видно, что обращения знака коэффициентов корреляции происходят вблизи переломных точек в развитии практически всех форм циркуляции, при этом знак корреляции зависит от характера развития меридиональных форм С и М1. Повторяемость указанных форм циркуляции обнаруживает ~60-летнюю периодичность, близкую к наблюдаемой во временном ходе коэффициентов корреляции $R(\text{SLP}, S_N)$ (рис. 1, правая панель).

Рис. 1. Слева: а) Коэффициенты корреляции по 15-летним скользящим интервалам между среднегодовыми значениями приземного давления и чисел солнечных пятен [6] $R(\text{SLP}, S_N)$, геопотенциальной высоты уровня 700 гПа и скорости счета нейтронного монитора в Клаймаксе $R(\text{GPH700}, \text{NM})$ в области $\varphi \geq 60^\circ\text{N}$; б) Частоты повторяемости (число дней в году) основных форм циркуляции (15-летние скользящие средние, после вычета трендов) для Атлантико-Евразийского сектора; в) то же для Тихоокеано-Американского сектора. Вертикальными штриховыми линиями показаны моменты обращения знака коэффициентов корреляции. Справа: Спектры Фурье коэффициентов корреляции $R(\text{SLP}, S_N)$ (d), частот повторяемости форм циркуляции С (e) и М1 (f).

Приведенные выше данные подтверждают наличие связи между характером эффектов СА/ГКЛ в вариациях давления (развитии барических систем) и режимом атмосферной циркуляции. Перестройки режима циркуляции, в свою очередь, тесно связаны с изменениями состояния стратосферного циркумполярного вихря (ЦПВ). Для оценки состояния ЦПВ использовались данные реанализа NCEP/NCAR [7] с 1948 г., а также колебания приземных температур и давления в Арктике (Арктическая Осцилляция). Как показывают данные (рис. 2), усиление ЦПВ (понижение приземного давления и потепление в Арктике, обусловленные смещением траекторий циклонов к северу при сильном вихре [8], усиление западных ветров и понижение температуры в стратосфере) имело место в ~1920–1950 и ~1980–2000 гг., тогда как в ~1900–1920 и ~1950–1980 гг. вихрь был ослаблен, что указывает на ~60-летнюю периодичность в вариациях его интенсивности. Поскольку интенсивность ЦПВ влияет на распространение планетарных волн (при скорости зонального ветра выше критической планетарные волны возвращаются обратно в тропосферу), возможной причиной наблюдаемой временной изменчивости эффектов СА/ГКЛ может быть изменение характера взаимодействия тропосферы и стратосферы в зависимости от состояния ЦПВ.

Рис. 2. Слева: Вариации скорости зонального западного ветра в широтном поясе 60–80°N (a) и температуры в области широт 60–90°N (b) на уровне 50 гПа в стратосфере. Справа: c) Колебания среднегодовых значений температуры и давления (после вычета трендов) в Арктике. Толстыми линиями показаны скользящие средние по 15-ти годам.

Одним из возможных энергетических источников изменений состояния ЦПВ и соответствующих перестроек режима циркуляции могут быть изменения интегрального потока солнечной радиации (TSI). На рис. 3 приведены временной ход TSI согласно реконструкции Хойта и Шаттена [9], модифицированной в работе Скафетты и Вильсона [10], локальный

вейвлет-спектр TSI (базис Морле), нормированный на уровень доверия 0.95, и спектр Фурье. Действительно, спектры вариаций TSI обнаруживают статистически значимые доминирующие гармоники с периодами ~ 80 и ~ 50 – 60 лет, при этом последняя наиболее четко выражена с 1700 до 1870 г. и после 1920 г.

Рис. 3.

а) Долговременные изменения TSI согласно [10];
б) Локальный вейвлет-спектр TSI (базис Морле) после вычета тренда;
в) Спектр Фурье TSI.

Полученные результаты подтверждают влияние режима циркуляции и состояния циркумполярного вихря на формирование долговременных эффектов СА/ГКЛ в вариациях давления тропосферы. Возможной причиной ~ 60 -летних колебаний интенсивности вихря могут быть долговременные изменения интегрального потока солнечной радиации.

Литература

1. Веретененко С.В., Огурцов М.Г. // Геомагнетизм и аэрономия, 2012, **52**, 626-638.
2. Veretenenko S., Ogurtsov M. // Adv. Space Res., 2012, **49(4)**, 770-783.
3. Minobe S.A. // Geophys. Res. Lett., 1997, **24(6)**, 683-686.
4. Polyakov I.V., Bekryaev R.V., Alekseev G.V. et al. // J. Clim., 2003, **16**, 2067-2077.
5. Вангенгейм Г.Я. // Труды Арктич. научно-исследоват. института, 1952, **34**, 314 с.
6. Clette F., Lefevre L. // Solar Phys., 2016, **291**, 2629-2651.
7. Kalnay E. et al. // Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1996, **77**, 437-472.
8. Baldwin M.P., Dunkerton T.J. // Science, 2001, **294**, 581-584.
9. Hoyt D.V., Schatten K.H. // J. Geophys. Res., 1993, **98(A11)**, 18895-18906.
10. Scafetta N., Willson, R.C. // Astrophys. Space Sci., 2014, **350(2)**, 421-442.