



ГЕОГРАФИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 80–82

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 80–82

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-80-82>

Научная статья

УДК 551.513+551.583

Влияние изменений потока космических лучей на общую циркуляцию атмосферы

М. Б. Богданов, С. В. Морозова[✉]

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Богданов Михаил Борисович, доктор физико-математических наук, BogdanovMB@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5305-8925>

Морозова Светлана Владимировна, кандидат географических наук, swetwl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5216-976X>

Аннотация. Проведено сопоставление временных рядов среднесуточных значений осевой компоненты глобального момента импульса ветров и потока галактических космических лучей (ГКЛ). На основе метода наложения эпох показано, что форбуш – понижения потока ГКЛ сопровождаются ростом средней угловой скорости циркуляции атмосферы и, соответственно, увеличением зонального переноса.

Ключевые слова: атмосфера, момент импульса, космические лучи, форбуш – понижения

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00779.

Для цитирования: Богданов М. Б., Морозова С. В. Влияние изменений потока космических лучей на общую циркуляцию атмосферы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 80–82. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-80-82>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The effect of changes in cosmic ray flux on general atmospheric circulation

М. В. Bogdanov, S. V. Morozova[✉]

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Mikhail B. Bogdanov, BogdanovMB@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5305-8925>

Svetlana V. Morozova, swetwl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5216-976X>

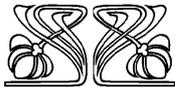
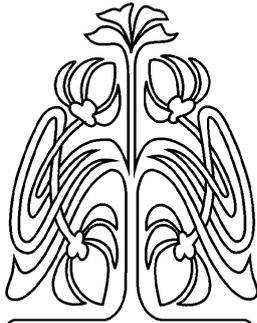
Abstract. A comparison of average daily values time series of the axial component of the global wind angular moment and galactic cosmic ray (GCR) flux was made. Using the superposed epoch method it is shown that the Forbush decreases of the GCR flux are accompanied by an increase in the average angular velocity of atmospheric circulation and, accordingly, by an increase in the zonal transfer.

Keywords: atmosphere, angular moment, cosmic rays, Forbush decreases

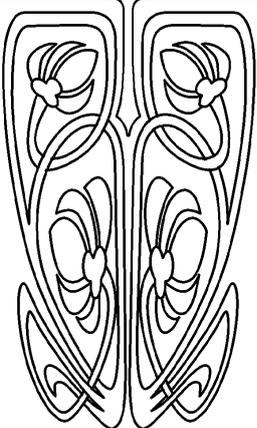
Acknowledgments. The reported study was funded by RFBR, project number 20-05-00779.

For citation: Bogdanov M. B., Morozova S. V. The effect of changes in cosmic ray flux on general atmospheric circulation. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 80–82 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-80-82>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





Введение

Общая циркуляция атмосферы, возникающая под действием неравномерного распределения инсоляции по поверхности и вращения Земли, является одним из основных климатообразующих факторов [1, 2]. Изучение возможных изменений этого глобального процесса представляет большой интерес для климатологии. Подобные изменения могут быть связаны с солнечной активностью. Наряду с вариацией прямой солнечной радиации, одним из вероятных путей воздействия факторов солнечной активности на тропосферные процессы и климат является модуляция потока галактических космических лучей (ГКЛ), способных проникать глубоко в атмосферу, вплоть до поверхности Земли [3–5]. Наиболее распространенным подходом к изучению влияния ГКЛ является анализ реакции характеристик атмосферы на форбуш – понижения их потока [6].

Целью настоящей статьи является изучение возможной реакции одной из основных характеристик общей циркуляции атмосферы – глобально осредненного момента импульса ветров – на форбуш – понижения потока ГКЛ.

Исходные данные

Нами были использованы глобально осредненные значения вектора момента импульса ветров $\vec{h}(h_1, h_2, h_3)$, полученные по данным реанализа. Составляющие этого вектора измеряются в декартовой системе координат, начало которой располагается в центре Земли. Первая и вторая оси координат лежат в плоскости земного экватора, причем первая направлена в точку с нулевой долготой, а вторая – в точку с восточной долготой 90°. Третья координатная ось направлена по оси вращения Земли. Таким образом, составляющая h_3 (многократно превышающая по величине обе другие) связана с зональным переносом воздуха в направлении с запада на восток. Методика расчета момента импульса ветров описана в работе [7]. Данные с временным разрешением 6 часов с января 1948 г. доступны из сети Интернет (<http://files.aer.com/aerweb/AAM/>). На основе этой информации нами были рассчитаны среднесуточные значения составляющей момента импульса ветров $h_3(t)$.

Изменения потока ГКЛ в разных пунктах поверхности Земли характеризуются высокой корреляцией и могут анализироваться по данным любой станции глобальной сети их регистрации. Для сопоставления с временным рядом $h_3(t)$ нами использовались среднесуточные значения потока ГКЛ $I(t)$ (в импульсах за минуту) по показаниям нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия, 65°.05 N, 25°.47 E, $H = 15$ м, эффективная жесткость геомагнитного обрезания 0.8 ГэВ), наблюдения на которой ведутся с 1 апреля 1964 г. Данные также получены в сети Интернет с сервера станции (<http://cosmicrays oulu.fi/>). Несколько

пропущенных отсчетов потока были заполнены с использованием линейной интерполяции.

Как было показано в работе [8], метод наложения эпох довольно чувствителен к присутствию возможных автокорреляций в исходных рядах, что может приводить к занижению погрешностей оценок. Поэтому, как и в предыдущих исследованиях [9, 10], нами были предприняты специальные меры фильтрации. Устранение нестационарности ряда космических лучей проводилось путем вычитания из значений потока скользящего среднего, вычисленного за интервал 200 сут. В конечном итоге было использовано 20629 отсчетов потока ГКЛ с 10 июля 1964 г. по 31 декабря 2020 г.

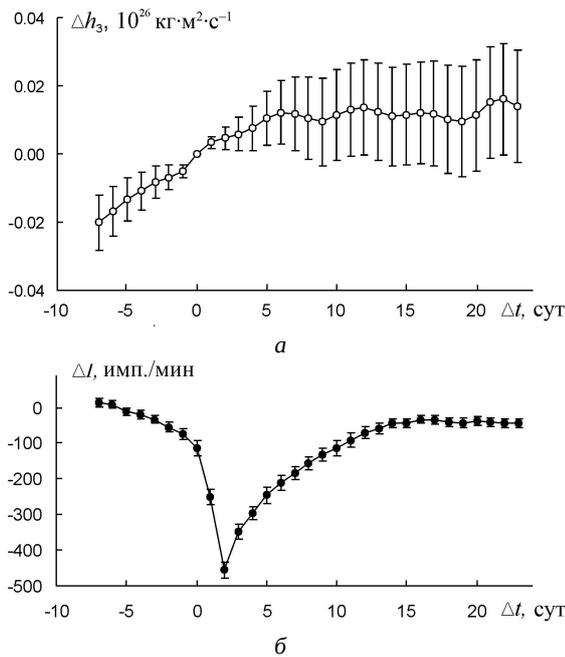
Глобально осредненный момент импульса ветров заметно зависит от величины радиационного воздействия [11], что приводит к появлению в изменениях $h_3(t)$ детерминированных составляющих, связанных с движением Земли по эллиптической орбите. Для устранения этих изменений временной ряд $h_3(t)$ после вычитания среднего значения представлялся моделью в виде суммы синусоиды с годичным периодом и двух первых ее гармоник. Амплитуды и начальные фазы периодических составляющих модели были найдены методом наименьших квадратов. При этом для минимизации суммы квадратов отклонений данных наблюдений от модельных значений применялся генетический алгоритм, реализуемый программой PICAIA. Полученные модельные значения были вычтены из ряда $h_3(t)$.

Полученные результаты

Мы применили метод наложения эпох для анализа отфильтрованных рядов данных $h_3(t)$ и $I(t)$. Рассматривались только достаточно сильные форбуш – понижения, при которых изменение потока ГКЛ ΔI превышало 300 импульсов в минуту (около 5% от среднего значения). Всего за рассматриваемый интервал времени было зарегистрировано 66 таких явлений. В качестве реперного взят момент за двое суток до форбуш – понижения. При наложении эпох вычислялись средние значения разности Δh_3 в рассматриваемый и реперный моменты.

Полученные результаты приведены на рисунке, на верхней панели которого светлыми кружками отмечены средние значения разностей Δh_3 . На нижней панели рисунок черными кружками показан также средний профиль форбуш – понижения потока космических лучей ΔI . Вертикальные отрезки на рисунке соответствуют удвоенным стандартным отклонениям средних значений ($\pm\sigma$).

Как видно из рисунка, форбуш – понижения потока ГКЛ сопровождаются увеличением осевой составляющей момента импульса ветров. В предположении неизменности тензора инерции атмосферы данный эффект должен приводить



Средние величины разности осевой компоненты глобального момента импульса ветров с ее значением в реперный момент (а) и средний профиль форбуш – понижения потока галактических космических лучей (б)

к повышению средней угловой скорости ее циркуляции и увеличению зонального переноса.

Обсуждение результатов

Изучение реакции атмосферной циркуляции на форбуш – понижения потока ГКЛ предпринималось ранее в работе [12]. В качестве анализируемой характеристики рассматривался индекс Блиновой, величина которого пропорциональна отношению средней угловой скорости вращения атмосферы к угловой скорости вращения поверхности Земли в широтной зоне $45^\circ - 65^\circ$ Северного полушария. На основе метода наложения эпох было показано, что 33 форбуш – понижения потока ГКЛ более чем на 3% сопровождаются в среднем уменьшением индекса Блиновой и, соответственно, снижением скорости зонального потока в умеренных широтах [12].

В отличие от работы [12], нами рассматривается глобальная характеристика общей циркуляции атмосферы, получаемая осреднением по всем широтным зонам. В данном случае при анализе вдвое большего числа форбуш-понижений характер обнаруженного эффекта оказывается противоположным. При уменьшении потока ГКЛ наблюдается рост осевой компоненты момента импульса ветров и средней угловой скорости атмосферы.

Необходимо исследовать возможность связи других характеристик циркуляции и центров

действия атмосферы с изменениями потока космических лучей.

Библиографический список

1. *Переведенцев Ю. П., Мохов И. И., Елусеев А. В.* Теория общей циркуляции атмосферы. Казань : Издательство Казанского университета, 2013. 224 с.
2. *Sato M.* Atmospheric circulation dynamics and general circulation models. Berlin : Springer, 2014. 730 p.
3. *Распопов О. М., Веретененко С. В.* Солнечная активность и космические лучи : влияние на облачность и процессы в нижней атмосфере (памяти и к 75-летию М. И. Пудовкина) // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 49, № 2. С. 147–155.
4. *Gray L. J., Beer J., Geller M., Haigh J. D., Lockwood M., Matthes K., Cubasch U., Fleitmann D., Harrison G., Hood L., Luterbacher J., Meehl G. A., Shindell D., van Geel B., White W.* Solar influences on climate // Reviews of Geophysics. 2010. Vol. 48. Article Number RG4001. <https://www.doi.org/10.1029/2009RG000282>
5. *Mironova I. A., Aplin K. L., Arnold F., Bazilevskaya G. A., Harrison R. G., Krivolutsky A. A., Nicoll K. A., Rozanov E. V., Turunen E., Usoskin I. G.* Energetic particle influence on the Earth's atmosphere // Space Science Reviews. 2015. Vol. 194. P. 1–96.
6. *Tinsley B. A., Brown G. M., Scherrer P. H.* Solar variability influences on weather and climate : Possible connections through cosmic ray fluxes and storm intensification // Journal of Geophysical Research. 1989. Vol. 94, iss. D12. P. 14783–14792.
7. *Zhou Y. H., Salstein D. A., Chen J. L.* Revised atmospheric excitation function series related to Earth variable rotation under consideration of surface topography // Journal of Geophysical Research. 2006. Vol. 111. D12108. <https://www.doi.org/10.1029/2005JD006608>
8. *Laken B. A., Čalogović J.* Composite analysis with Monte Carlo methods : An example with cosmic rays and clouds // Journal of Space Weather and Space Climate. 2013. Vol. 3. Article Number A29. <https://www.doi.org/10.1051/swsc/2013051>
9. *Богданов М. Б., Федоренко А. В.* Влияние космических лучей на приземное атмосферное давление // Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т. 44, № 1. С. 103–104.
10. *Богданов М. Б., Сурков А. Н., Федоренко А. В.* Влияние космических лучей на атмосферное давление в высокогорных условиях // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46, № 2. С. 268–274.
11. *Богданов М. Б., Морозова С. В.* Влияние изменений глобальной температуры и радиационного воздействия на общую циркуляцию атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55, № 5. С. 9–12.
12. *Веретененко С. В., Пудовкин М. И.* Эффекты вариаций космических лучей в циркуляции нижней атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 1993. Т. 33, № 6. С. 35–40.

Поступила в редакцию 14.02.2022; одобрена после рецензирования 24.02.2022; принята к публикации 01.03.2022
The article was submitted 14.02.2022; approved after reviewing 24.02.2022; accepted for publication 01.03.2022