

УДК 551.590.21, 551.590.29

## СВЯЗЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ МАКРОСИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ВАРИАЦИЯМИ ПОТОКОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

<sup>1</sup>И.В. Артамонова, <sup>2</sup>С.В. Веретененко

## THE LINK BETWEEN DURATION OF MACROSYNOPTICAL PROCESSES AND INTENSITY OF GALACTIC COSMIC RAYS

<sup>1</sup>I.V. Artamonova, <sup>2</sup>S.V. Veretenenko

В работе проведено исследование влияния вариаций солнечных и галактических космических лучей на длительность элементарных синоптических процессов (ЭСП) над Атлантико-Европейским сектором. Обнаружено, что всплеск солнечных космических лучей приводит к увеличению длительности ЭСП, относящихся к западной и меридиональной формам атмосферной циркуляции. Показано, что форбуш-понижение галактических космических лучей сопровождается увеличением длительности ЭСП, относящихся к меридиональной форме атмосферной циркуляции, и уменьшением длительности ЭСП, относящихся к западной и восточной формам атмосферной циркуляции. Причиной наблюдаемых вариаций длительности ЭСП предположительно является влияние короткопериодных вариаций потоков космических лучей на структуру термобарического поля нижней атмосферы, которое приводит к изменению интенсивности циклонических процессов в умеренных и высоких широтах Северного полушария.

An investigation of influence of solar and galactic cosmic rays variations on duration of the elementary synoptic processes (ESP) over the North Atlantic and Northern Europe was carried out. It was revealed that bursts of solar protons result to an increase of duration of the ESP which were related to the western and meridional forms of atmospheric circulation. It was shown that Forbush-decreases of galactic cosmic rays was accompanied by an increase of duration of the ESP which were related to the meridional form of atmospheric circulation and by a decrease of duration of the ESP which were related to the western and eastern forms of the atmospheric circulation.

The possible reason of the detected variations of the durations of elementary synoptic processes may be the influence of short-term variations of cosmic rays on the structure of the thermo-baric field of the troposphere which leads to change of intensity of cyclonic processes at middle and high latitudes of the Northern hemisphere.

### Введение

Долгосрочный прогноз погоды основан на анализе вариаций типов и длительности макросиноптических процессов. Российский метеоролог Г.Я. Вангенгейм [Вангенгейм, 1964] отметил наличие «естественных отрезков времени», в течение которых сохраняется положение основных барических систем и направление основных воздушных потоков над Атлантико-Европейским сектором Северного полушария. Такие «естественные отрезки времени» были названы элементарными синоптическими процессами (ЭСП), средняя длительность которых составляет 3–5 дней. Все многообразие ЭСП принято объединять в 3 основные группы: западную (W), меридиональную (C) и восточную (E). Западной форме атмосферной циркуляции (W) соответствует почти зональное распределение изогипс по всему Северному полушарию и усиление западно-восточного переноса в тропосфере. Восточная форма (E) характеризуется формированием стационарных антициклонов над континентами. Меридиональная форма (C) характеризуется формированием высокого теплого антициклона над восточной частью Атлантики и западной Европой.

В данной работе проводится исследование эволюции указанных форм атмосферной циркуляции в связи с короткопериодными вариациями потоков солнечных и галактических космических лучей.

### Анализ экспериментальных данных

Для данного исследования было отобрано 48 форбуш-понижений космических лучей (КЛ) с энергиями ~1–10 ГэВ и амплитудой  $\delta N/N > 2.5\%$  по данным нейтронного монитора станции «Апатиты» (67° N, 33° E)

за 1980–2006 гг. Отбор форбуш-понижений был проведен согласно методике, предложенной в работе [Pudovkin, Veretenenko, 1995]: на интервале  $\pm 3$  дня относительно начала события отсутствовали всплески солнечных протонов с интенсивностью  $I_p > 100$  протон-см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>·ср<sup>-1</sup> для частиц с энергиями  $E_p > 10$  МэВ. Список из 48 интенсивных солнечных протонных событий (СПС) с энергиями частиц  $E_p > 90$  МэВ за 1980–1995 гг. был взят из работы [Veretenenko, Thejll, 2005]. Отбор форбуш-понижений и солнечных протонных событий производился за холодный период (октябрь–март), поскольку в это время года наблюдается максимум температурных контрастов в приземном слое атмосферы и усиление процессов циклогенеза [Воробьев, 1991]. Далее на основании каталога макросиноптических процессов под редакцией Вангенгейма, ведение которого начато в 1964 г. и продолжается до сих пор [Вангенгейм, 1964], были отобраны ЭСП, развивавшиеся на фоне форбуш-понижений и всплесков солнечных протонов. Для данных ЭСП были построены гистограммы частоты повторяемости их длительности во время действия возмущающих факторов. Полученные гистограммы для элементарных синоптических процессов, относящихся к западной (W), меридиональной (C) и восточной (E) формам атмосферной циркуляции, представлены на рис. 1 и рис. 2. Нанесены также гистограммы длительности ЭСП для указанных форм циркуляции при невозмущенных условиях, т. е. в отсутствие вариаций космических лучей.

Из рис.1 и рис. 2 можно видеть, что как в невозмущенных условиях, так и в ходе вариаций потоков космических лучей около 65–80 % ЭСП имеют про-

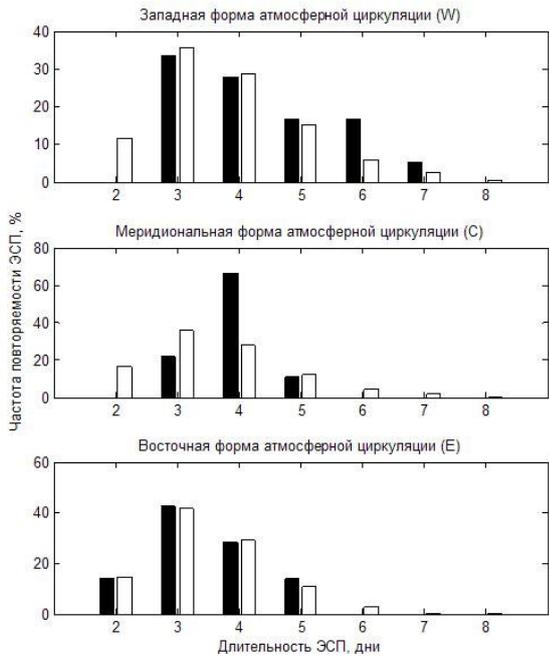


Рис. 1. Распределение длительности ЭСП после всплесков СКЛ, холодное полугодие (черные столбцы). Распределение длительности ЭСП при невозмущенных условиях, холодное полугодие (белые столбцы).

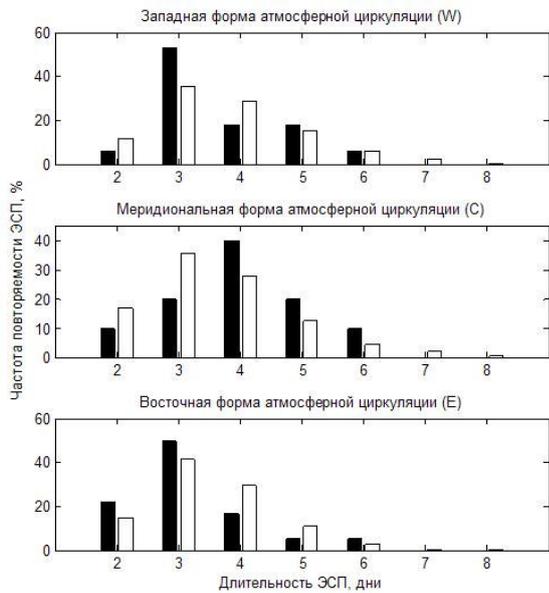


Рис. 2. Распределение длительности ЭСП в ходе форбуш-понижений ГКЛ, холодное полугодие (черные столбцы). Распределение длительности ЭСП при невозмущенных условиях, холодное полугодие (белые столбцы).

должительность 3-4 дня. Однако в присутствии возмущающего влияния космических лучей форма их распределения несколько меняется. В частности, солнечные протонные события сопровождаются увеличением числа более длительных ЭСП, относящихся к западной (W) и меридиональной (C) формам атмосферной циркуляции. При этом продолжи-

тельность макросиноптических процессов, относящихся к восточной форме циркуляции (E), в ходе СПС практически остается неизменной. В связи с форбуш-понижениями космических лучей происходит увеличение числа более коротких ЭСП, принадлежащих к западной (W) и восточной (E) формам циркуляции, и увеличение числа более длительных ЭСП, относящихся к меридиональной форме циркуляции (C). Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о заметном влиянии вариаций космических лучей на длительность элементарных синоптических процессов.

### Обсуждение полученных результатов

Обнаруженные вариации длительности ЭСП в связи с солнечными протонными событиями и форбуш-понижениями могут быть обусловлены влиянием потоков космических лучей на эволюцию барических образований в нижней атмосфере. Действительно, после всплесков СКЛ происходит регенерация североатлантических циклонов у юго-восточного побережья Гренландии [Veretenenko, Theill, 2004], что может способствовать увеличению длительности ЭСП западной формы (W), для которой характерно усиление западно-восточного переноса воздушных масс и развитие циклогенеза в высоких широтах. С другой стороны, форбуш-понижения космических лучей сопровождаются более интенсивным формированием антициклонов над северо-востоком Атлантики, Европой и Скандинавией [Artemonova, Veretenenko, 2011]. Это может приводить к увеличению продолжительности ЭСП меридиональной формы (C) атмосферной циркуляции, для которой характерно развитие высокого теплового антициклона над восточной частью Атлантики и западной Европой. Увеличение продолжительности ЭСП, относящихся к меридиональной (C) форме атмосферной циркуляции, в связи с солнечными протонными событиями может быть также связано с влиянием форбуш-понижений, следующих за указанными СПС. Также форбуш-понижения космических лучей сопровождаются заполнением исландского минимума [Артамонова, Веретененко, 2011], что совместно с формированием блокирующего антициклона способствует ослаблению циклогенеза и приводит к снижению интенсивности западно-восточного переноса и зональной циркуляции над Северной Атлантикой. В связи с этим уменьшается длительность макросиноптических процессов западной (W) и восточной (E) форм атмосферной циркуляции, для которых характерно развитие области низкого давления и значительные зональные составляющие в североатлантическом секторе. Таким образом, наблюдаемые вариации продолжительности ЭСП во время солнечных протонных событий и форбуш-понижений космических лучей могут быть связаны с влиянием последних на эволюцию и время жизни барических образований в указанных регионах.

### Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что вариации солнечных космических лучей с энергиями  $E_p > 90$  МэВ и галактических космических

лучей с энергиями  $E \sim 1-10$  ГэВ могут оказывать заметное влияние на продолжительность ЭСП. Обнаруженные вариации длительности ЭСП в случае солнечных протонных событий обусловлены регенерацией североатлантических циклонов во время всплесков СКЛ. Вариации длительности ЭСП в ходе форбуш-понижений ГКЛ связаны с развитием стационарных блокирующих антициклонов над Северной Атлантикой, Скандинавией и/или Северной Европой. Полученные результаты можно использовать для повышения качества метеорологических прогнозов, основанных на анализе типа и длительности макросиноптических процессов.

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией долгосрочных метеорологических прогнозов ААНИИ В.В. Иванову и сотруднику отдела геофизики ААНИИ В.А. Ульеву за предоставление необходимой литературы и научную дискуссию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Артамонова И.В., Веретененко С.В. Влияние вариаций галактических космических лучей на динамические процессы в нижней атмосфере // Вестн. С.-Петербург. ун-та. 2011. Сер. 4. Вып. 2. С. 15–23.

Вангенгейм Г.Я., Гирс А.А. Каталог макросиноптических процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма. Л.: Изд-во ААНИИ, 1964.

Воробьев В.И. Синоптическая метеорология Л.: Гидрометиздат, 1991. 616 с.

Artamonova I.V., Veretenenko S.V. Galactic cosmic ray variation influence on baric system dynamics at middle latitudes // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2011. V. 73, N. 2-3. P. 366–370.

Pudovkin M. I., Veretenenko S. V. Cloudiness decreases associated with Forbush decreases of galactic cosmic rays // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 1995. Vol. 57. N. 11. P. 1349–1355.

Veretenenko S.V., Thejll P. Effects of energetic solar proton events on the cyclone development in the North Atlantic // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2004. Vol. 66. P. 393–405.

Veretenenko S.V., Thejll P. Cyclone regeneration in the North Atlantic intensified by energetic solar proton events // Adv. Space Res. 2005. V. 35, N 3. P. 470–475.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург