

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ВНЕТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Веретененко С.В., Дмитриев П.Б., Дергачев В.А.

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

LONG-TERM CHANGES OF THE MAIN TRAJECTORIES OF EXTRATROPICAL CYCLONES IN THE NORTH ATLANTIC AND THEIR POSSIBLE CONNECTION WITH SOLAR ACTIVITY

Veretenenko S.V., Dmitriev P.B., Dergachev V.A.

Ioffe Institute RAS, St. Petersburg, Russia

In this work we study long-term changes of the main trajectories of extratropical cyclones (storm tracks) in the North Atlantic, the data of MSLP (Mean Sea Level Pressure) archives from Climatic Research Unit, UK (1873–2000) and NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (1979–2021) being used. It was revealed that in the cold half of year (the period of intensive extratropical cyclogenesis) the average latitude of storm tracks at longitudes from 60°W to 10°W undergoes oscillations with the periods of ~80–90, ~40–45 and ~22 years, which indicates their possible connection with solar variability. On the secular time scale, cyclone paths in the North Atlantic were found to shift to the north at the minimum of the Gleissberg cycle and to the south at its maximum. The peak-to-peak amplitude of the secular variations of storm track latitudes reaches ~5°. On the bidecadal time scale, cyclone paths shift ~1–2° to the north in even solar cycles, the effect being the most significant in the eastern North Atlantic. The detected changes of cyclone trajectories provide evidence for long-term changes in the strength of the stratospheric polar vortex, with possible factors of the vortex intensification being galactic cosmic ray variations and geomagnetic activity.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-37-40

Циклоническая активность (формирование, эволюция и перемещение внетропических циклонов и антициклонов) – важный фактор, влияющий на погоду и климат в умеренных широтах. С внетропическими циклонами, приходящими с Северной Атлантики, связаны многие экстремальные погодные явления в Европе. Цель данной работы – исследование долгосрочных изменений основных траекторий циклонов в Северной Атлантике и их возможной связи с вариациями солнечной активности.

Для определения основных траекторий циклонов строились карты среднемесячных значений приземного давления по данным архивов MSLP [1–2]. Как известно, внетропические циклоны в Северной Атлантике обычно образуются у восточных берегов Северной Америки и далее перемещаются к северо-востоку в сторону Исландии и Баренцева моря [3]. Движение циклонов формирует барическую ложбину на среднемесячных картах приземного давления (рис. 1а). Ось ложбины (линия минимума дав-

ления) показывает основное направление движения циклонов (шторм-трек). В данном исследовании находились минимумы давления и их широты для долгот от 60°W до 10°W , далее полученные значения широт осреднялись за холодное полугодие (октябрь-март) – период интенсивного экваториального циклогенеза. Обнаружено (рис. 1b, 1c), что широты шторм-треков характеризуются заметной изменчивостью на временных шкалах от межгодовой до вековой.

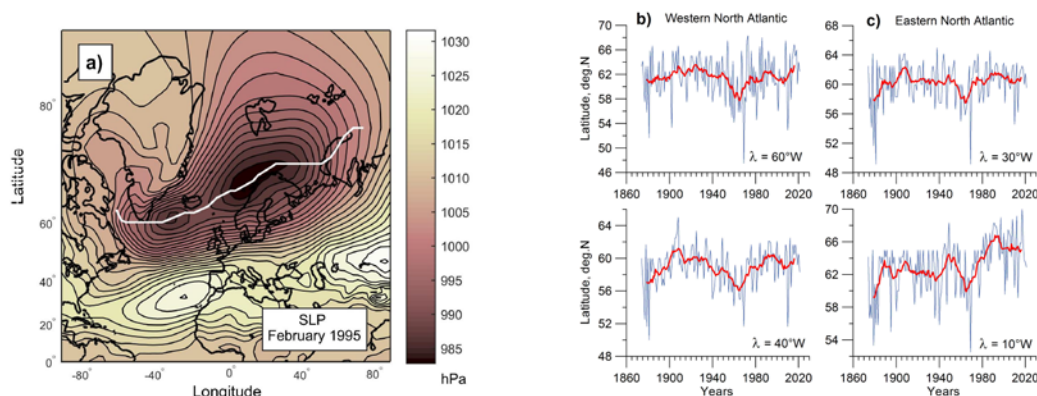


Рис. 1. а) Карта среднемесячных значений приземного давления (февраль 1995 г.). Белая линия показывает основное направление движения циклонов (шторм-трек); б) и в) – временной ход средней широты шторм-треков в холодные месяцы (октябрь-март) на разных долготах. Толстыми линиями показаны 11-летние скользящие средние.

Наличие вековых колебаний в широте траекторий циклонов подтверждается результатами спектрального анализа (рис. 2а, 2б). Сопоставление с числами солнечных пятен SSN [4] и концентрацией космогенного изотопа ^{10}Be в полярном льду [5], характеризующей интенсивность галактических космических лучей (ГКЛ), показывает, что траектории циклонов были смещены к северу в минимуме векового цикла (при увеличении потока ГКЛ) и к югу в максимуме (при понижении потока ГКЛ). Вековая вариация широты шторм-треков составляет $\sim 5^{\circ}$. Начиная с 1960-х гг., на нисходящей ветви векового цикла, траектории циклонов снова смещаются к северу. Смещения траекторий циклонов в вековом цикле аналогичны смещениям, обнаруженным в 11-летнем цикле [6].

Наряду с вековыми вариациями, широта траекторий циклонов обнаруживает вариации на бидекадной и мультидекадной временных шкалах. На рис. 3а, 3б приведены результаты спектрального анализа высокочастотных составляющих (HFC) широты шторм-треков в западной (40°W) и восточной (10°W) Северной Атлантике. Можно видеть стабильные максимумы спектральной плотности HFC на периодах ~ 22 – 23 лет, что подтверждает достоверность бидекадных периодичностей. На рис. 3с, 3д показаны вариации (отклонения от векового хода) широты шторм-треков в западной и восточной Северной Атлантике, осредненные методом наложения эпох для четных и нечетных циклов. Видно, что в четных циклах траектории цикло-

нов смещаются к северу, а в нечетных – к югу, наибольшая разница между широтами шторм-треков ($\sim 2\text{--}3^\circ$) наблюдается на спаде солнечного цикла (3–4-й год после максимума). В восточной Северной Атлантике отклонения траекторий к северу в четных циклах выражены сильнее (значимость 0.95–0.99), чем в западной.

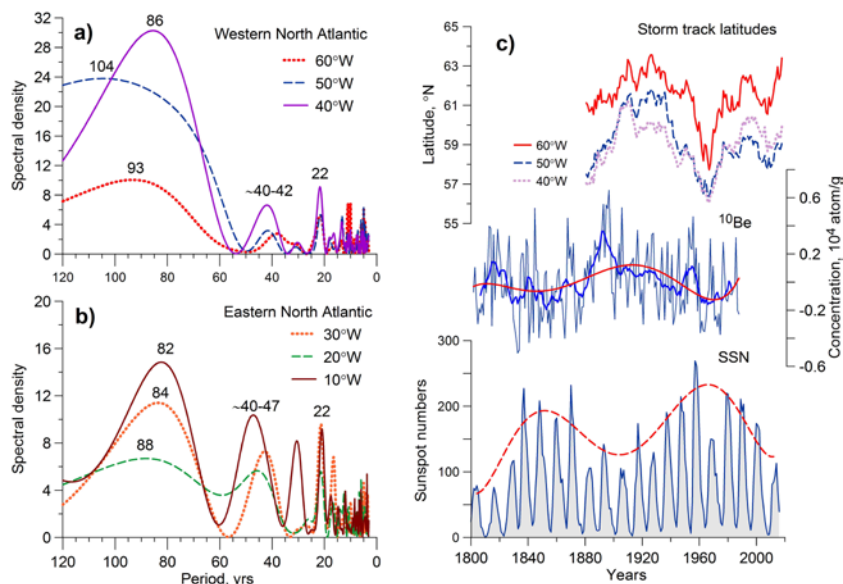


Рис. 2. а) Выборочные оценки нормированной спектральной плотности широты шторм-треков в западной части Северной Атлантики; б) то же для восточной части; в) временной ход широты шторм-треков (11-летние скользящие средние) в западной части Северной Атлантики, концентрация ^{10}Be в полярном льду (после вычета линейного тренда) и среднегодовое число солнечных пятен SSN.

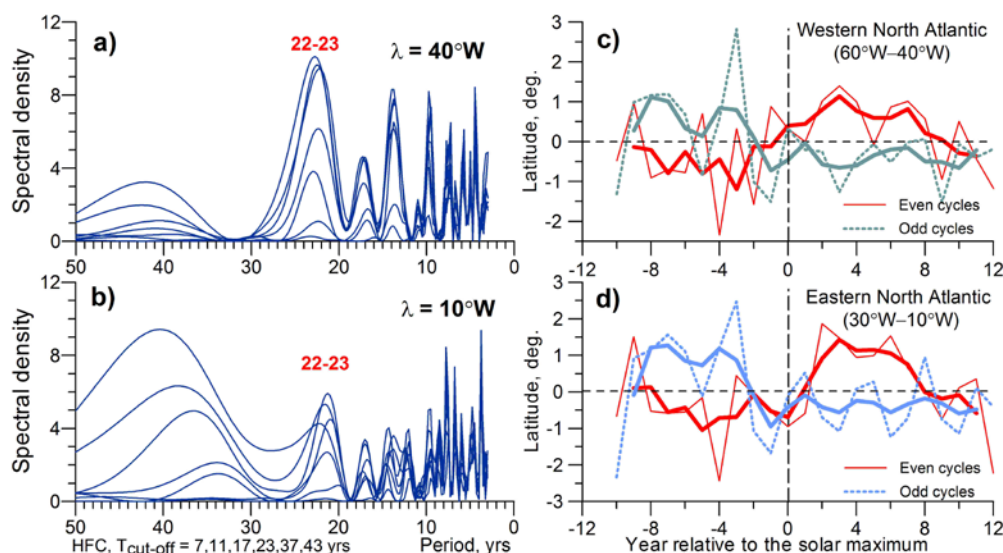


Рис. 3. Слева: Выборочные оценки нормированной спектральной плотности HFC с различными параметрами “среза” $T_{\text{cut-off}}$ широты шторм-треков для долгот 40°W (а) и 10°W (б). Справа: Средние вариации широты шторм-треков в западной (с) и восточной (д) Северной Атлантике для четных и нечетных солнечных циклов. Толстой линией показаны скользящие средние по 3-м годам.

Поскольку перемещение циклонов определяется положением полярного джета (струйного течения в верхней тропосфере), которое зависит от силы стратосферного полярного вихря, полученные результаты свидетельствуют о вариациях интенсивности вихря на разных временных шкалах. При сильном вихре полярный джет и, соответственно, траектории циклонов смещаются к северу, при слабом – к югу. Возможным фактором интенсификации вихря являются изменения скорости ионизации, связанные с потоками космических лучей и геомагнитной активностью (высыпаниями авроральных электронов), которые характеризуются вариациями как на вековой (рис. 2с), так и на бидекадной шкале (рис. 4).

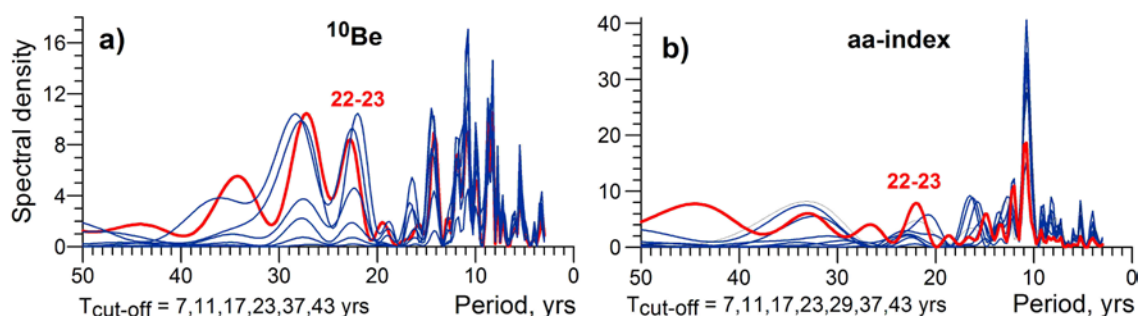


Рис. 4. Выборочные оценки нормированной спектральной плотности для исходных рядов (толстые линии) и HFC с различными параметрами “среза” $T_{\text{cut-off}}$ (тонкие линии) концентрации космогенного изотопа ^{10}Be (a) и геомагнитного aa-индекса (b).

Механизм интенсификации полярного вихря включает, по-видимому, изменение химического состава и температурного режима полярной атмосферы. Рост скорости ионизации способствует более интенсивному образованию окислов азота и водорода, разрушающих озон. В условиях полярной ночи озон действует как парниковый газ, поэтому уменьшение его содержания может привести к охлаждению полярной стратосферы, увеличению градиентов температуры между высокими и средними широтами и, соответственно, усилению полярного вихря. Интенсификация вихря при росте скорости ионизации в связи с солнечными протонными событиями обнаружена в [7].

Таким образом, проведенное исследование показало, что долговременные изменения траекторий циклонов в Северной Атлантике могут быть обусловлены солнечной активностью и связанными с ней изменениями скорости ионизации в высокоширотной атмосфере.

Литература

1. Climatic Research Unit, <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/pressure>
2. NOAA PSL, <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.surface.html>
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.
4. WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, <http://www.sidc.be/silso/datafiles>
5. Beer J. et al. // Nature, 1990, **347**, 164-166.
6. Tinsley B.A. // Geophys. Res. Lett., 1987, **15**(5), 409-412.
7. Veretenenko S. // Adv. Space Res., 2021, **68**, 1814-1824.