

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КЛИМАТ

**Н.В. Дорожко, Е.И. Сидоркина**

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета,  
Минск, Белоруссия  
natashka\_d10.05@mail.ru

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF HELIOGEOPHYSICAL FACTORS ON CLIMATE

**N.V. Dorozhko, E.I. Sidorkina**

National Ozone Monitoring Research and Education Center of the Belarusian State University, Minsk, Belarusian  
natashka\_d10.05@mail.ru

**Аннотация.** Солнечная активность относится к естественным возмущениям, исходящим от Солнца, которые могут оказывать прямое или косвенное влияние на климатическую систему регионального и глобального масштабов. В то же время нельзя оставлять без внимания геофизические аспекты и параметры атмосферной циркуляции, так как они непосредственно формируют климат. В связи с этим необходимо оценить степень воздействия каждого параметра и их совокупности для детального анализа климата и улучшения его прогноза в различном масштабе.

**Ключевые слова:** солнечная активность, индексы, циркуляция атмосферы, гелиофизические факторы, климат, региональный и глобальный масштабы.

**Abstract.** Solar activity refers to natural disturbances from the Sun or space that can have a direct or indirect effect on the climate system on the regional and global scales. At the same time, the geophysical aspects and parameters of atmospheric circulation should not be ignored, since they form the climate. In this regard, it is necessary to assess the degree of impact of each parameter and their combination for a detailed analysis of climate and improvement of its forecast at various scales.

**Keywords:** solar activity, indices, atmospheric circulation, heliophysical factors, climate, regional and global scales.

### ВВЕДЕНИЕ

Явления и процессы в атмосфере протекают в основном за счет солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, и развиваются в тесном взаимодействии с природной средой. Состояние атмосферы над конкретной территорией и в определенное время определяется различными гелиогеофизическими факторами, которые в комплексе определяют погоду изучаемой территории. Процессы солнечной активности тесно связаны с процессами, происходящими на Земле, включая изменение метеорологических показателей, и влияют на формирование климата. Климатическая система представляет собой сложную многофакторную систему, включающую атмосферу, поверхность суши, снежный покров и льды, океаны и другие водные объекты, а также организмы [Дорожко, 2019; Дымников, Филатов, 1994; Дымников и др., 2005; Логинов, Табальчук, 2014; Annex, 2013]. В конечном итоге она характеризуется множеством параметров, значения которых в фиксированный момент времени определяют ее состояние. Основным источником информации о погоде и климате служат результаты наблюдений на метеорологических станциях за солнечной радиацией, температурой, влажностью почвы и воздуха, облачностью, осадками, скоростью и направлением ветра, а также другими элементами.

Целью данного исследования является анализ гелиогеофизических факторов как компонентов климатической системы и их связей с другими параметрами климата.

### МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы для изучения поставленной задачи обработаны в соответствии с методиками численного

и статистического анализа с применением программ статистической обработки: Microsoft Excel 2019; Origin 8.5.1; SPSS Statistics, Matlab, а также систем численного анализа: Weather Research and Forecasting (WRF) [<https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>]. Данные, используемые в исследовании, охватывают временной интервал более 30 лет. Выбор этого временного интервала обусловлен наибольшей репрезентативностью данных. За основные гелиофизические факторы приняты количество солнечных пятен (число Вольфа), поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см (2800 МГц), поток электронов и протонов, а также солнечные вспышки классов C, M, X. За дополнительные факторы приняты геомагнитные бури классов G1, G2, G3, G4, G5. За геофизические параметры в данном исследовании приняты индексы общей циркуляции атмосферы как глобального климатического параметра и изменение температуры воздуха как регионального климатического параметра. Выбор этих параметров, а также пространственных и временных масштабов их численного моделирования обусловлен спецификой их применения для анализа изменений климата. Выбранные параметры используются для исследования вклада естественных компонентов в колебания климата. Данные взяты с сайтов Мирового центра данных по солнечно-земной физике, центра прогнозов космической погоды NOAA, Белгидрометцентра и архивов центра мониторинга озоносферы БГУ [<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

К основным формам солнечной активности относятся солнечные вспышки, корональные выбросы массы, солнечный ветер, поток радиоизлучения, коли-

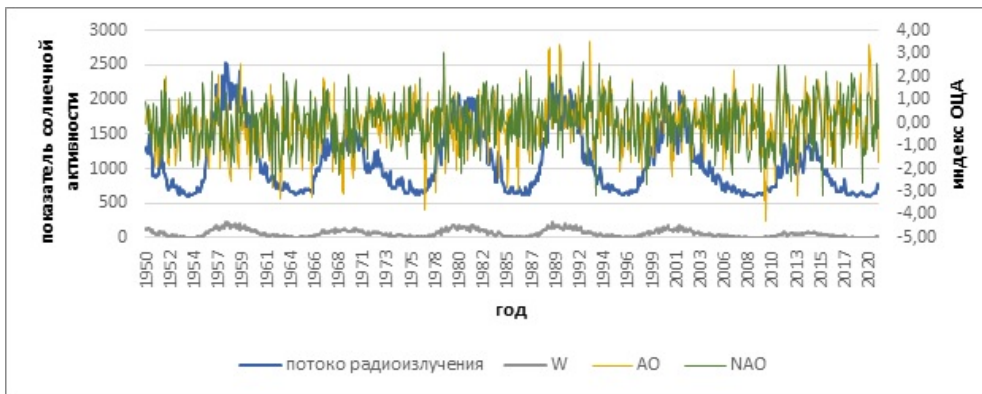


Рис. 1. Связь индексов общей циркуляции атмосферы и факторов солнечной активности

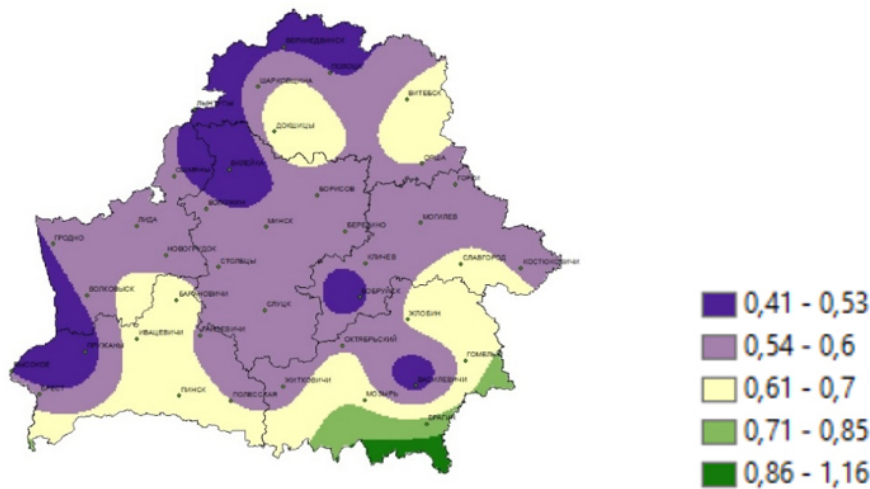


Рис. 2. Коэффициент линейного тренда приземной температуры воздуха за 1977–2019 гг., °C /10 лет

чество пятен (число Вольфа). Солнечная вспышка — это интенсивная вспышка излучения с выбросом магнитной энергии, связанной с солнечными пятнами. Вспышки — это также места, где ускоряются частицы (электроны, протоны и более тяжелые частицы). Поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см (2800 МГц) измеряется в солнечных единицах потока. Данный индекс характеризует изменения температуры и плотности на всем видимом диске Солнца. Его изменения хорошо коррелируют с изменениями чисел Вольфа и суммарной площади пятен, являясь удобной ежедневной характеристикой солнечной активности. Наблюдения показали, что рост вспышечной активности в группах пятен тесно связан с появлением новых всплывающих магнитных потоков, следовательно, важным компонентом будет являться геомагнитная буря. Сравнение характеристик климата и солнечной активности на больших временных масштабах показывает сходство поведения. Когда солнечная активность была высока, отмечались теплые периоды, т. е. температура воздуха возрастала.

Исходя из статистической и численной обработки данных, наблюдается определенная связь между факторами солнечной активности и индексами глобальной циркуляции. За период 1950–2020 гг. наблюдается следующая картина: выражено некое смещение потока радиоизлучения относительно индексов

общей циркуляции, так же как и солнечных вспышек (рис. 1).

Однако если сместить показатели солнечной активности на 2–3 года методом наложенных эпох, наблюдается уже определенная связь в глобальном масштабе (при росте факторов солнечной активности наблюдается рост индексов глобальной циркуляции и т. д.). Это обуславливает влияние факторов солнечной активности на глобальный климат. В некоторых районах становится теплее с увеличением количества пятен на Солнце, а в некоторых — холоднее [Качурин, 1989]. Количество атмосферных осадков тоже изменяется по-разному в глобальном масштабе. В одной и той же местности солнечная активность в разные годы может оказывать на климат разное влияние.

Следует отметить определенную корреляционную связь между температурой воздуха и индексами глобальной циркуляции, но эта связь наиболее ярко выражается на региональном уровне. Для анализа климата на региональном уровне рассматривались территории Беларуси и России. Как показало исследование, корреляция температуры воздуха и индексов АО (арктическое колебание, arctic oscillation) для территории Беларуси в январе в 1950–2019 гг. составляет ~0.5, для NAO (северо-атлантическое колебание, North Atlantic Oscillation) — ~0.5, лишь на юго-востоке страны — ~0.4. Корреляция темпе-

ратуры воздуха и индексов АО для территории Беларуси в июле 1950–2019 гг. составляет  $\sim 0.1$ , для NAO —  $\sim 0.3$ . Для 1977–2019 гг. для температурной нормы характерно уменьшение значений с юго-запада на северо-восток. На крайнем юго-западе (станция Брест) норма составляет  $\sim 8.09$ – $9.67$  °C, а на севере и северо-востоке — от 5.65 до 6.42 °C. Для оценки статистической значимости линейного тренда рассматриваемых климатических характеристик в данном исследовании применялся метод расчета коэффициента линейного тренда, климатические характеристики рассматривались для временного ряда 10 лет. Распределение линейного коэффициента тренда температуры воздуха в 1977–2019 гг. для территории Беларуси имеет положительную тенденцию. Для территории Беларуси максимальные значения 0.86–1.16 °C (10 лет) характерны для крайнего юго-запада, минимальные — для северо-запада; для локальных мест — от 0.41 до 0.53 °C. На большей части территории наблюдается коэффициент 0.54–0.6 °C (рис. 2). Тренды среднегодовой температуры свидетельствуют о потеплении климата на всей территории России и Беларуси. При этом немалую роль здесь играют и индексы общей циркуляции атмосферы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время установлены и подтверждены экспериментально механизмы влияния солнечной активности и геофизических параметров на климат. Некоторые изменения можно описать наличием прямых связей между факторами, определенные — изменениями солнечной постоянной, а также спектрального состава солнечного излучения и интенсивности потока солнечного спектра. С помощью численных и статистических моделей все вышеперечисленные механизмы учитываются при расчете степени их воздействия на климат. Однако воздействие солнечной активности на элементы климата большего масштаба (например, облачности) требуют более детальных эмпирической и модельной оценок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дорожко Н.В. Вопросы моделирования регионального климата на территории Беларуси. *Acta Geographica Silesiana*. 2019. Т. 13, № 4 (36). С. 5–12.
- Дымников В.П., Филатов А.Н. Основы математической теории климата. М.: ВИНТИ, 1994. 252 с.
- Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. и др. Моделирование климата и его изменений. *Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования*. М.: Наука, 2005. Т. 2. С. 38–175.
- Качурин Л. Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы: Л.: Гидрометеоздат, 1989. 464 с.
- Логинов В.Ф., Табальчук Т.Г. Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси. *Природопользование: сб. науч. трудов*. Минск, 2014. Вып. 25. С. 47–52.
- Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP2.6. / G.J. van Oldenborgh [et al.]. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T.F. [et al.]*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013. 159 p.
- URL: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> (дата обращения 18 мая 2022 г.).
- URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast> (дата обращения 18 мая 2022 г.).