
**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ****SPATIAL DISTRIBUTION OF TEMPERATURE DURING
GEOMAGNETIC DISTURBANCES**

А.А. Караханян*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, asha@iszf.irk.ru***С.И. Молодых***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, sim@iszf.irk.ru***A.A. Karakhanyan***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, asha@iszf.irk.ru***S.I. Molodykh***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, sim@iszf.irk.ru*

Аннотация. Предложен показатель эффективности воздействия солнечной активности на температуру тропосферы, который позволяет учесть пространственную неоднородность отклика на солнечное воздействие. В качестве индикатора солнечной активности выбран *PC*-индекс геомагнитной активности, разработанный для контроля магнитного поля Земли в высоких широтах. На основе данных реанализа NCEP/NCAR проведен сравнительный анализ вариаций предложенного показателя и изменений температуры нижней тропосферы во время геомагнитных возмущений. Обнаружено наличие высокой степени связи между температурой в слое 925–700 гПа и предложенным показателем воздействия. Пространственно-временной анализ вариаций показателя и изменений температуры показал, что показатель эффективности воздействия хорошо описывает как величину, так и знак наблюдаемых изменений пространственного распределения температуры нижней тропосферы по сравнению с часто используемыми индексами геомагнитной активности.

Ключевые слова: солнечная активность, геомагнитное возмущение, индекс геомагнитной активности, температура, влажность, солнечно-земные связи.

Abstract. We propose an index of efficiency of the solar activity effect on the tropospheric temperature, which takes into account the spatial irregularity of the response to this effect. As a proxy of solar activity we take the *PC* index of geomagnetic activity, designed to monitor the geomagnetic field at high latitudes. Using NCEP/NCAR reanalysis data, we carry out a comparative analysis of variations in the proposed index and lower-troposphere temperature variations during geomagnetic disturbances. We identify the presence of a high degree of correlation between the temperature in the 925–700 hPa layer and the proposed index of solar activity effect. The spatio-temporal analysis of the index and temperature variations shows that the index of efficiency of the solar activity effect describes well both the value and the sign of the observed variations in the spatial distribution of the lower-troposphere temperature as compared to the frequently used index of geomagnetic activity.

Keywords: solar activity, geomagnetic disturbance, geomagnetic activity index, temperature, humidity, solar-terrestrial relationships.

ВВЕДЕНИЕ

Современные изменения температуры у поверхности Земли [Груза и др., 2015] обусловлены как внутренними причинами изменчивости климатической системы, так и внешними по отношению к системе процессами. Внешние факторы, способные влиять на состояние составляющих климатической системы, могут быть естественными, т. е. связанными, в первую очередь, с влиянием солнечной и вулканической активности, либо являться результатом антропогенного воздействия. Определение роли естественных и антропогенных факторов в изменениях климата поможет дальнейшему развитию прогностических моделей климата.

Вопрос о влиянии Солнца — основного источника энергии на планете — на процессы в нижней атмосфере интересует исследователей уже более столетия. Утверждение, что природные процессы на Земле контролируются солнечной активностью, по-

явилось еще в начале прошлого века. По мере развития представлений о влиянии солнечной активности на различные явления метеорологического и биологического характера [Гульельми, Рубан, 2016] особый интерес приобретает вопрос о физических механизмах реализации солнечно-земных связей. Установлено, что прямое энергетическое воздействие потока солнечного излучения на приповерхностную температуру существенно меньше влияния углекислого газа [Мохов и др., 2012]. Поэтому идут поиски триггерных или параметрических механизмов, при которых небольшие воздействия могут приводить к существенным изменениям природной системы. К таким механизмам можно отнести воздействие на радиационный баланс в тропосфере, обусловленное изменениями глобальной электрической цепи вследствие вариаций солнечного ветра и межпланетного магнитного поля [Жеребцов и др., 2005; Tinsley, 2000; Kniveton et al., 2008]. В ряде па-

бот проводится анализ воздействия галактических космических лучей на аэрозольный и малый газовый состав атмосферы и, как следствие, на процессы в нижней атмосфере [Пудовкин, Распопов, 1992, Svensmark, Friis-Christensen, 1997, Mironova et al., 2015].

Нелинейное воздействие солнечной активности на нижние слои атмосферы может реализовываться в системе общей циркуляции атмосферы. Данные, полученные в работах [Veretenenko, Ogurtsov, 2012, Karakhanyan, Molodykh, 2017], подтверждают, что существует значительная пространственно-временная неоднородность тропосферного отклика на солнечное воздействие, которая может быть связана с циркуляционными процессами в атмосфере. Установлено, что наибольший отклик в тропосфере наблюдается на средних и высоких широтах. Поэтому в качестве параметра, учитывающего данную закономерность, могут рассматриваться индексы, описывающие геомагнитную активность в авроральной зоне — области максимального проявления солнечного влияния. Следует отметить, что в пространственном распределении характеристики геомагнитной активности, обусловленные солнечной активностью, отражают только широтную зависимость, а отклик метеопараметров на солнечное воздействие имеет существенную долготную неоднородность. В связи с этим в настоящей работе предлагается показатель эффективности воздействия, который описывает влияние солнечной активности с учетом состояния тропосферы перед возмущением и во время геомагнитного возмущения.

ДААННЫЕ И МЕТОДИКА АНАЛИЗА

В данной работе в качестве индикатора солнечной активности выбран PC -индекс геомагнитной активности [http://www.geophys.aari.ru/pc_about.html]. PC -индекс разработан для контроля магнитной активности в полярной шапке, обусловленной геоэффективным солнечным ветром, и описывает межпланетное электрическое поле, влияющее на магнитосферу, независимо от мирового времени, сезона и точки наблюдения [Troshichev et al., 1988]. Кроме того, в отличие от планетарного индекса aa [Заболотная, 2007], который рассчитывается по данным двух антиподальных обсерваторий и позволяет описать возмущенность геомагнитного поля в глобальном масштабе, PC -индекс рассчитывается для каждого полушария. Вариации PC -индекса хорошо согласуются с вариациями AL -индекса [Troshichev, Janzhura, 2009].

Согласно модели воздействия солнечной активности на климатическую систему [Жеребцов и др., 2005], отклик тропосферы на гелиогеофизические возмущения определяется не только величиной самого возмущения, которая может характеризоваться индикатором солнечной активности (индексом геомагнитной активности), но и состоянием тропосферы перед возмущением и во время возмущения. В этой модели предполагается, что вариации солнечной активности через изменения параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля влияют на магни-

тосферную конвекцию, которая, в свою очередь, влияет на распределение разности электрического потенциала между ионосферой и Землей. Отметим, что вариации параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля воздействуют также и на геомагнитную активность, именно поэтому ее можно использовать в качестве индикатора солнечной активности. Далее, изменения разности электрических потенциалов ионосфера—Земля приводят к перестройке вертикального профиля объемного электрического заряда, который влияет на состояние водяного пара (основного парникового газа) и, следовательно, на радиационный баланс. Поскольку в соответствии с физической схемой, предложенной в работе [Жеребцов и др., 2005], изменения радиационного баланса в тропосфере, обусловленные воздействием гелиогеофизических возмущений, связаны с изменением состояния водяного пара в атмосфере, можно ожидать, что отклик тропосферы на возмущения должен зависеть от содержания водяного пара в данной области. В качестве характеристики содержания водяного пара в атмосфере в данной работе мы использовали абсолютную влажность.

Показатель эффективности воздействия солнечной активности, учитывающий пространственную неоднородность отклика на солнечное воздействие как по широте, так и по долготе, рассчитывается по следующей формуле:

$$A = k a \log |PC| \exp\left(-(\varphi - \varphi_0)^2 / d\varphi^2\right),$$

где k — масштабный множитель; a — аномалии абсолютной влажности; PC — индекс геомагнитной активности; φ — географическая широта; φ_0 — географическая широта максимума воздействия ($\varphi_0 = 60^\circ$); $d\varphi$ — коэффициент, характеризующий полуширину области воздействия ($d\varphi = 20^\circ$). Поскольку PC -индекс характеризует степень магнитной возмущенности в полярной шапке в целом, в формулу введен дополнительный множитель $\exp(-(\varphi - \varphi_0)^2 / d\varphi^2)$, учитывающий широтную зависимость. Кроме того, вместо самого PC -индекса мы используем $\log |PC|$, что обусловлено большим диапазоном изменений PC -индекса.

На основе данных реанализа NCEP/NCAR [Kalnay et al., 1996], предоставленных NOAA/OAR/ESRL PSD [<https://www.esrl.noaa.gov/psd/>], по предложенной формуле были построены карты показателя эффективности солнечного воздействия во время гелиогеофизических возмущений (с учетом водяного пара). При этом средние суточные распределения аномалий абсолютной влажности в слое 925–700 гПа рассчитывались как отклонения от среднего за пятнадцать дней до начала возмущения.

Для проведения сравнительного анализа нами построены на основе данных реанализа NCEP/NCAR средние суточные карты аномалий температуры в слое 925–700 гПа, рассчитанных как отклонения от среднего за пятнадцать дней (приблизительно два синоптических периода жизни барических образований) до начала возмущения. Синоптический период циклонов и антициклонов составляет от трех до десяти дней. Выбор среднего по двум синоптическим

Коэффициенты линейной корреляции между изменениями аномалий температуры и показателя воздействия для различных областей во время возмущений

Дата вспышки	*Координаты центров областей с повышенной температурой в день 0 возмущения	Коэффициент корреляции для областей с повышенной температурой, R_{T_A}	*Координаты центров областей с пониженной температурой в день 0 возмущения	Коэффициент корреляции для областей с пониженной температурой, R_{T_A}
22.03.2002	60° N, 130° W	0.90±0.18	80° N, 135° W	0.93±0.15
	65° N, 40 W	0.94±0.14	50° N, 15° E	0.90±0.18
16.04.2002	50° N, 160° W	0.68±0.26	65° N, 165° E	0.96±0.10
16.06.2005	65° N, 100° W	0.91±0.17	55° N, 120° W	0.64±0.31
	50° N, 15° E	0.88±0.18	65° N, 60° E	0.85±0.20
07.09.2005	70° N, 180° E	0.90±0.18	75° N, 90° W	0.97±0.10
	80° N, 105° E	0.51±0.35	65° N, 140° E	0.56±0.34
	55° N, 50° W	0.78±0.26	70° N, 45° E	0.93±0.15

*В таблице приведены координаты центров рассматриваемых областей, размер которых составляет 5°×5°.

периодам в качестве нормы для расчета аномалий обусловлен попыткой минимизировать влияние на результаты анализа как синоптических процессов, так и сезонной вариации. Отметим, что наличие долговременных вариаций солнечной активности (с периодами более 30 лет) не позволяет использовать стандартную норму с 1961 по 1990 г. для учета сезонного хода.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для сопоставления пространственного распределения предлагаемого показателя эффективности воздействия с распределением аномалий температуры нами были построены последовательности карт этих параметров для ряда гелиогеофизических возмущений, во время которых среднесуточные значения PC -индекса >1.5 (см. таблицу). В качестве примера на рис. 1 представлено изменение пространственного распределения аномалий температуры и показателя воздействия во время геомагнитного возмущения, связанного с солнечной вспышкой 07.09.2005. Результаты сравнительного анализа показали сходство изменений пространственного распределения температуры и показателя эффективности воздействия. Отчетливо видно несколько четко выраженных областей положительных и отрицательных изменений рассматриваемых характеристик. Пространственное распределение коэффициента корреляции между аномалиями температуры и показателем эффективности воздействия приведено на рис. 2. Подобие в изменении пространственного распределения температуры и предложенного показателя свидетельствует о том, что показатель эффективности воздействия действительно отражает пространственную структуру отклика температуры на геомагнитное возмущение.

Представляется интересным рассмотреть временную динамику аномалий температуры и показателя воздействия для различных областей во время данного возмущения. Для анализа выбирались области с наибольшей амплитудой вариаций рассматриваемых параметров. Анализ показал, что во время возмущений в различных областях временные изменения аномалий температуры подобны изменениям показателя эффективности воздействия (см. таблицу). На рис. 3 представлен усредненный временной ход

аномалий температуры, вариаций показателя эффективности воздействия, вариаций PC - и aa -индексов геомагнитной активности для областей с повышенной температурой. Данные, приведенные на рис. 3, показывают, что увеличение показателя эффективности воздействия сопровождается повышением температуры в этих областях. Отметим, что для данных областей учет водяного пара в показателе эффективности воздействия приводит к увеличению коэффициента линейной корреляции ($R=0.94±0.14$), при этом коэффициент корреляции между изменением температуры и вариациями индексов геомагнитной активности составляет $0.80±0.24$. На рис. 4 представлен временной ход аномалий температуры, вариаций показателя эффективности воздействия, вариаций PC - и aa -индексов, усредненный для областей с пониженной температурой. Сравнительный анализ данных, приведенных на рис. 4, показывает, что уменьшение показателя эффективности воздействия сопровождается понижением температуры. Для областей с пониженной температурой учет водяного пара приводит к тому, что температуры и показателя эффективности воздействия ($R=0.92±0.16$) коррелируют. Следует отметить, что в областях с пониженной температурой изменения температуры антикоррелируют с вариациями PC - и aa -индексов ($R=-0.68±0.30$).

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Предложен показатель эффективности внешнего воздействия, который описывает влияние солнечной активности на тропосферу с учетом пространственной неоднородности тропосферного отклика на солнечное воздействие как в широтном, так и в долготном направлении.
2. Полученные результаты анализа пространственно-временной структуры изменений температуры и вариаций показателя эффективности воздействия свидетельствуют о высокой степени связи между температурой и предложенным показателем воздействия.
3. Предложенный показатель эффективности воздействия хорошо описывает наблюдаемые изменения

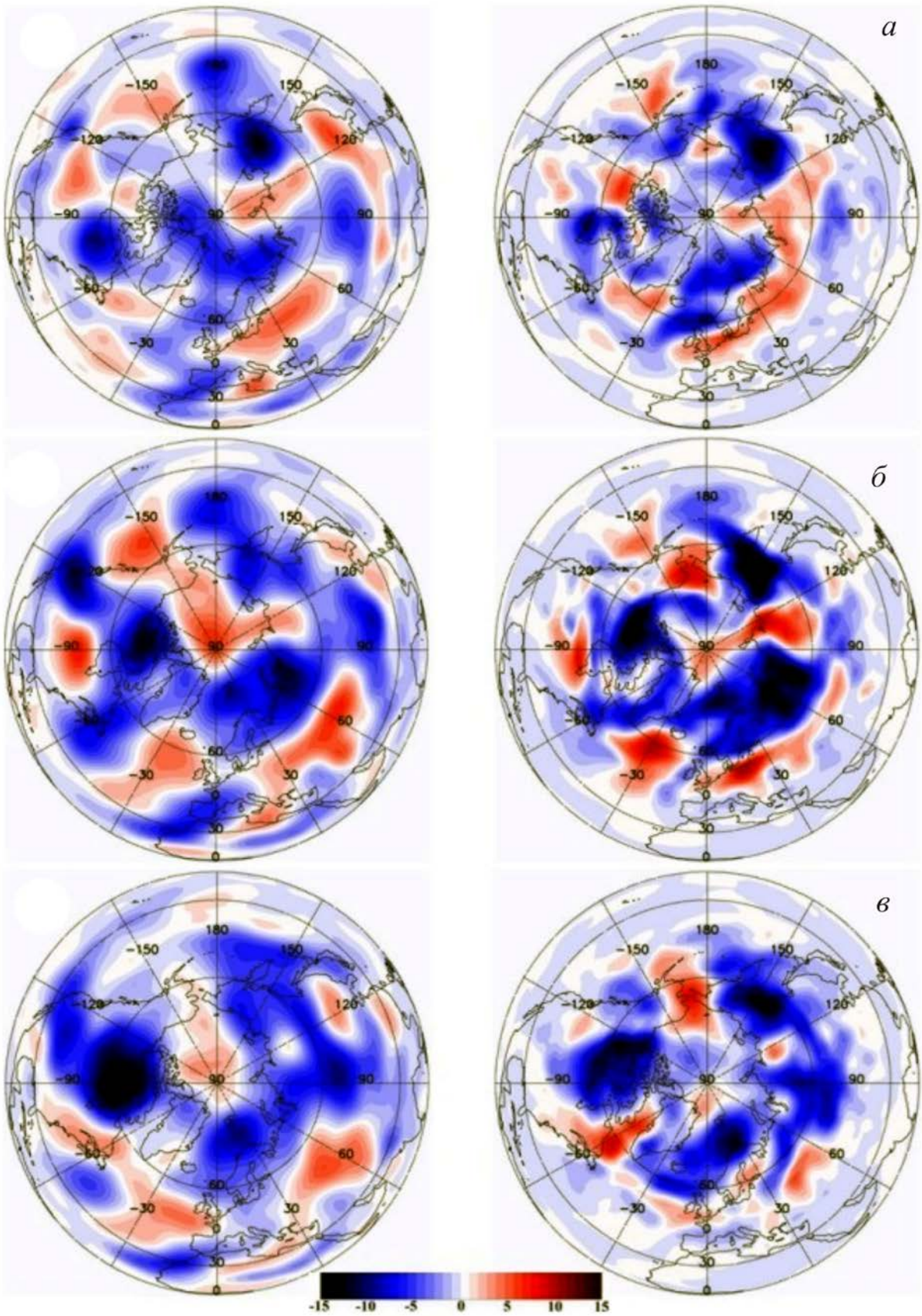


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий температуры (слева) и показателя воздействия (справа) во время геомагнитного возмущения: а — начало возмущения (08.09.2005); б — максимум (11.09.2005); в — окончание (14.09.2005)

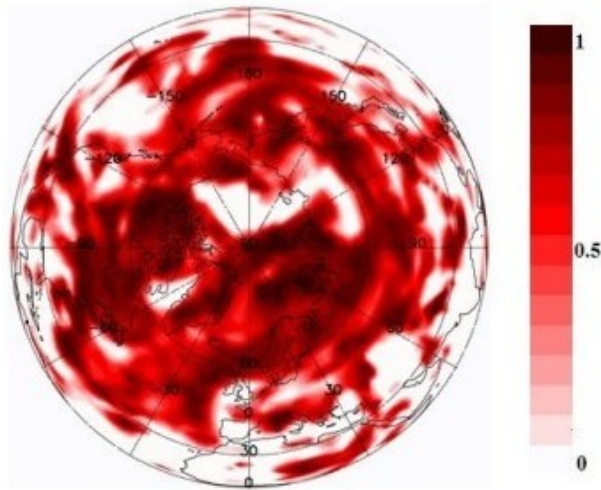


Рис. 2. Пространственное распределение коэффициента корреляции между аномалиями температуры и показателем эффективности воздействия во время геомагнитного возмущения, связанного с солнечной вспышкой 07.09.2005

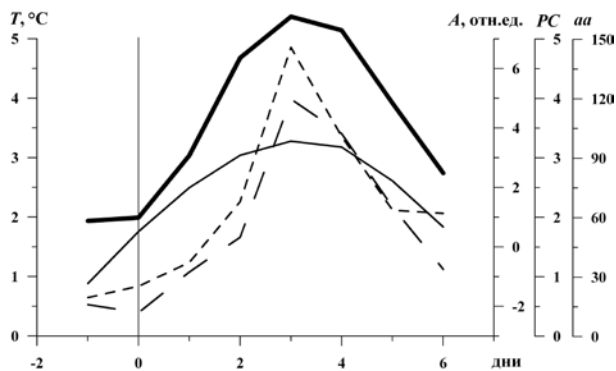


Рис. 3. Временной ход аномалий температуры (тонкая линия), показателя эффективности воздействия (толстая линия), вариаций PC-индекса (короткие штрихи) и aa-индекса (длинные штрихи) для областей с повышенной температурой во время геомагнитного возмущения. 0 — день начала геомагнитного возмущения (08.09.2005)

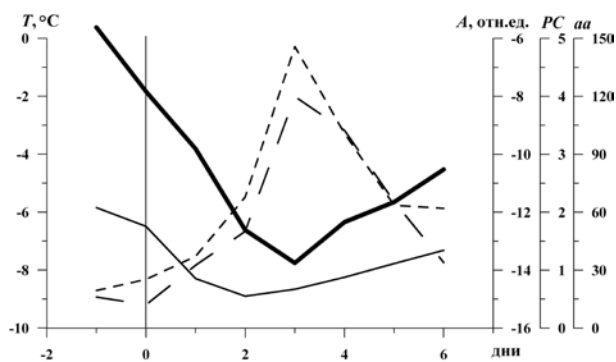


Рис. 4. Временной ход аномалий температуры (тонкая линия), показателя эффективности воздействия (толстая линия), вариаций PC-индекса (короткие штрихи) и aa-индекса (длинные штрихи) для областей с пониженной температурой во время геомагнитного возмущения. 0 — день начала геомагнитного возмущения (08.09.2005)

пространственного распределения температуры в нижней тропосфере как по величине, так и по знаку по сравнению с часто используемыми индексами геомагнитной активности.

Авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т. 2. С. 41–62.

Гульельми А.В., Рубан В.Ф. К 120-летию со дня рождения А.Л. Чижевского // *Солнечно-земная физика*. 2016. V. 2, N 4. P. 98–103. DOI: [10.12737/21347](https://doi.org/10.12737/21347).

Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы земли // *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18, № 12. С. 1042–1050.

Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности // *Справочное пособие*. Изд. 2. М.: Издательство ЛКИ, 2007. 88 с.

Мохов И.И., Смирнов Д.А., Карпенко А.А. Оценки связи глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // *Доклады академии наук*. 2012. Т. 443, № 2. С. 225–231.

Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры (обзор) // *Геомагнетизм и аэронаука*. 1992. Т. 32, № 5. С. 1–22.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. V. 77, N 3. P. 437–470. DOI: [10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2).

Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Evolution of extratropical cyclones during disturbed geomagnetic conditions // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2017. V. 57, N 5. P. 535–540. DOI: [10.1134/S0016793217050115](https://doi.org/10.1134/S0016793217050115).

Kniveton D.R., Tinsley B.A., Burns G.B., et al. Variations in global cloud cover and the fair-weather vertical electric field // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2008. V. 70, N 13. P. 1633–1642. DOI: [10.1016/j.jastp.2008.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2008.07.001).

Mironova I.A., Aplin K.L., Arnold F., et al. Energetic Particle Influence on the Earth's Atmosphere // *Space Sci. Rev.* 2015. V. 194, N 1–4. P. 1–96. DOI: [10.1007/s11214-015-0185-4](https://doi.org/10.1007/s11214-015-0185-4).

Svensmark H., Friis-Christensen E. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage — a missing link in solar-climate relationships // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 1997. V. 59, N 11. P. 1225–1232. DOI: [10.1016/S1364-6826\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(97)00001-1).

Tinsley B.A. Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere // *Space Sci. Rev.* 2000. V. 94, N 1–2. P. 231–258.

Troshichev O.A., Janzhura A. Relationship between the PC and AL indices during repetitive bay-like magnetic disturbances in the auroral zone // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2009. V. 71, N 12. P. 1340–1352. DOI: [10.1016/j.jastp.2009.05.017](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.05.017).

Troshichev O.A., Andrezen V.G., Vennerstrom S., Friis-Christensen E. Magnetic activity in the polar cap — a new index // *Planet. Space Sci.* 1988. V. 36, N 11. P. 1095–1102. DOI: [10.1016/0032-0633\(88\)90063-3](https://doi.org/10.1016/0032-0633(88)90063-3).

Veretenenko S.V., Ogurtsov M.G. Study of spatial and temporal structure of long-term effects of solar activity and cosmic ray variations on the lower atmosphere circulation // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2012. V. 52, N 5. P. 591–602. DOI: [10.1134/S0016793212050143](https://doi.org/10.1134/S0016793212050143).

URL: http://www.geophys.aari.ru/pc_about.html (дата обращения 11 мая 2018 г.).

URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd> (дата обращения 11 мая 2018 г.).

REFERENCES

- Gruza G.V., Rankova E.Ya., Rocheva E.V., Smirnov V.D. Geographic and seasonal features of the present global warming. *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and Applied Climatology]. 2015, vol. 2, pp. 41–62. (In Russian).
- Guglielmi A.V., Ruban V.F. To the 120th anniversary of A.L. Chizhevsky's birth. *Solar-Terr. Phys.* 2016, vol. 2, no. 4, pp. 126–133. DOI: [10.12737/24279](https://doi.org/10.12737/24279).
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996, vol. 77, no. 3, pp. 437–470. DOI: [10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2).
- Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Evolution of extratropical cyclones during disturbed geomagnetic conditions. *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017, vol. 57, no. 5, pp. 535–540. DOI: [10.1134/S0016793217050115](https://doi.org/10.1134/S0016793217050115).
- Kniveton D.R., Tinsley B.A., Burns G.B., Bering E.A., Troshichev O.A. Variations in global cloud cover and the fair-weather vertical electric field. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2008, vol. 70, no. 13, pp. 1633–1642. DOI: [10.1016/j.jastp.2008.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2008.07.001).
- 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 Sci. Rev.* 2015, vol. 194, no. 1–4, pp. 1–96. DOI: [10.1007/s11214-015-0185-4](https://doi.org/10.1007/s11214-015-0185-4).
- Mokhov I.I., Smirnov D.A., Karpenko A.A. Assessments of the relationship of changes of the global surface air temperature with different natural and anthropogenic factors based on observations // *Doklady Earth Sciences.* 2012, vol. 443, no. 1, pp. 381–387. DOI: [10.1134/S1028334X12030178](https://doi.org/10.1134/S1028334X12030178).
- Pudovkin M.I., Raspopov O.M. Mechanism of the solar activity effect on the low atmosphere state and meteoroparameters (Overview). *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 1992, vol. 32, no. 5, pp. 1–22. (In Russian).
- Svensmark H., Friis-Christensen E. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage — a missing link in solar-climate relationships. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 1997, vol. 59, no. 11, pp. 1225–1232. DOI: [10.1016/S1364-6826\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(97)00001-1).
- Tinsley B.A. Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere. *Space Sci. Rev.* 2000, vol. 94, no. 1–2, pp. 231–258.
- Troshichev O.A., Andrezen V.G., Vennerstrom S., Friis-Christensen E. Magnetic activity in the polar cap — A new index. *Planet. Space Sci.* 1988, vol. 36, no. 11, pp. 1095–1102. DOI: [10.1016/0032-0633\(88\)90063-3](https://doi.org/10.1016/0032-0633(88)90063-3).
- Troshichev O.A., Janzhura A. Relationship between the PC and AL indices during repetitive bay-like magnetic disturbances in the auroral zone. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2009, vol. 71, no. 12, pp. 1340–1352. DOI: [10.1016/j.jastp.2009.05.017](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.05.017).
- Veretenenko S.V., Ogurtsov M.G. Study of spatial and temporal structure of long-term effects of solar activity and cosmic ray variations on the lower atmosphere circulation. *Geomagnetism and Aeronomy.* 2012, vol. 52, no. 5, pp. 591–602. DOI: [10.1134/S0016793212050143](https://doi.org/10.1134/S0016793212050143).
- Zabolotnaya N.A. *Indeksy geomagnitnoi aktivnosti. Spravochnoe posobie* [Geomagnetic Activity Indices]. Handbook. 2-nd Edition. Moscow, LKI Publ., 2007, 88 p. (In Russian).
- Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I., Rubtsova O.A. The model of solar activity effect on climatic characteristics of the Earth's troposphere. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2005, vol. 18, no. 12, pp. 1042–1050. (In Russian).
URL: http://www.geophys.aari.ru/pc_about.html (accessed May 11, 2018).
- URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd> (accessed May 11, 2018).

Как цитировать эту статью

Караханян А.А., Молодых С.И. Пространственное распределение температуры во время геомагнитных возмущений. *Солнечно-земная физика.* 2018. Т. 4, № 4. С. 76–81. DOI: [10.12737/szf-44201808](https://doi.org/10.12737/szf-44201808).