DOI: https://doi.org/10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

Влияние компонентов солнечной радиации на парциальную плотность кислорода приземного слоя воздуха в субарктическом и субтропическом регионах

О.Н. Рагозин[1], Л. Мутэло[2], Е.Ю. Шаламова[1], А.Б. Гудков[3], И.А. Погонышева[4], Э.Р. Рагозина[1], Д.А. Погонышев[4]

[1] Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Россия;
[2] Университет Лимпопо, Полокване, Южно-Африканская Республика;
[3] Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;
[4] Нижневартовский государственный университет, Нижневартовск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения и солнечного ветра. Она имеет нелинейный характер во время вспышек, когда наблюдается усиление волнового излучения и выброс мощных потоков заряженных частиц. Увеличение интенсивности солнечной радиации изменяет световой и тепловой баланс Земли, геомагнитную активность, влияет на погоду и кислородный статус.

Цель. Оценить влияние компонентов солнечной радиации на динамику парциальной плотности кислорода в субарктическом и субтропическом регионах в зависимости от уровня солнечной активности.

Материалы и методы. Сведения о числе солнечных пятен получены из материалов Королевской обсерватории Бельгии. Для оценки уровня солнечной радиации, планетарного магнитного индекса (Ap) и локального индекса геомагнитной активности (K) использовали данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации. Значения парциальной плотности кислорода определяли расчётным методом с учётом температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха. Сравнивали данные 2007 г. (низкая солнечная активность) и 2001 г. (высокая солнечная активность). Для математической обработки применяли вейвлет-анализ.

Результаты. Мезор, амплитуда и автокорреляция солнечной радиации на Севере в 2001 г. не отличаются от данных, зарегистрированных в 2007 г. В субтропиках мезор и амплитуда солнечной радиации значимо выше, но автокорреляция снижена, что свидетельствует о нарушении структуры временно́го ряда. Величина коэффициента синхронизации демонстрирует заметную взаимосвязь солнечной радиации и парциальной плотности кислорода в год активного и спокойного Солнца на Севере и слабую синхронизацию в субтропиках в год с низкой солнечной активностью. Синхронизация индексов Ap и K в Полокване растёт при повышении солнечной активности от очень слабой до средней; величина коэффициента синхронизации Ap и парциальной плотности кислорода и K и парциальной плотности кислорода указывает на очень слабую взаимосвязь магнитных индексов и парциальной плотности кислорода вне зависимости от солнечной активности. В Ханты-Мансийске синхронизация между индексами Ap и K остаётся слабой, величина коэффициента синхронизации Ap и парциальной плотности кислорода незначимо растёт с повышением солнечной активности, а синхронизация K и парциальной плотности кислорода с ростом солнечной активности снижается со слабой до очень слабой.

Заключение. В обоих географических регионах в год спокойного Солнца выявлена значимая взаимосвязь колебаний солнечной радиации и парциальной плотности кислорода. В субтропиках рост солнечной активности характеризуется снижением взаимосвязи солнечной радиации и парциальной плотности кислорода. Статистически значимая синхронизация колебаний парциальной плотности кислорода и планетарной и локальной магнитной активности колеблется от слабой до очень слабой вне зависимости от уровня солнечной активности и географической широты.

Ключевые слова: экстремальные погодные условия; солнечная активность; геомагнитная активность; кислород; Север; субтропики.

Как цитировать:
Рагозин О.Н., Мутэло Л., Шаламова Е.Ю., Гудков А.Б., Погонышева И.А., Рагозина Э.Р., Погонышев Д.А. Влияние компонентов солнечной радиации на парциальную плотность кислорода приземного слоя воздуха в субарктическом и субтропическом регионах // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 80–89. DOI: 10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

Рукопись поступила: 24.04.2025 **Рукопись одобрена:** 20.05.2025 **Опубликована online:** 17.06.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Распространяется на условиях лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

The Effect of Solar Radiation Components on the Partial Density of Surface Air Oxygen in Subarctic and Subtropical Regions

Oleg N. Ragozin[1], Livhuwani Muthelo[2], Elena Yu. Shalamova[1], Andrei B. Gudkov[3], Irina A. Pogonysheva[4], Elina R. Ragozina[1], Denis A. Pogonyshev[4]

[1] Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;
[2] University of Limpopo, Polokwane, South Africa;
[3] Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;
[4] Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Solar radiation consists of electromagnetic radiation and the solar wind. It becomes nonlinear during solar flares, with increased wave radiation and the emission of large amounts of charged particles. Increased solar radiation intensity alters the Earth's light and thermal balance and geomagnetic activity, affecting both weather and oxygen status.

AIM: To assess the effect of solar radiation components on changes in partial oxygen density in subarctic and subtropical regions, depending on the level of solar activity.

METHODS: Sunspot data were obtained from the Royal Observatory of Belgium. Solar radiation levels, the planetary magnetic index (Ap), and the local geomagnetic activity index (K) were assessed using data from the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information. Partial oxygen density was calculated based on air temperature, atmospheric pressure, and relative air humidity. Data from 2007 (low solar activity) and 2001 (high solar activity) were compared. Wavelet analysis was used for mathematical processing.

RESULTS: In the North, the mesor, amplitude, and autocorrelation of solar radiation in 2001 did not differ from those recorded in 2007. In subtropical regions, the mesor and amplitude of solar radiation were significantly higher, whereas autocorrelation was lower, indicating a disruption of time series. The synchronization coefficient demonstrated a strong correlation between solar radiation and partial oxygen density in both high and low solar activity years in the North, and a weak synchronization in the subtropics during the year of low solar activity. Synchronization of the Ap and K indices in Polokwane increased as solar activity rose from very low to moderate. The synchronization coefficients for Ap and partial oxygen density, as well as K and partial oxygen density, indicated a very weak correlation between magnetic indices and partial oxygen density, regardless of solar activity. In Khanty-Mansiysk, synchronization between the Ap and K indices remained weak. The synchronization coefficient for Ap and partial oxygen density showed a non-significant increase with rising solar activity, whereas synchronization between K and partial oxygen density decreased from weak to very weak as solar activity increased.

CONCLUSION: During the year of low solar activity, both geographic regions showed a significant correlation between solar radiation fluctuations and partial oxygen density. In subtropical regions, increasing solar activity was associated with a weaker correlation between solar radiation and partial oxygen density. Significant synchronization between fluctuations in partial oxygen density and planetary or local magnetic activity ranged from weak to very weak, regardless of solar activity levels or geographic latitude.

Keywords: extreme weather conditions; solar activity; geomagnetic activity; oxygen; North; subtropics.

To cite this article:
Ragozin ON, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Pogonysheva IA, Ragozina ER, Pogonyshev DA. The effect of solar radiation components on the partial density of surface air oxygen in subarctic and subtropical regions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(2):80–89. DOI: 10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

Received: 24.04.2025 **Accepted:** 20.05.2025 **Published online:** 17.06.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

太阳辐射成分对亚北极和亚热带地区近地空气层氧密度的影响

Oleg N. Ragozin[1], Livhuwani Muthelo[2], Elena Yu. Shalamova[1], Andrei B. Gudkov[3], Irina A. Pogonysheva[4], Elina R. Ragozina[1], Denis A. Pogonyshev[4]

[1] Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;
[2] University of Limpopo, Polokwane, South Africa;
[3] Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;
[4] Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

摘要

证。太阳辐射由电磁辐射和太阳风组成。在太阳耀斑期间，其表现出非线性特征，伴有电磁波辐射增强以及大量带电粒子的释放。太阳辐射强度的增加会改变地球的光热平衡和地磁活动，进而影响天气状况和氧气状态。

目的。根据太阳活动水平，评估太阳辐射不同成分对亚北极和亚热带地区氧密度动态变化的影响。

材料与方法。关于太阳黑子数的数据来自Royal Observatory of Belgium公开发布的资料。太阳辐射强度、行星磁指数（Ap）和局部地磁活动指数（K）的数据取自All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information。氧密度根据温度、大气压和相对湿度计算得出。比较了2007年（太阳活动低年）与2001年（太阳活动高年）的数据。数学分析采用小波分析法。

结果。在2001年北方地区，太阳辐射的平均值、振幅和自相关性与2007年无显著差异。而在亚热带地区，其平均值和振幅明显较高，自相关性降低，表明时间序列结构受到扰动。同步系数的数值显示，在太阳活动活跃年和太阳活动平静年，北方地区的太阳辐射与氧密度之间存在显著相关性，而在太阳活动较低的年份，亚热带地区则表现出较弱的同步性。在Polokwane，随着太阳活动水平从极低升高至中等，Ａｐ指数与Ｋ指数的同步性增强；然而，Ａｐ与氧密度、Ｋ与氧密度之间的同步系数显示，无论太阳活动水平如何，这些地磁指数与氧密度之间的相关性始终极弱。在Khanty-Mansiysk，Ａｐ指数与Ｋ指数之间的同步性仍然较弱；随着太阳活动增强，Ａｐ与氧密度之间的同步系数略有上升，而Ｋ与氧密度之间的同步性则从弱下降至极弱。

结论。在两个地理区域的太阳平静年，太阳辐射与氧密度的波动之间表现出显著的相关性。在亚热带地区，太阳活动增强时，太阳辐射与氧密度之间的相关性减弱。不论太阳活动水平或地理纬度如何，氧密度与行星磁活动和局部磁活动之间的统计学显著同步性均处于由弱至极弱的范围。

关键词：极端气象条件；太阳活动；地磁活动；氧气；北方；亚热带。

引用本文：
Ragozin ON, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Pogonysheva IA, Ragozina ER, Pogonyshev DA. 太阳辐射成分对亚北极和亚热带地区近地空气层氧密度的影响. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(2):80–89. DOI: 10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

收到: 24.04.2025 **接受:** 20.05.2025 **发布日期:** 17.06.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения во всём его спектральном диапазоне [1] и солнечного ветра — слабого потока электронов, протонов, ядер гелия, представляющего радиальное истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство [2], имеющего нелинейный, нестационарный и нелокальный характер [3].

Во время солнечных вспышек наблюдается усиление волнового солнечного излучения на разных частотах, из солнечной атмосферы выбрасываются в межпланетное пространство потоки электронов, протонов, ядер гелия, энергия и скорость которых намного больше, чем у частиц солнечного ветра. Фотоны от вспышки достигают Земли примерно за 8,5 мин, далее в течение нескольких десятков минут до земной поверхности доходят мощные потоки заряженных частиц, а облака плазмы от солнечной вспышки достигают нашей планеты только через двое-трое суток [4]. Увеличение интенсивности электромагнитного излучения и скорости потоков заряженных частиц изменяет световой и тепловой баланс, геомагнитную активность, влияет на погоду, кислородный статус и состояние биосферы [5], что и определяет актуальность исследования.

Цель исследования. Оценить влияние компонентов солнечной радиации на динамику парциальной плотности кислорода (ППК) в субарктическом и субтропическом регионах в зависимости от уровня солнечной активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотренные в исследовании города характеризуются разными климатическими особенностями: Ханты-Мансийск — Российская Федерация, субарктический регион с резко-континентальным климатом, Полокване — ЮАР, субтропический регион с умеренными изменениями фотопериода и стабильным климатом круглый год. Такой выбор позволил сравнить влияние региональных климатических различий на динамику компонентов солнечной радиации, геомагнитных индексов и ППК в разные периоды солнечной активности.

Ханты-Мансийск — столица Ханты-Мансийского автономного округа — Югры; координаты 61° с.ш. 69° в.д. Климат резко-континентальный. В течение года наблюдаются выраженные изменения фотопериода: минимальная продолжительность светового дня отмечена 22 декабря и достигает 5 ч 32 мин, летом во время белых ночей светлое время суток составляет 19 ч 17 мин[1].

Полокване — административный центр муниципалитета Полокване, района имени Тропика Козерога и провинции Лимпопо (ЮАР); координаты 23° ю.ш. 29° в.д. Лето с большим количеством осадков в Лимпопо продолжается с ноября по март (~5 мес.). Зима длится с июня по август (~3 мес.), осадки практически не выпадают. В провинции обильное солнечное освещение в течение всего года, особенно зимой. Сезонные вариации фотопериода незначительны, в пределах 3 ч (световой день 22 июня — 10 ч 39 мин, 22 декабря — 13 ч 36 мин)[2].

Данные об относительном ежедневном числе солнечных пятен (число Вольфа — W) получены из общедоступных материалов Королевской обсерватории Бельгии (Брюссель)[3]. Сравнивали 2007 г. как один из наиболее спокойных периодов 23-го цикла солнечной активности (среднемесячный сглаженный минимум W составляет 2,2) и 2001 г. — год активного Солнца (W — 180,3). Для оценки годовой динамики уровня солнечной радиации (Вт/м^2), планетарного магнитного индекса (Ар, нТл), локального индекса геомагнитной активности (К, баллы) использовали материалы Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных[4].

Для расчёта ППК (г/м^3), или весового содержания кислорода, использовали ежедневные среднесуточные значения температуры окружающего воздуха (Т, °С), атмосферного давления (Р, мм рт. ст.) и относительной влажности (φ, %). ППК прямо пропорциональна атмосферному давлению за вычетом парциального давления водяного пара и обратно пропорциональна температуре воздуха: ППК=83×(Р–φ)/Т. Наблюдается прямая корреляция ППК с парциальным давлением кислорода во вдыхаемом и альвеолярном воздухе.

Для оценки временны́х рядов применяли вейвлет-анализ, который идентифицирует устойчивые циклические составляющие, отражающие долгосрочные глобальные явления, исключая кратковременные или местные события[5]. По результатам вейвлетного преобразования можно судить, как меняется спектральный состав временно́го ряда со временем. Определяли средний уровень показателя (мезор, M±m), амплитуду ритма (эквивалент энергии; А, усл. ед.), периоды постоянных и вставочных (квантованных) ритмов (сут), коэффициент синхронизации (r_s, усл. ед.) анализируемых временны́х рядов. Статистическую значимость ритмов оценивали путём многократной (5000) случайной перестановки уровней исходного временно́го ряда. Приведённая *p* показывает долю случаев, когда

[1] Ханты-Мансийский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Режим доступа: http://www.ugrameteo.ru Дата обращения: 17.03.2025.

[2] Green Book: Adapting South African Settlements to Climate Change. Режим доступа: https://greenbook.co.za Дата обращения: 17.03.2025.

[3] WDC-SILSO. Royal Observatory of Belgium, Brussels. Режим доступа: http://www.sidc.be/silso/datafiles Дата обращения: 17.03.2025.

[4] Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных. Режим доступа: http://meteo.ru Дата обращения: 17.03.2025.

[5] Программа исследования биологических ритмов методом вейвлет-анализа. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611398 от 03.02.2014.

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco678873

энергия выделенной частотной составляющей в исходном ряду превышала соответствующую энергию в случайной перестановке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среднегодовой уровень (мезор), амплитуда ритма и автокорреляция солнечной радиации в Ханты-Мансийске в год активного Солнца (2001 г.) составляют соответственно: 217,61±9,10 Вт/м^2 / 77 517,92 усл. ед. / 0,84 и практически не отличаются от данных, зарегистрированных в год спокойного Солнца 23-го цикла солнечной активности (2007 г.): 217,14±9,47 Вт/м^2 / 79 784,86 / 0,84 (здесь и далее: мезор / амплитуда / автокорреляция; рис. 1). Спектр постоянных и вставочных ритмов в 2001 г. следующий: 291,1 / 47,62 / 0,001; 147,6 / 1,56 / 0,007; 105,1 / 1,04 / 0,019; 66,8 / 1,04 / 0,012. Ритмическая структура солнечной радиации в 2007 г. немногим отличается от года активного Солнца: 291,1 / 37,3 / 0,001; 105,1 / 3,09 / 0,001; 66,8 / 2,07 / 0,001 (здесь и далее при описании ритмов: период (сут) / амплитуда / значимость).

В субтропическом регионе (Полокване) мезор и амплитуда солнечной радиации в анализируемые годы значимо различаются (p=0,038): 2001 г. — 756,42±14,84 Вт/м^2 / 652238,79 усл. ед.; 2007 г. — 854,42±13,48 Вт/м^2 / 796216,60 усл. ед. (рис. 2). Обращают на себя внимание и низкие значения коэффициента автокорреляции (2001 г. — 0,32; 2007 г. — 0,49) в сравнении с северным регионом, что свидетельствует о нарушении структуры временнóго ряда и присутствии в нём короткопериодных составляющих.

В сравнении с северным регионом в Полокване наблюдается полиритмия за счёт короткопериодных низкоамплитудных составляющих: 2001 г. — 291,1 / 6,15 / 0,001; 66,8 / 1,26 / 0,006; 19,2 / 1,18 / 0,001; 117,7 / 1,13 / 0,013; 53,3 / 1,07 / 0,010; 27,0 / 1,60 / 0,028; 18,0 / 0,66 / 0,060; 2007 г. — 291,1 / 9,92 / 0,001; 59,7 / 1,54 / 0,001;

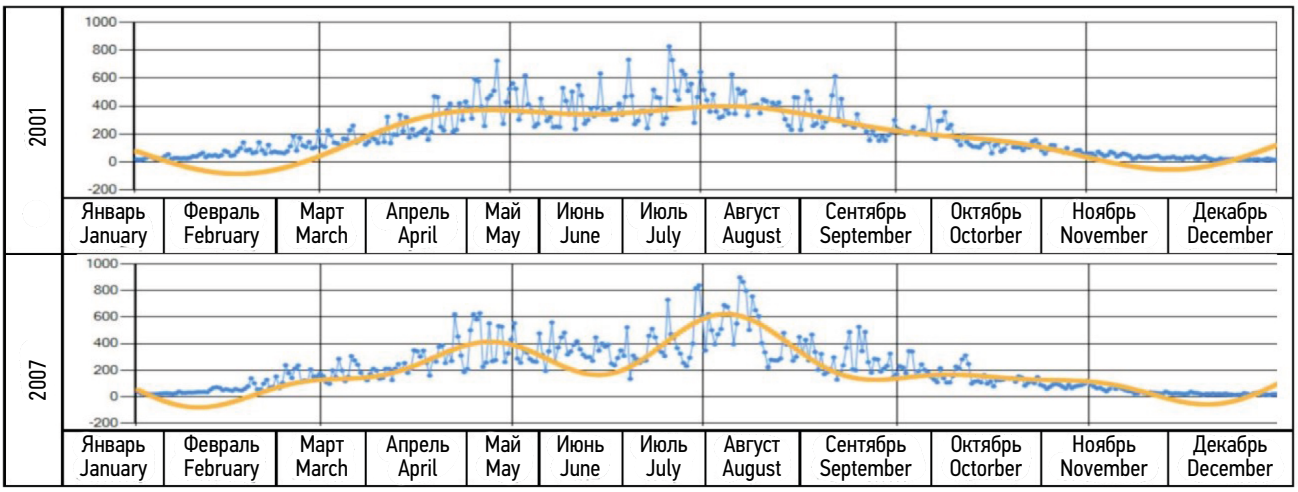

Рис. 1. Окологодовая динамика солнечной радиации в Ханты-Мансийске в 2001 и 2007 гг.: ось абсцисс — месяцы; ось ординат — величина солнечной радиации (Вт/м^2).
Fig. 1. Circannual changes in solar radiation in Khanty-Mansiysk in 2001 and 2007: X-axis, months; Y-axis, solar radiation intensity (W/m^2).

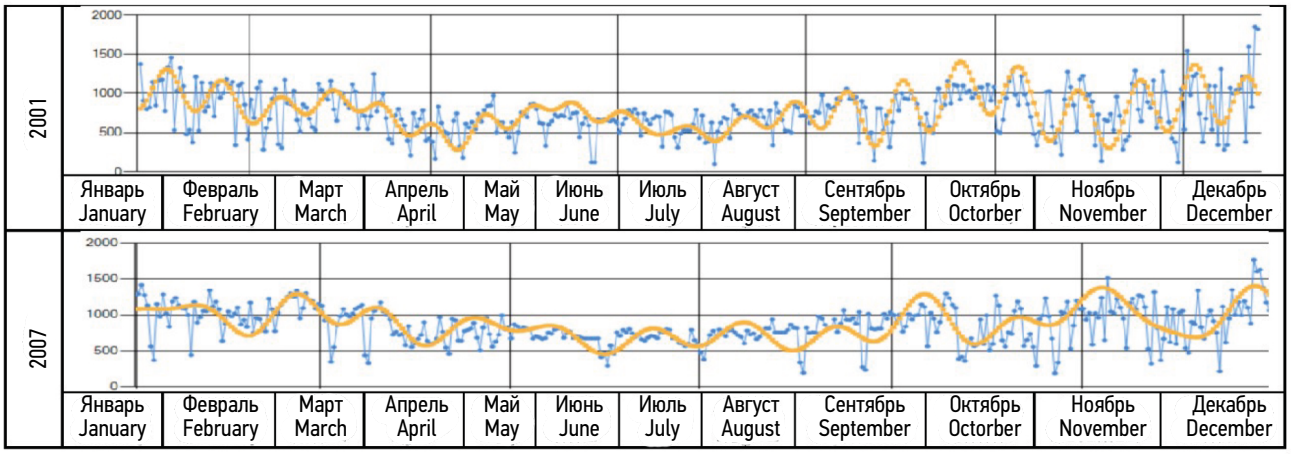

Рис. 2. Окологодовая динамика солнечной радиации в Полокване в 2001 и 2007 гг.: ось абсцисс — месяцы; ось ординат — величина солнечной радиации (Вт/м^2).
Fig. 2. Circannual changes in solar radiation in Polokwane in 2001 and 2007: X-axis, months; Y-axis, solar radiation intensity (W/m^2).

Таблица 1. Коэффициент синхронизации окологодовых вариаций числа солнечных пятен (W), солнечной радиации (СР) и парциальной плотности кислорода (ППК) в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) Солнца

Table 1. Synchronization coefficient of circannual variations in sunspot number (W), solar radiation (SR), and partial oxygen density (POD) in Khanty-Mansiysk and Polokwane during years of high (2001) and low (2007) solar activity

Город | City	Год | Year	W/ППК | W/POD	W/CP | W/SR	ППК/СР | POD/SR
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	2001	0,034	0,088	0,587
	2007	0,027	0,049	0,603
Полокване Polokwane	2001	0,062	0,069	0,029
	2007	0,037	0,022	0,279

105,1 / 1,19 / 0,010; 30,3 / 0,82 / 0,002; 10,9 / 0,79 / 0,059; 19,2 / 0,66 / 0,054 (см. рис. 2).

Поскольку предметом исследования является влияние гелиогеофизических факторов на ППК, был вычислен rs окологодовых вариаций числа солнечных пятен (W), солнечной радиации и ППК в субарктическом и субтропическом регионах в годы активного и спокойного Солнца (табл. 1).

Динамика rs в субарктическом регионе указывает на среднюю или заметную взаимосвязь солнечной радиации и ППК как в год активного, так и спокойного Солнца и слабую синхронизацию (десинхронизацию) солнечной радиации и ППК в субтропиках в год с низкой солнечной активностью (см. табл. 1).

Чтобы объяснить взаимосвязи динамики ППК в регионах с асимметричным и паритетным годовым фотопериодом, необходимо выявить влияние невозмущённых вариаций солнечного ветра и нерегулярных солнечных вспышек, эффекты которых можно оценить по изменениям индексов геомагнитной активности.

Окологодовой индекс Ap, величина которого является эквивалентной среднесуточной планетарной амплитуде возмущения магнитного поля Земли, в год спокойного Солнца (2007 г.) имеет мезор 7,48±0,33 нТл, амплитуду — 95,70 усл. ед., коэффициент автокорреляции — 0,56. Циклическая структура состоит из трёх ритмов: 27,0 сут / 4,08 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 1,43 усл. ед. / 0,001 и 8,7 сут / 1,04 усл. ед. / 0,001 (здесь и далее при описании ритмов: период / амплитуда / значимость).

В год активного Солнца (2001 г.) мезор Ap увеличивается в 3 раза — 21,97±1,10, амплитуда возрастает на порядок — 923,44 усл. ед., автокорреляция уменьшается до 0,53 и наблюдается полиритмия (7 значимых ритмов вместо трёх при спокойном Солнце): 83,8 сут / 2,36 усл. ед. / 0,001; 165,3 сут / 2,0 усл. ед. / 0,001; 19,2 сут / 1,5 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 1,17 усл. ед. / 0,002; 37,9 сут / 0,86 усл. ед. / 0,032; 30,3 сут / 0,81 усл. ед. / 0,034; 7,8 сут / 0,80 усл. ед. / 0,017 (рис. 3).

Окологодовые колебания локального индекса K в год спокойного Солнца (2007 г.) в субарктическом регионе имеют мезор 3,24±0,04 балла, амплитуду — 11,13 усл. ед., коэффициент автокорреляции — 0,56. Циклическая структура состоит из трёх значимых ритмов (259,9 сут / 12,41 усл. ед. / 0,001; 27,0 сут / 3,95 усл. ед. / 0,001; 8,7 сут / 0,93 усл. ед. / 0,001) и двух ритмов с выраженной тенденцией к значимости — 66,8 сут / 0,57 усл. ед. / 0,069 и 13,7 сут / 0,57 усл. ед. / 0,079 (здесь, как и ранее, при описании ритмов: период / амплитуда / значимость). В год активного Солнца (2001 г.) мезор индекса K составляет 4,12±0,05 балла, амплитуда — 17,80 усл. ед., автокорреляция — 0,51. Как и в отношении Ap, наблюдается полиритмия (5 значимых ритмов вместо трёх при спокойном Солнце),

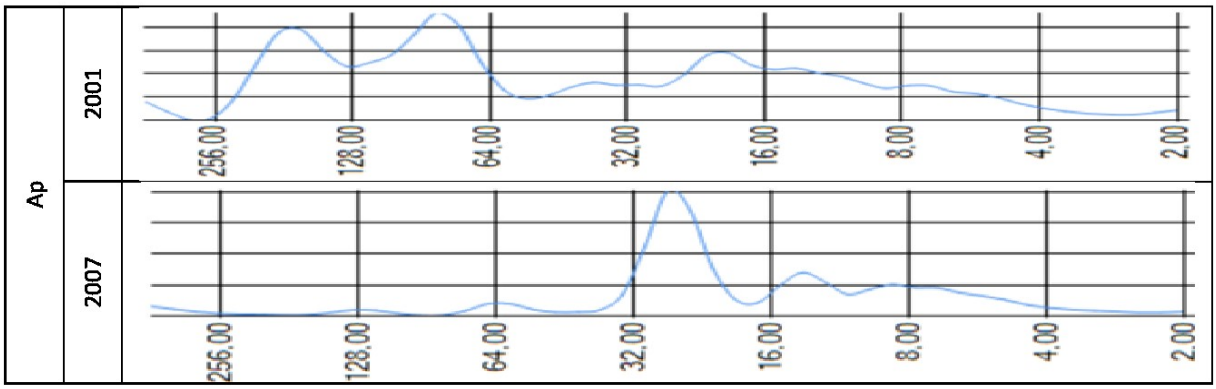

Рис. 3. Окологодовые ритмы общепланетарного магнитного индекса Ap в годы активного (2001) и спокойного (2007) Солнца: ось абсцисс — амплитуда ритмов (усл. ед.); ось ординат — периоды ритмов (сут).

Fig. 3. Circannual rhythms of the planetary magnetic index Ap in years of high (2001) and low (2007) solar activity: X-axis, rhythm amplitude (conventional units); Y-axis, rhythm periods (days).

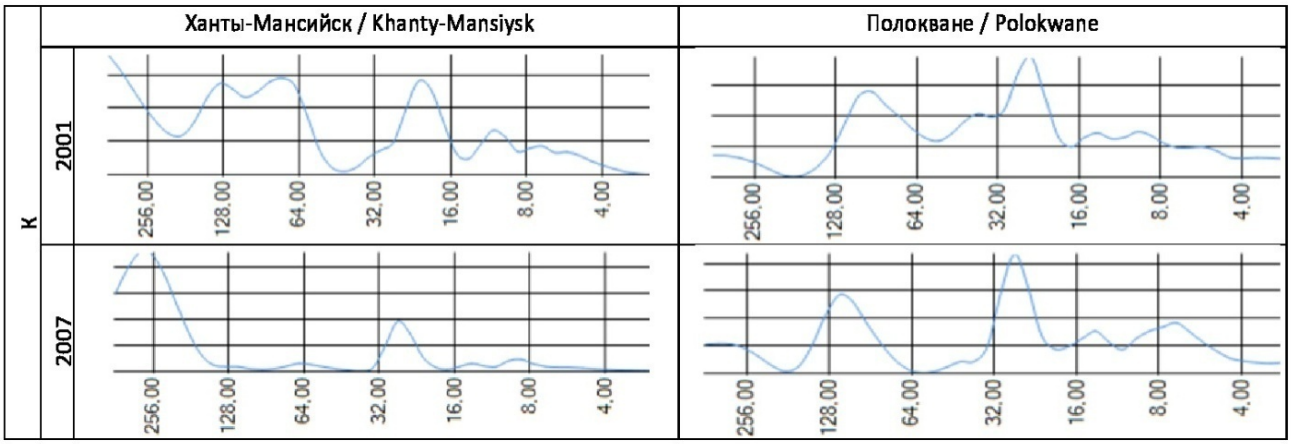

Рис. 4. Окологодовые ритмы локального геомагнитного индекса К в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) Солнца: ось абсцисс — амплитуда ритмов (усл. ед.); ось ординат — периоды ритмов (сут).

Fig. 4. Circannual rhythms of the local geomagnetic index K in Khanty-Mansiysk and Polokwane in years of high (2001) and low (2007) solar activity: X-axis, rhythm amplitude (conventional units); Y-axis, rhythm periods (days).

но с другими периодами и уровнем значимости: 66,8 сут / 2,28 усл. ед. / 0,001; 93,8 сут / 1,9 усл. ед. / 0,002; 21,5 сут / 1,6 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 0,78 усл. ед. / 0,001; 6,9 сут / 0,68 усл. ед. / 0,015 (рис. 4).

В Южном полушарии среднегодовой уровень индекса К в 2007 г. составил 4,11±0,04 балла с амплитудой 17,54 усл. ед. при коэффициенте автокорреляции 0,33. Спектр ритмов следующий: 27,0 сут / 2,26 усл. ед. / 0,001; 117 сут / 1,52 усл. ед. / 0,002; 6,9 сут / 1,01 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 0,85 усл. ед. / 0,004; 325,9 сут / 0,53 усл. ед. / 0,019 (см. рис. 4). В год высокой солнечной активности (2001 г.) мезор индекса К, его амплитуда и коэффициент автокорреляции временнóго ряда незначимо отличается от уровня 2007 г.: 4,79±0,05 балла / 23,72 усл. ед. / 0,28. Спектр представлен пятью значимыми ритмами и одним с высокой тенденцией к значимости: 24,1 сут / 1,99 усл. ед. / 0,001; 93,8 сут / 1,43 усл. ед. / 0,005; 37,9 сут / 1,07 усл. ед. / 0,005; 9,8 сут / 0,78 усл. ед. / 0,003; 13,7 сут / 0,75 усл. ед. / 0,002; 5,5 сут / 0,53 усл. ед. / 0,087.

Результаты показывают значительное отличие средних уровней солнечной радиации в Ханты-Мансийске и Полокване, демонстрируя чёткую зависимость от широты местности и уровня инсоляции. Для поиска возможных взаимосвязей между изменениями корпускулярного компонента солнечной радиации, проявляющихся колебаниями магнитных индексов, и ППК вейвлет-анализом оценена синхронизация исследуемых показателей (Ap, индекс К и ППК) в годы активного и спокойного Солнца в субарктическом и субтропическом климатических поясах с расчётом r_s (табл. 2).

Синхронизация Ap и К в Полокване растёт при повышении солнечной активности от очень слабой (0,234) до средней (0,510), но величина r_s Ap/ППК и К/ППК, хотя и обнаруживает тенденцию к увеличению, указывает на очень слабую взаимосвязь магнитных индексов и ППК вне зависимости от солнечной активности.

В Ханты-Мансийске синхронизация индексов Ap и К в сравниваемые годы солнечного цикла остаётся

Таблица 2. Значения коэффициента синхронизации (r_s) локального геомагнитного индекса (К), планетарного индекса магнитной активности (Ap), парциальной плотности кислорода (ППК) в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) Солнца

Table 2. Synchronization coefficient (r_s) values for the local geomagnetic index (K), planetary magnetic activity index (Ap), and partial oxygen density (POD) in Khanty-Mansiysk and Polokwane during years of high (2001) and low (2007) solar activity

r_s	2001			2007		
	К	Ap	ППК | POD	К	Ap	ППК | POD
Полокване | Polokwane						
К	1,000	0,510	0,126	1,000	0,234	0,097
Ap	0,510	1,000	0,089	0,234	1,000	0,037
POD	0,126	0,089	1,000	0,097	0,037	1,000
Ханты-Мансийск | Khanty-Mansiysk						
К	1,000	0,207	0,103	1,000	0,108	0,280
Ap	0,207	1,000	0,092	0,108	1,000	0,027
ППК | POD	0,103	0,092	1,000	0,280	0,027	1,000

слабой (2007 г. — 0,108; 2001 г. — 0,207); величина r_s Ap и ППК незначимо растёт с повышением солнечной активности (2007 г. — 0,027; 2001 г. — 0,092), а синхронизация K и ППК с ростом солнечной активности снижается с 0,280 в 2007 г. до 0,103 в 2001 г.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение динамики солнечной радиации имеет большое практическое значение для прогнозирования космических и земных климатических процессов, явлений в земной атмосфере и состояния биосферы, так как Солнце является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли. Приход солнечной радиации к поверхности Земли зависит от таких факторов, как географические координаты, сезон года и время суток, состояние атмосферы и рельеф местности [6]. Вариации приходящей к Земле лучистой энергии также зависят от флюктуаций активности Солнца и небесно-механических процессов, связанных с изменением элементов земной орбиты [7].

Влияние асимметричного и паритетного фотопериодов как проявление широтных географических различий в нашем исследовании обнаруживается в форме развития мезорного и частотного (полиритмия) десинхроноза годовых колебаний солнечной радиации при высоком уровне солнечной активности [8].

Анализ синхронизации солнечной радиации с ППК показывает средний уровень взаимосвязи этих показателей в северном регионе в годы как спокойного, так и активного Солнца, что может свидетельствовать о возможном влиянии солнечного ветра на уровень и вариации геомагнитной активности.

В субтропическом регионе взаимосвязь солнечной радиации и ППК проявляется в меньшей степени и только в год спокойного Солнца.

Влияние на организм человека геомагнитных возмущений привлекает внимание мировой научной общественности достаточно давно. В этом аспекте изучали вариабельность ритма сердца человека и животных [9], динамику артериального давления [10, 11], изменения поведения экспериментальных животных [12, 13]. Достаточно много публикаций о нарушении циркадианных ритмов и обмена мелатонина при геомагнитных возмущениях [14, 15].

Чтобы избежать замечаний методического характера при исследовании биотропного влияния магнитной активности [16], в нашем исследовании оценивали взаимосвязь динамики Ap и K и ППК как интегрального показателя, влияющего на биосферу. В субарктической зоне использованы значения K, полученные в Новосибирской магнитной обсерватории «Ключи», координаты — 55°N, 82°E, расстояние до Ханты-Мансийска — 1051 км; в субтропическом климатическом поясе Южного полушария использованы данные обсерватории «Херманус» (ЮАР), координаты — 34°S, 19°E, расстояние до Полокване — 1567 км.

Обращает на себя внимание совпадение периодов некоторых ритмов как показателя солнечной радиации и опосредованного влияния солнечной активности в виде изменения геомагнитных индексов. Если рассуждать с точки зрения концепции «универсального спектра солнечной системы», то солнечная ритмичность представляет собой подстройку организма под гармоники солнечных суток годичного и суточного циклов Земли [17]. Это подтверждается наличием ритмов колебаний солнечной радиации и магнитных индексов с периодами 165,3 сут, 90,3 сут, 30,3 сут и 27,0 сут. Ритм синодического периода вращения Солнца (26,24 сут) присутствует в вариациях исследуемых магнитных индексов (Ap, K) в год спокойного Солнца как в северном регионе, так и в субтропиках Южного полушария, а в спектре ритмов солнечной радиации 27-суточный вставочный ритм обнаруживается в обоих географических регионах исследования только в год активного Солнца.

В качестве возможных механизмов воздействия магнитных полей на живые организмы предлагаются «радоновая» теория, согласно которой геомагнитные бури могут вызывать деформацию горных пород, сопровождающуюся увеличением содержания радона в приземном слое атмосферы, что приводит к различным биологическим эффектам [18], «резонансная» теория В.В. Леднева [19], «циркадная» гипотеза [20, 21].

В проведённом исследовании при повышении солнечной активности колебания Ap характеризуются развитием мезорного, гиперамплитудного и частотного десинхроноза, растёт синхронизация временно́го ряда Ap и K, особенно в субэкваториальной зоне. В сравниваемых географических точках взаимосвязи Ap с ППК отсутствуют при разном уровне солнечной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствие выраженных зимне-летних колебаний освещённости и температурного режима в северном регионе с асимметричным фотопериодом наблюдается заметная синхронизация солнечной радиации и ППК в годы спокойного и активного Солнца. В субтропическом регионе синхронизация солнечной радиации и ППК снижается в год активного Солнца из-за качественной перестройки временно́го ряда колебаний солнечной радиации по типу полиритмии (частотный десинхроноз).

Величина и колебания Ap закономерно растут в год активного Солнца и соответствуют картине мезорного и гиперамплитудного десинхроноза. В сравниваемых пространственных и временны́х точках полностью отсутствует синхронизация данного показателя с ППК.

Количественные характеристики (мезор и амплитуда) окологодового цикла K в годы с различной активностью Солнца в субтропиках и субарктическом регионе

отличаются незначимо. В год активного Солнца синхронизация К и ППК в субтропиках имеет тенденцию к приросту, а в субарктическом регионе наблюдается снижение взаимосвязи этих показателей.

Обращает на себя внимание совпадение периодов некоторых ритмов показателя солнечной радиации и геомагнитных индексов. Ритм синодического периода вращения Солнца (26,24 сут) присутствует в вариациях исследуемых магнитных индексов (Ар, К) в год спокойного Солнца как в северном регионе, так и в субтропиках Южного полушария, а в спектре ритмов солнечной радиации 27-суточный вставочный ритм наблюдается только в год активного Солнца в обоих географических регионах исследования.

В обоих географических регионах в год спокойного Солнца выявлена значимая взаимосвязь колебаний солнечной радиации и ППК. Рост солнечной активности характеризуется снижением взаимосвязи солнечной радиации и кислородного статуса в субтропическом регионе. Статистически значимая синхронизация окологодовых колебаний ППК в приземном слое воздуха и планетарной и локальной магнитной активности варьирует от слабой до очень слабой, независимо от солнечной активности и географической широты.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.Н. Рагозин — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование и окончательное утверждение рукописи; Л. Мутэло — анализ данных; Е.Ю. Шаламова — подготовка первого варианта статьи; А.Б. Гудков — редактирование первого варианта статьи; И.А. Погонышева — анализ данных; Э.Р. Рагозина — набор первичного материала; Д.А. Погонышев — анализ данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия» (заключение № 214 от 15.10.2024).

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: O.N. Ragozin: conceptualization, methodology, writing—review & editing; L. Muthelo, I.A. Pogonysheva, D.A. Pogonyshev: formal analysis; E.Yu. Shalamova: writing—original draft; A.B. Gudkov: writing—review & editing; E.R. Ragozina: investigation. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Khanty-Mansiysk State Medical Academy (Approval No. 214 of October 15, 2024).

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative AI technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Fedorov VM, Sokratov SA, Frolov DM. The tendencies of change of the incoming solar radiation to the upper atmosphere boundary and their spatial localization. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2019;(5):50–58. doi: 10.31857/S0205-96142019550-58 EDN: NFQKZC
2. Russell CT. The solar wind and magnetospheric dynamics. In: Page DE, editor. *Correlated Interplanetary and Magnetospheric Observations. Astrophysics and Space Science Library*. Springer, Dordrecht; 1974;42. doi: 10.1007/978-94-010-2172-2_1
3. Veselovsky IS, Kaportseva KB, Lukashenko AT. Hydrodynamic classification of solar wind flows. *Astronomicheskii vestnik. Issledovaniya Solnechnoi Sistemy*. 2019;53(1):61–73. doi: 10.1134/S0320930X19010080 EDN: YWYHGH
4. Vladimirsky BM, Temuryants NA, Martynyuk VS. Space weather and our life. Moscow: DMK-Press; 2022. 224 p. ISBN: 978-5-89818-203-8
5. Datieva FS, Volkov AV, editors. *Heliogeophysical factors in chronopathophysiology and clinical medicine*. Vladikavkaz; Tula: IBMI VSC RAS; 2023. 490 p. ISBN: 978-5-00081-596-0
6. Berlyand TG. Distribution of solar radiation on the continents. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1961. 227 p.
7. Fedorov VM, Frolov DM. Spatial and temporal variability of solar radiation arriving at the top of the atmosphere. *Kosmicheskie Issledovaniya*. 2019;57(3):177–184. doi: 10.1134/S002342061903004X
8. Ragozin ON, Tatarintsev PB, Pogonysheva IA, et al. Corrections for geographical differences in photoperiod in time-series analysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(2):139–149. doi: 10.17816/humeco117532 EDN: VVYOJA
9. Bokeria LA, Bokeria OL, Volkovskaya IV. Cardiac rhythm variability: methods of measurement, interpretation, clinical use. *Annals of Arrhythmology*. 2009;6(4):21–32. EDN: KYGRHZ
10. Azcaratea T, Mendoza B, Levi JR. Influence of geomagnetic activity and atmospheric pressure on human arterial pressure during the solar cycle 24. *Adv Space Res*. 2016;58(10):2116–2125. doi: 10.1016/j.asr.2016.05.048

11. Cornelissen G, Halberg F, Sothern RB, et al. Blood pressure, heart rate and melatonin cycles synchronization with the season, earth magnetism and solar flares. *Scr Med (Brno)*. 2010;83(1):16–32.
12. Persinger MA, McKay BE, O'Donovan CA, et al. Sudden death in epileptic rats exposed to nocturnal magnetic fields that simulate the shape and the intensity of sudden changes in geomagnetic activity: an experiment in response to Schnabel, Beblo and May. *Int J Biometeorol*. 2005;49(4):256–261. doi: 10.1007/s00484-004-0234-2
13. Kowalski U, Wiltschko R, Fuller E. Normal fluctuations of the geomagnetic field may affect initial orientation in pigeons. *J Comp Physiol*. 1988;163:593–600. doi: 10.1007/bf00603843
14. Rapoport SI, Malinovskaya NK, Vetterberg L, et al. Melatonin production in patients with hypertension during magnetic storms. *Therapeutic Archive*. 2001;73(12):29–33. (In Russ).
15. Welker HA, Semm P, Willig RP, Commentz JC, Wiltschko W, Vollrath L. Effects of an artificial magnetic field on serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland. *Exp Brain Res*. 1983;50(2-3):426–432. doi: 10.1007/BF00239209
16. Krylov VV. Biological effects of geomagnetic activity: observations, experiments and possible mechanisms. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2018;(84):7–38. doi: 10.24411/0320-3557-2018-10016 EDN: VPYJDM
17. Vasilyeva NI. The problem of correlation of human biorhythms and solar activity in light of the concept of the "universal spectrum" of the solar system. *Izvestiya TRTU*. 2000;(4):36–37. (In Russ.) EDN: KUSMIB
18. Shemy-Zade AE. Transformation of the impulse of solar-geomagnetic activity into disturbances of the radon and aeroion fields of the planet. *Biophysics*. 1992;37(4):690–699. (In Russ.)
19. Lednev VV. Biological effects of extremely weak variable magnetic fields: identification of primary targets. In: *Modeling of geophysical processes*. Moscow: IPE RAS; 2003. P. 130–136. (In Russ.) EDN: ZTTRXB
20. Chibisov SM. Cosmos and biosphere: the influence of magnetic storms on the chronostructure of biological rhythms. *RUDN Journal oF Medicine*. 2006;(3):35–44. EDN: IJNGFD
21. Borisenkov MF. Influence of the earth's magnetic field on the daily dynamics of the total antioxidant activity of human saliva in the North. *Advances in Gerontology*. 2007;20(4):56–60. EDN: IUDXEL

ОБ АВТОРАХ

*** Погонышева Ирина Александровна,** канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 628611, Нижневартовск, ул. Дзержинского, д. 11, каб. 301;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Рагозин Олег Николаевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Мутэло Ливувани, PhD, старший преподаватель;
Researcher ID: AHC-1001-2022;
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Шаламова Елена Юрьевна, д-р биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Рагозина Элина Разифовна;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
eLibrary SPIN: 7335-7635;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

Погонышев Денис Александрович, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-8815-1556;
eLibrary SPIN: 1179-9674;
e-mail: d.pogonyshev@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Irina A. Pogonysheva,** Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
address: 11 Dzerzhinsky st, ofc 301, Nizhnevartovsk, Russia, 628611;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Oleg N. Ragozin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Livhuwani Muthelo, PhD, Senior Lecturer;
Researcher ID: AHC-1001-2022;
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Elena Yu. Shalamova, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Andrei B. Gudkov, MD, Dr.Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Elina R. Ragozina;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
eLibrary SPIN: 7335-7635;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

Denis A. Pogonyshev, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-8815-1556;
eLibrary SPIN: 1179-9674;
e-mail: d.pogonyshev@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author