

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ ВЪРХУ ТЕМПЕРАТУРНИЯ РЕЖИМ В ЗОНАТА НА КОНСТАНТНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ПЕЩЕРИТЕ СЪЕВА ДУПКА, ЛЕДЕНИКА, УХЛОВИЦА И СНЕЖАНКА И ВРЪЗКАТА С ТЕМПЕРАТУРИТЕ В СЪСЕДНИТЕ ИМ ГРАДОВЕ СМОЛЯН, ВРАЦА, ЛОВЕЧ И ПАЗАРДЖИК

Любомира Райкова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: heiti456@gmail.com*

Ключови думи: температура в пещерите, приземна температура, слънчева активност

Резюме: Целта на това изследване е да анализира въздействието на слънчевата активност, отразено чрез броя на слънчевите петна (Sn), общото слънчево излъчване (TSI) и слънчевото радиоизлъчване F10.7, върху температурата в пещерите Съева дупка, Леденика, Ухловица и Снежанка в зоната на константните температури, както и върху приземната температура в градовете Враца, Ловеч, Смолян и Пазарджик в България. В рамките на изследването се използват температурни данни за периода от 1968 до 2022 година, за да се приложи многопластов подход при изследване на температурните вариации в специфичната пещерна среда в сравнение с приземната температура в околните региони. Резултатите показват значителни връзки между слънчевата активност и температурите в пещерите, което подчертава ролята на Слънцето върху климатичните условия в подземната среда. Това изследване допринася за разширяване на познанията относно сложните взаимодействия между слънчевата активност и климатичните условия на Земята и за оценка на дългосрочните климатични промени, които могат да бъдат предизвикани от влиянието на космическите фактори.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF SOLAR ACTIVITY ON THE TEMPERATURE REGIME IN THE CONSTANT TEMPERATURE ZONE OF THE CAVES SAEVA DUPKA, LEDENIKA, UHLOVITSA, AND SNEZHANKA, AND THE CORRELATION WITH THE TEMPERATURES IN THEIR NEIGHBORING TOWNS OF SMOLYAN, VRATSA, LOVECH, AND PAZARDZHİK

Lyubomira Raykova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: heiti456@gmail.com*

Keywords: temperature in caves, ground temperature, solar activity

Abstract: The aim of this study is to analyze the impact of solar activity, reflected through the number of sunspots (Sn), total solar irradiance (TSI), and solar radio flux F10.7, on the temperature characteristics in the caves Saeva Dupka, Ledenika, Uhlovitsa, and Snezhanka in the constant temperature zone, as well as on the ground-level temperature in the cities of Vratsa, Lovech, Smolyan, and Pazardzhik in Bulgaria. The study utilizes temperature data from the period 1968 to 2022 to apply a multi-layered approach in examining temperature variations in the specific cave environment compared to the ground temperature in the nearby regions. The results demonstrate significant correlations between solar activity and temperatures in the caves, highlighting the role of the Sun in influencing climatic conditions in the underground environment. This research contributes to the expansion of knowledge regarding the complex interactions between solar activity and Earth's climatic conditions and aids in assessing long-term climate changes that may be induced by the influence of cosmic factors.

Въведение

Слънчевата активност е един от ключовите параметри, които обясняват как Слънцето влияе на климатичните условия на Земята. С течение на времето учените са придобили значителни познания за механизмите, чрез които слънчевата активност въздейства на земния климат. Въпреки това, както посочва Tsiropoulou [1], остава известна несигурност относно някои аспекти на тези механизми и степента на тяхното влияние. Влиянието на слънчевата активност е видимо не само в глобален мащаб, но също така засяга локални климатични условия.

Например, слънчевите цикли оказват въздействие върху различни климатични показатели, както и върху компонентите на хидрологичния цикъл, като валежите, снежната покривка и други. Това влияние се дължи основно на колебанията в общото слънчево излъчване (TSI), които предизвикват последващи промени в атмосферните условия и климата [2]. Подобни механизми могат да се наблюдават и в специфични среди като карстовите пещери, където стабилността на микроклимата все пак е подложена на влияния от слънчевата активност.

Един ключов аспект при изследването на пещерния климат е именно влиянието на краткосрочните и дългосрочните вариации в слънчевата активност, които могат да се наблюдават дори в относително стабилния микроклимат на карстовите пещери [3]. Тези проучвания подчертават значението на слънчевата активност за климатичните модели в пещерните среди и показват, че дори в затворени и стабилни среди, каквито са пещерите, слънцето играе съществена роля [4].

Използвани данни

В Таблица 1 се предоставя информация за основните характеристики на четири пещери в България, които са обект на изследването. Тя служи за съпоставка и анализ на географските и климатичните особености.

Таблица 1. Характеристики на четирите изследвани пещери

1	Характеристика	Съева Дупка	Леденика	Снежанка	Ухловица
2	Географски координати	43° 2' 51.4" N 24° 11' 16.44" E	43° 12' 16" N 23° 29' 28" E	42° 0' 15.13" N 24° 16' 43" E	41° 30' 50.98" N 24° 39' 36.22" E
3	Местоположение	Източна Стара Планина	Източна Стара Планина	Централни Родопи	Южни Родопи
4	Климатични зони	Умереноконтинентална	Умереноконтинентална	Континентална	Средиземноморска
5	Надморска височина (m)	520	830	1926	892
6	Отдалеченост от входа на лагерите (m)	55	165	75	92

В настоящото изследване са използвани средногодишните температурни стойности за периода от 1968 до 2022 година за четирите пещери. Данните са предоставени от Българския туристически съюз (БТС).

Информацията за броя на слънчевите петна, S_n , е получена от Международната служба за слънчева активност (SILSO), налична на уебсайта: <https://www.sidc.be/SILSO>. В рамките на изследването са използвани средногодишни стойности на броя на слънчевите петна.

Освен S_n , са използвани и данните за радиоизлъчването F10.7, които са осигурени от Лабораторията за атмосферни и космически изследвания на Университета в Колорадо, достъпни чрез техния сайт https://lasp.colorado.edu/lisird/data/noaa_radio_flux. В това изследване са включени средногодишни стойности на радиоизлъчването F10.7 за периода от 1968 до 2018 година.

Данните за общото слънчево излъчване (Total Solar Irradiance, TSI) са достъпни на уебсайта на Националния център за екологична информация (NCEI) към NOAA. Използвани са средногодишни стойности за периода от 1968 до 2022 година, които могат да бъдат намерени на следния адрес: <https://www.ncei.noaa.gov/data/total-solar-irradiance/access/yearly/>.

Данните, свързани със средната температура на приземния въздух (средногодишна стойност) за четирите града за периода 1968–2020 година, са взети от: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/bulgaria/trends-variability-historical>.

Методи за обработка на данните

Настоящото изследване използва Фурие анализ за преобразуване на времеви сигнали в честотния домейн, като ги разлага на синусоидални компоненти с различни честоти, амплитуди

и фази. Това се осъществява чрез Фурие трансформация, която осигурява разпределение на мощността на сигнала по честоти. Фурие трансформацията е дефинирана като:

$$(1) \quad X(f) = \int x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Спектърът на мощността се изчислява като квадрат на амплитудата на Фурие трансформирания сигнал, предоставяйки количествена оценка на мощността на всяка честотна компонента:

$$(2) \quad P(f) = (X(f))^2$$

Плътността на спектъра на мощността (PSD) е използвана за непрекъснати сигнали и се изчислява с помощта на средногодишни стойности. Тя се дефинира като:

$$(3) \quad S_{xx}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} |X_T(f)|^2$$

PSD визуализира енергийното разпределение по честоти и помага за идентифициране на доминиращите честоти, включително основни компоненти и шум.

Нормираният спектър на мощността се прилага, за да се сравняват спектрите на различни сигнали, като нормира общата мощност на сигнала към единица. Това включва делене на спектъра на мощността на общата мощност на сигнала, изчислена чрез интегриране на спектъра в цялата честотна област:

$$(4) \quad P_{\text{total}} = \int_{-\infty}^{\infty} P(f) df$$

Тогава нормираният спектър на мощността се получава от:

$$(5) \quad P_{\text{norm}}(f) = \frac{P(f)}{P_{\text{total}}}$$

Чрез нормираните спектри на мощността можем да сравняваме характеристики на сигнали с различна мощност, да анализираме шум и идентификация на честоти с висока енергия.

Прилагаме и допълнителен анализ, базиран на методологията на Torrence & Compo [5] за оценка на значимостта на локалните вълнови спектри при различни мащаби и времена. Формулата за оценка на значимостта е:

$$(6) \quad \frac{N|X_k|}{\sigma^2} \Leftrightarrow \frac{1}{2} P_k \chi^2$$

Тази формула играе важна роля в оценката на значимостта на локалните вълнови спектри при различни мащаби и времена. В нея, σ^2 представлява мощността на сигнала, а χ^2 е разпределението с 2 степени на свобода. Формулата ни позволява да идентифицираме значимите честотни компоненти в присъствието на шум, като предоставя надеждни нива на доверие.

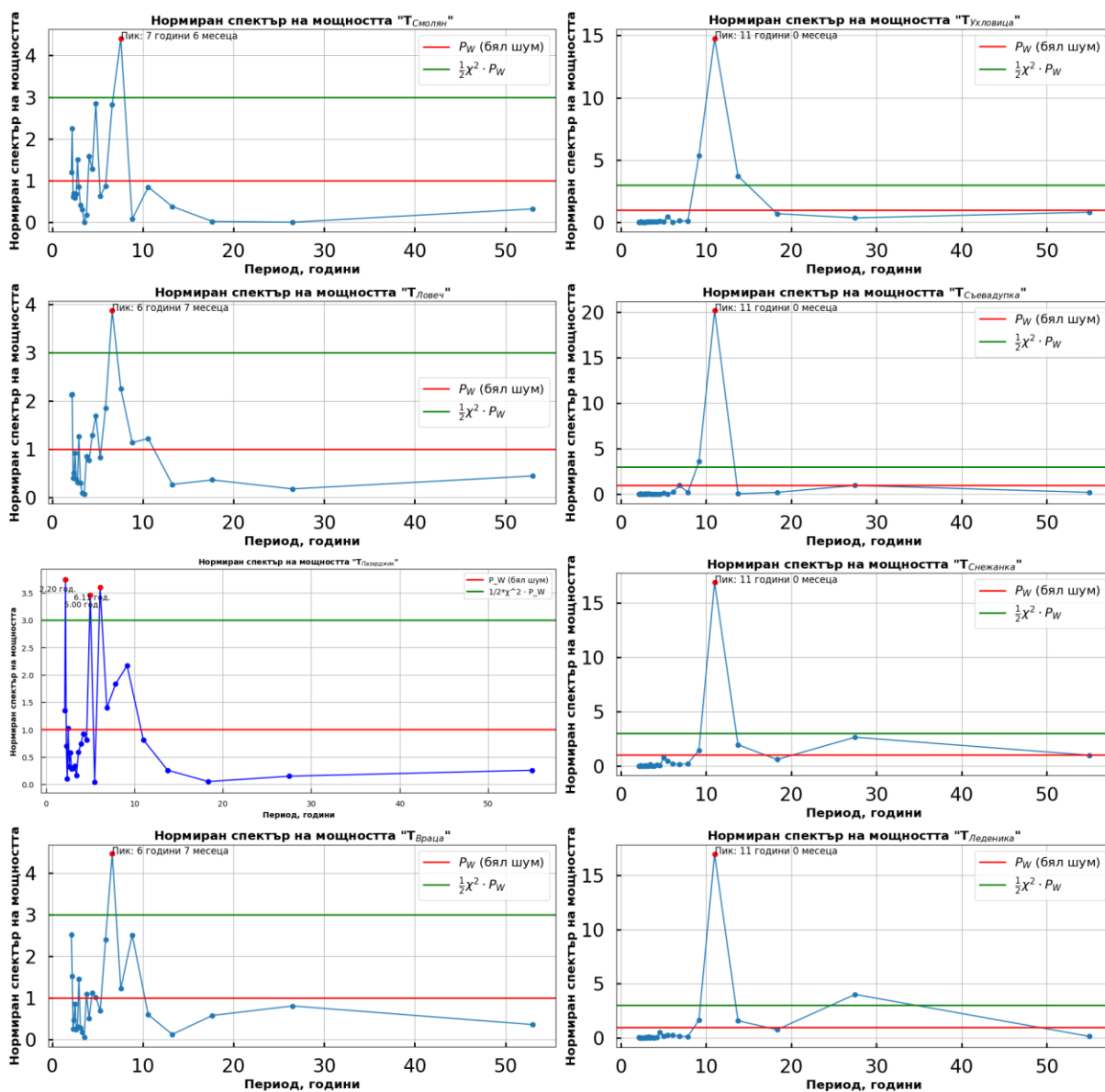
Резултати

Графиките на Фиг. 1 представят нормирания спектър на мощността, като се разгледани приземните температури в регионите на градовете Смолян, Ловеч, Пазарджик и Враца, включващи местоположението на разглежданите пещери (показаните в лявата колона панели), както и температурите в зоните с константна температура (ЗКТ) на четирите изследвани пещери – Ухловица, Съева дупка, Снежанка и Леденика (дясната колона панели). Лява колона (приземни температури в градовете). С червена хоризонтална линия е отбелязано нивото на белия шум, а със зелена линия, нивото на значимост по формула (6).

В графиките за приземните температури се наблюдават значими пикове за периоди между 6 и 8 години, а именно: за Смолян – 7 год. и 6 месеца, за Ловеч – 6 год. и 7 месеца, за Пазарджик – 6 год. и един месец, и за Враца – 6 год. и седем месеца. Това показва наличието на отчетлив цикличен процес с продължителност в тези граници.

Освен това графиката за Пазарджик показва още два значими пика с периоди 2 год. и 2 месеца и 5 години, които съответстват на циклични процеси с такива периоди в тази област.

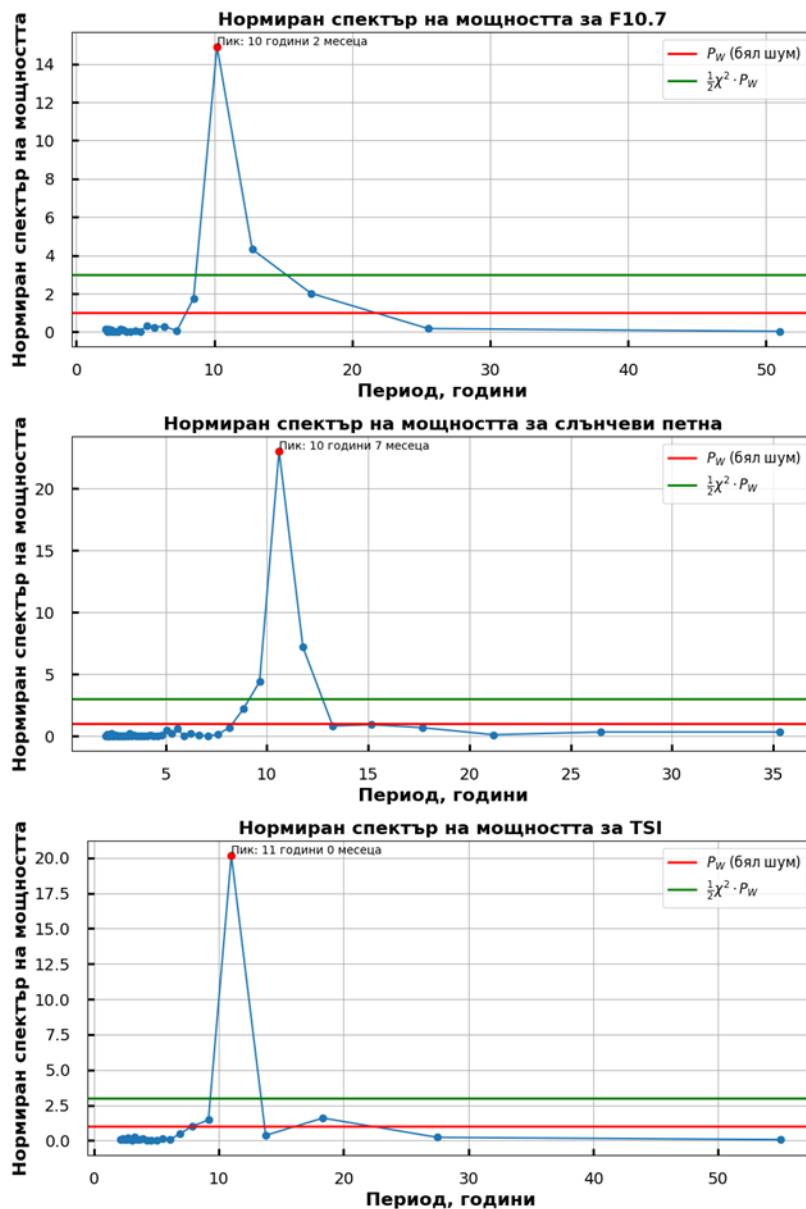
В дясната колона на Фиг. 1, където са представени температурните данни за пещерите Ухловица, Съева дупка, Снежанка и Леденика, се наблюдават ясно изразени значими пикове с период от точно 11 години за всички четири пещери. Това показва наличие на дългосрочни циклични процеси, в синхрон с които се проявяват температурите в ЗКТ на тези пещери.



Фиг. 1. Нормиран спекър на мощността на температурните данни за градовете Смолян, Ловеч, Пазарджик и Враца (от горе надолу в лявата колона) и намиращите се в близост пещери: Ухловица, Съева Дупка, Снежанка и Леденика (от горе надолу в дясната колона). С червена хоризонтална линия е маркирано нивото на белия шум, а със зелена линия - нивото на значимост по формула (6).

За сравнение с получените резултати за значимите периодични колебания в приземните температури и температурите в ЗКТ на пещерите с вариациите на слънчевата активност, са пресметнати нормирани спектри на мощността на параметрите на слънчевата активност F10.7, слънчеви петна и TSI, представени на Фиг.2. Наблюдават се значими пикове около 10 до 11 години, което съответства на характерния 11-годишен слънчев цикъл, демонстриращ периодичността на слънчевата активност. Различията в амплитудата на колебанията между тези параметри подчертават разнообразието в тяхното отражение на слънчевата активност. Тези разлики могат да се обяснят с методите на измерване и спецификата на всеки параметър. Напр. F10.7 е свързан най-вече с повърхностната активност на слънцето, докато TSI предоставя

информация за общата слънчева енергия, достигаща Земята, включително и извън видимия спектър.



Фиг. 2. Нормирани спектри на мощността за F10.7, слънчевите петна и TSI

При сравняването на резултатите от Фиг.2 и Фиг.1 се вижда, че 11-годишният слънчев цикъл, отразен в спектрите на мощността на параметрите на слънчевата активност F10.7, броя слънчеви петна и TSI, се проявява и при температурите в ЗКТ в четирите разглеждани пещери. Това потвърждава влиянието на слънчевата активност върху пещерния климат и по-конкретно върху температурата в ЗКТ. Същевременно такава цикличност не е наблюдавана при приземните температури в околностите на пещерите, т.е. не съществува пряка връзка между приземните температури и температурите в ЗКТ на пещерите и връзката със слънчевата активност е в резултат на някакъв друг механизъм. Получените периоди от 6 – 8 години във вариациите на приземните температури е възможно да са резултат от влиянието на Северноатлантическото колебание (NAO), което влияе на климатичните условия в Европа и Северна Америка чрез промени в атмосферното налягане.

Заклучение

Отсъствието на 11-годишен цикъл в повърхностните температури и наличието му в измерванията от зоната на константните температури в пещерите показва, че температурните

условия в пещерите не са пряко зависими от климатичните влияния на повърхността. Анализът на нормираният спектър на мощността разкрива ясно различим и значим пик в данните за температурата в четирите пещери, съответстващ на 11-годишния слънчев цикъл. В същото време, данните за повърхностната температура в градовете Смолян, Враца, Ловеч и Пазарджик показват ясно изразен пик с период около 7.5 години, който вероятно отразява въздействието на Северноатлантическата осцилация (NAO).

Литература:

1. Tsiropoula, G. (2003). "Signatures of solar activity variability in meteorological parameters." *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v.65, pp.469–482. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(02\)00295-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00295-X)
2. Chaparov, Ya., and V. Gorshkov (2019). "Solar Activity and Cosmic Ray Influence on the Climate." *Geomagnetism and Aeronomy*, v.59, No. 7, pp. 942–949. <https://doi.org/10.1134/S0016793219070090>
3. Stoeva, P., A. Stoev, N. Kiskinova (2006). Long-term changes in the cave atmosphere air temperature as a result of periodic heliophysical processes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 31(1-3), 123–128.
4. Stoeva, P., A. Stoev (2018). "Influence of the solar activity on cave air temperature regimes." In *Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the XLI Annual Seminar*, pp. 168–171. DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.168-171
5. Torrence, C., G. P. Compo (1998). "A practical guide to wavelet analysis." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), pp. 61–78.