

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертация за получаване на образователната и научна степен „Доктор“ на тема:

„Влияние на слънчевата активност върху атмосферни процеси в карстови среди“

Автор: Цветан Иванов Паров – редовен докторант в Института за Космически Изследвания и Технологии – БАН

Научен ръководител: доц. д-р Алексей Стоев

Научна област на висшето образование 4. „Природни науки, математика и информатика“, Професионално направление 4.1. „Физически науки“, Научна специалност „Физика на океана, атмосферата и околоземното пространство“.

Рецензент: Проф. д-р Пенка Стоева,

Институт за Космически Изследвания и Технологии – БАН,
Филиал Стара Загора

Актуалност на темата на дисертацията

Темата за влиянието на слънчевата активност върху атмосферните процеси в карстови среди набира огромна популярност в последните години. Тя е от ключово значение за разбиране на взаимодействията между космическите и земните процеси. Предоставената от нея основа за прогнозиране на климатични промени спомага за навременни реакции в най-уязвимите райони, свързани с природни ресурси от стратегическо значение.

Изучаването на влиянието на слънчевата активност и повърхностните метеорологични параметри върху атмосферните процеси във варовиковия карст и ледниковия криокарст има висока научна, екологична и практическа значимост, свързана с изследването на сладководните запаси на планетата.

Варовиковият карст и ледниковият криокарст са различни по своята морфология и динамика. На външен вид са подобни, но образуването им е по различен начин. Сравнението им разкрива специфичните взаимодействия между метеорологичните условия и геоморфоложките процеси. С промените в климатичните режими (валежи, температурни вариации) карстовите и ледниковите райони са особено чувствителни към промени, като загуба на снежна покривка, изчезване на ледници, ерозия и промяна на водните ресурси.

От особено значение е изследването на ледниците на о. Ливингстън в Антарктика, понеже те са разположени на 62° южна ширина, което съвпада с бреговата линия на континента и е близо до Антарктическата конвергенция, която е линията обкръжаваща Антарктида, където студените антарктически води от юг потъват под сравнително по-топлите северни води. Тя преминава приблизително на 55° южна ширина, като в отделни участъци стига до 48° и 61° южна ширина.

Карстовите системи са обитание на уникални и ендемични екосистеми с крехко равновесно положение, които се повлияват дори от минимални вариации на климата. От национално и световно значения са и карстовите води, които се използват като източници на води за питейни и промишлени нужди. Специално в района на изследваната Понор планина, около 10000 души, намиращи се в гр. Своге и околните села, използват карстови води за стопански и икономически цели.

От друга страна, от ледниковите води в световен мащаб, зависят повече от 2 милиарда души. Пример за това са Хималаите в Азия, Андите в Южна Америка и Алпите в Европа. Добавянето на Антарктида към изследването и по-специално

изследването на остров Ливингстън от Южните Шетландски острови, който се намира на челния фронт на климатичните промени, които засягат Антарктида, ни дава възможност да сравним реакциите на полярните и умерените региони на климатичните промени.

Цел и задачи на дисертационния труд

Този научен труд представлява комплексно изследване на микроклимата в дълбоки пропасти карстови пещери и вертикалните въздушни обеми в криокарстовите пукнатини и дренажни системи на ледници.

Поради различията в геоморфологията и географското местоположение на изследваните региони авторът поставя две основни цели и съответни задачи за постигането им:

Цел I. Изследване на измененията в температурата и влагата на подземните въздушни обеми на пропастната карстова система на пещерата Колкина дупка в Понор планина, България в отговор на промените в слънчевата активност, дневно-нощните и сезонните температурни колебания и валежи, и механизма на пренос на топлина от водните потоци.

Задачи:

1. Откриване на връзка между количеството на валежите в района на Понор планина и стойностите на температурата на въздуха в пещерата, като се разглеждат поотделно зимният и летният сезон.

2. Установяване на корелация между температурите на въздуха във вътрешността на пещерата на две различни дълбочини, на приблизително 130 метра и 40 метра и външната температура, измерена на повърхността в района на Понор планина.

3. Изследване на температурното взаимодействие между входната част на пещерата (граничната зона между променливия и постоянния температурен режим) и дълбоките зони (около -130 метра) през летния и зимния сезон.

4. Определяне степента на корелация между вариациите в слънчевата активност и измененията във вътрешния микроклимат на пещерата през различните сезони.

5. Изследване на влиянието на слънчевата активност върху въздушните течения в пещерата.

Цел II. Да се проследи реакцията на вертикалните въздушни обеми (температурен градиент и въздушни потоци) в цепнатините на ледниците Перуника, Контел и Джонсънс на остров Ливингстън в Антарктида на промените в слънчевата активност, външните климатични промени и вариациите в повърхностните температури.

Задачи:

1. Определяне на температурния градиент в пукнатините на ледниците Контел, Джонсън и Балкан.

2. Идентифициране посоката и интензитетът на въздушните потоци в рамките на пукнатинно-дренажните системи.

3. Сравнение на променливостта на дълбочината на зоната с постоянно отрицателни температури за период от една година.

4. Изчисляване степента на корелация между външните температурни параметри, показателите за слънчева активност и метеорологичните условия в пукнатинно-дренажната среда.

5. Физическо достигане на основата на ледника с цел събиране на седиментни проби за последващ геоложки анализ.

6. Търсене на директна връзка между слънчевата активност и термодинамичните процеси в ледниковите пукнатини.

Поставените от докторанта цели и задачи са правилно формулирани и съответстват на научно изследване по темата на дисертацията.

Структура на дисертацията

Работата е оформена в 110 страници, съдържа 42 фигури и 12 таблици. Цитирани са 73 литературни източника на латиница и 5 на кирилица. Най-напред са уводът, актуалността, целите и задачите на дисертационния труд, после три основни глави, посветени на проучването и изследванията по темата и накрая са дискусията, заключението, приносите, статиите на автора по темата на дисертацията, благодарностите и използваната литература.

Първа глава е Литературен обзор, който представя природата и цикличността на **слънчевата активност**, слънчевите петна и изригвания, слънчевия вятър, както и основните **метеорологични параметри** и тяхното влияние върху карстовите системи, седиментация и дренажните системи на ледниците.

Втора глава е насочена към проучването на метеорологичните параметри на близката до земята атмосфера, повърхността на земята и карстовия район на пещерата „Колкина дупка“, разположена в Поноор планина, част от Западна Стара планина в България. Това е **най-дълбоката и най-дълга пещера в страната** с дължина над 25 km и изчислена дълбочина от 800 метра. Разгледани са температура на водата и въздуха, относителна влажност и скорост на вятъра в съответствие с целите на дисертацията. Тези параметри са значително повлияни от слънчевата активност, която от своя страна влияе върху температурното разпределение в подземните карстови кухни.

Метеорологичните данни в пещерата (температура, влажност, скорост и посока на въздушните течения) са събирани с помощта на автоматични логери, докато данните за атмосферните условия на повърхността са получени от Националния Институт по Метеорология и Хидрология. Информацията за слънчевата активност (брой слънчеви петна и F10.7 индекс) е взета от сайта на Кралската обсерватория на Белгия (SILSO 2024).

Тук са описани районът на изследването, времето и мястото на експериментите и сензорите, с които са измервани параметрите. За статистически анализ на получените данни и проверка на хипотезата за връзка между променливите се използва корелационният коефициент на Pearson, включително двустранни и кръстосани корелации, чрез статистическия софтуер SPSS, а за откриване на циклични явления са приложени процедури от програмния език Python.

Резултатите от изследването са представени в 14 фигури и три таблици и систематизирани в пет извода.

Установено е, че валежите в района на Поноор планина водят до минимални температурни флуктуации.

Изследвани са статистическите зависимости между температурите на въздуха на различна дълбочина в пещерата (40 m и 130 m) и повърхностните метеорологични параметри както през зимния, така и през летния сезон. Резултатите показват значителна отрицателна корелация между температурите на въздуха в дълбоките подземни въздушни потоци (на дълбочина от 130 m) и температурите на входа на

пещерата (на дълбочина от 40 m) през зимните месеци и обратно през пролетта и лятото.

Анализът на корелациите между външната температура, температурите, измерени от вътрешните сензори в пещерата (на дълбочина 40 m и 130 m), и слънчевата активност (брой слънчеви петна и F10.7 индекс) показва ясно изразени сезонни различия. През летния сезон корелациите между слънчевата активност, външната температура и температурата на дълбочина 40 m са положителни, а на 130 m - отрицателни. Най-силна връзка се отчита между F10.7 индекса и външната температура. През зимния сезон корелациите отслабват значително и са предимно отрицателни както за плиткия, така и за дълбокия сензор. Връзката между слънчевата активност и външната температура почти изчезва, което предполага, че през зимата локалните атмосферни и климатични фактори доминират над влиянието на слънчевата активност.

Корелациите за въздушните течения в системата на Колкина дупка показват, че те са резултат от комплексно взаимодействие между локалните метеорологични условия и слънчевата активност. Основният контролиращ фактор е градиентът на температурата и налягането между повърхността навън и вътрешността на пещерата, но слънчевата активност допринася за модифициране на циркулацията, особено при висока активност и в условия на бързи атмосферни промени.

Впечатляваща е работата, извършена от Цветан Паров, посветена на изследването на най-дълбоката и дълга пещера в България – Колкина дупка в Понор планина – от избора, подготовката и калибрирането на лагерите, експедициите за тяхното поставяне на дълбочина 40 и 130 метра и после отново слизане в пещерата за събиране на данните от тях до обработката им, анализа и научните публикации. За изследване на микроклимата в пещерите са необходими данни поне за един слънчев цикъл с продължителност 11 години. Засега има непрекъснат мониторинг на метеорологичните параметри в пещерата за две години (2023 и 2024) от максималната фаза на 25ия слънчев цикъл (начало декември 2019, максимум октомври 2024).

Тези резултати и натрупаният опит от изследванията на микроклимата в пещерите позволяват на докторанта да използва установената методика, както и нови подходи за проучване на друг тип подземни кухини, каквито са подледниковите структури на Антарктида.

Трета глава разглежда атмосферните процеси в криокарста на Антарктида в района на Българската антарктическа база „Св. Климент Охридски“ и Испанската база „Хуан Карлос I“. Благодарение на наличието на сравнително леснодостъпни ледникови системи, пукнатини и дренажни канали, Ливингстън предоставя добри условия за изучаване на връзката между измененията на метеорологичните параметри на повърхността и вътре в ледниковите пукнатини и възможната им зависимост от слънчевата активност.

Цветан Паров участва в 32-рата (2024 г.) и 33-тата (2025 г.) Българска антарктическа експедиция и провежда теренни изследвания за проучване поведението на вертикалните въздушни маси в пукнатинно-дренажните системи на три ледника: леденото поле Балкан-Перуника, ледник Джонсънс и ледник Контел. Общата продължителност надхвърля 60 дни, което го прави най-дългото температурно мониториране на ледникови пукнатини в Антарктида.

Направен е доста подробен увод за климата в Антарктида. Описано е местоположението на ледниците и теренните обхождания за намиране на подходящи пукнатини и ледена пещера. Трябва да се отбележи, че методиката за идентифициране на цепнатини и инсталиране на сензорите е изключително опасна и изисква широк спектър от умения в алпинизма, спелеологията и пропастното спасяване, които авторът

и неговия екип притежават. Общо 19 сензора за измерване на температура, относителна влажност, скорост и посока на вятъра са инсталирани на ротационен принцип в и върху изследваните ледници, като са използвани и данните от метеорологичната станция, разположена над Българската база.

За статистически анализ на получените данни и проверка на хипотезата за връзка между променливите отново се използва корелационният коефициент на Pearson чрез статистическия софтуер SPSS, а за изследване дълбочината на проникване на топлината от повърхността е изчислена статистическата дисперсия чрез специално написана процедура на програмния език Python.

Резултатите от проучванията са представени в 13 фигури и 12 таблици и систематизирани в 6 извода.

За всички изследвани пукнатини на ледниците Конгел, Джонсън и Балкан е установен отчетлив вертикален температурен градиент с намаляваща амплитуда на колебанията на всеки 3 m: вътрешните температури спадат и стават по-стабилни с дълбочината. Определена е зоната на постоянни (стабилни) температури (-0.02 °C в повечето сензори) на дълбочини над $\sim 9-11$ m, което означава, че до там прониква топлината от повърхността на ледника.

Ултразвуковите анемометри показват променливи въздушни потоци с ясно изразени циклични вариации - по-малко движение към обяд, повече интензивност около полунощ. Възходящите потоци се засилват при бури, валежи или силен вятър на повърхността, а низходящите потоци доминират при спокойни условия.

За период от една година се наблюдава пространствена и времева изменчивост. В някои пукнатини по периферията на ледника, зоната на постоянни температури се измества нагоре при ветровити условия, докато в централните пукнатини остава по-дълбока и стабилна. Ролята на вятъра е значима: дни със силен вятър водят до по-плитка зона на постоянни температури.

Успешно са достигнати субледникови пространства под ледено поле Балкан и са взети седиментни проби. В тези участъци са наблюдавани стабилни температури над водния поток и засилено повърхностно топене. Въпреки, че няма пряко отношение към темата на дисертацията, събирането на геоложки проби допълва интердисциплинарното проучване на ледниците.

Получени са статистически значими зависимости и устойчива отрицателна корелация между вътрешните температури в пукнатините и броя слънчеви петна. Направен е извод, че има връзка, но тя е сложна, не винаги линейна и зависи от локалните морфологични и метеорологични фактори.

Следва подробна **дискусия** за обяснение на получените резултати, които съответстват на концепцията за **Антарктическата климатична аномалия** (описва обратния термодинамичен отговор на Антарктида спрямо промените в облачността в сравнение с глобалната норма при приблизително 63° южна ширина). Подчертана е необходимостта от създаване на полярно-специфични климатични модели и от по-задълбочено изследване на връзката между слънчевата активност, космическите лъчи, облаците и климата.

Разгледани са изследванията на редица автори, посветени на физиката на слънчево-тропосферните взаимодействия и промените в състоянието на климатичните системи в карста и криокарста – влияние на Електрическия потенциал на йоносферата, глобалната атмосферна електрическа верига.

Работата, представена от Цветан Паров е пионерска, с големи **перспективи**. Създадена е методика на изследване както на дълбоки пропасти пещери, така и на пукнатини в ледниците на Антарктида, поставено е началото на постоянен мониторинг с цел получаване на данни за цели слънчеви цикли. Предвижда се допълнително разполагане на още сензори, на по-големи дълбочини достигащи до -500 m., в различни

разломи, пресичащи Колкина дупка, което ще даде информация за температурите в затворени дълбоки обеми; разширяване на изследванията към други полярни региони, интеграция със сателитни данни и разработване на усъвършенствани числени модели за по-пълно разбиране на сложните взаимоотношения между слънчевата активност и климатичните процеси в полярните ледници.

Образователната и научната страна на дисертацията са представени отлично – показват дълбоко познаване на проблема, подходящо поставяне на експериментите, подробно описание на използваните методи и фактори за решаване на поставените задачи. Тези познания са достатъчни да покрият изискванията за образователната част на научната степен „Доктор“ и са добра база за продължаване на научните изследвания след защитата на дисертацията.

Оценка на Научните приноси

Заявените приноси съответстват на получените по време на изследванията резултати. Приемам приносите на дисертационния труд така както са формулирани:

- За първи път е направен сравнителен анализ на метеорологичните условия в карстови и криокарстови среди (Понор планина, България и о. Ливингстън, Антарктида) и връзката им със слънчевата активност.

- Установени са корелации между температурния режим във вътрешността на галериите и ледниковите пукнатини и вариациите на слънчевата активност.

- Предположена е ролята на облачността и радиационния баланс като медиатори на слънчевото въздействие върху локалните климатични системи.

- Намерена е статистически значима и съгласувана връзка между динамиката на температурите и въздушните течения в системите от цепнатини и дренажни канали на антарктическите ледници и слънчевата активност.

- Документирани са нови полски наблюдения за разширяването на ледниковите пукнатини и образуване на субгласиални езера, свързани с динамиката на слънчевата активност.

- Разработена е интердисциплинарна методика, включваща едновременно физични, микроклиматични и геофизични измервания.

- Въведено е използване на дрон и сензорни мрежи за измерване на температурни и морфометрични параметри на ледникови пукнатини.

- Приложени са статистически модели за корелационен анализ между температурата на въздуха във вътрешността на карстовата пещерна система и ледниковите пукнатини и слънчевата активност (брой слънчеви петна, 10.7 cm радиоизлъчване).

- Изследванията в Понор планина допринасят за по-добро разбиране на взаимодействието между атмосферни фактори и подземни карстови системи, с практическо значение за управлението на водните ресурси в България.

- Извлечени са нови данни за динамиката на ледниците на о. Ливингстън, полезни за мониторинг на климатичните промени в региона.

- Дисертацията предлага модел за интегриране на географски, климатични и слънчево-земни данни, приложим в бъдещи изследвания на глобални и регионални климатични процеси.

Публикации на автора по темата на дисертационния труд

Основните резултати от изследванията на Цветан Паров са оформени в три самостоятелни публикации в Journal of the Bulgarian Geographical Society от 2023, 2024 и 2026 г.

Представеният автореферат отразява обективно структурата и съдържанието на дисертационния труд.

Нямам общи публикации с докторанта.

Препоръки и забележки

Нямам съществени забележки, които биха се отразили на цялостната положителна оценка на работата, свършена от докторанта. Бих отправила някои препоръки, свързани с представените графики на зависимостите – необходимо е точно изписване на величините и техните мерните единици по координатните оси, както и текстът към фигурите да е на български или английски, такъв, че веднага да се разбира откъде са данните и какво показват. Искам още да препоръчам на Цветан Паров да продължи да работи и да се развива в тази област със същия ентузиазъм и вече натрупани умения като разшири изследванията си и приложи разработената методика и в Арктика, което ще допринесе за разбирането на измененията в климата и състоянието на ресурсите на цялата ни планета. И накрая - да продължава преподавателската дейност и лекциите за ученици и граждани, поднасяйки по интересен начин и с лекота нова и уникална научна информация.

Заклучение

Въз основа на анализа на поставените експерименти, получените резултати и приносите на докторанта правя извода, че изследванията на автора са оригинални, от особена важност за изясняване процесите в областта на слънчево-земната физика и имат екологична и практическа значимост, свързана с глобалното изменение на климата и състоянието на сладководните запаси на планетата.

Нивото на дисертацията и личният принос на автора ми дават основание за заключението, че представеният дисертационен труд е самостоятелно изследване на високо научно ниво и съответства на изискванията на Закона за развитие на академичния състав на Република България и Правилника на БАН за неговото прилагане.

Препоръчвам на уважаемите членове на Научното жури да присъдим на Цветан Иванов Паров образователната и научна степен „Доктор“ в Научна област на висшето образование 4. „Природни науки, математика и информатика“, Професионално направление 4.1. „Физически науки“, Научна специалност „Физика на океана, атмосферата и околното пространство“.

Председател на Научното жури:

/Проф д-р Пенка Стоева/

