

ПРЕДИКЦИЈА ГЕОГРАФСKE ЛАТИТУДЕ ПРИЗЕМЉИВАЊА ГВОЗДЕНИХ МЕТЕОРИТА НА ПРОСТОРУ БАЛКАНСКОГ ПОЛУОСТРВА

ВИОЛЕТА Н. НИКОЛИЋ¹, JOSE F. M. L. MARIANO^{2,3}

*Универзитет у Београду, Институт Нуклеарних Наука "Винча" —
институт од националног значаја за Републику Србију, Лабораторија за
теоријску физику и физику кондензоване материје,
Мике Петровића Аласа 12-14, 11 001 Београд*

E-mail: violeta@vin.bg.ac.rs

² *FCT, Campus de Gambelas, University of Algarve, Faro,
8005-139, Portugal*

E-mail: jmariano@ualg.pt

³ *Center of Physics and Engineering of Advanced Materials (CeFEMA), IST,
University of Lisboa, Av. Rovisco Pais, Rovisco Pais, Lisboa,
1096-001, Portugal*

E-mail: jmariano@ualg.pt

Резиме: У овом раду је дискутован модел, који би омогућио разумевање и предикцију географске латитуде гвоздених метеорита на простор Балканског полуострва. Модел је базиран на разматрању локације приземљивања највећег 1-фрагментисаног, као и најтежег метеорита Хоба. Модел је показао задовољавајуће резултате, и требао би бити више истраживан у будућности.

Кључне речи: гвоздени метеорити, Балканско полуострво, географска латитуда, метеорит Хоба, маса

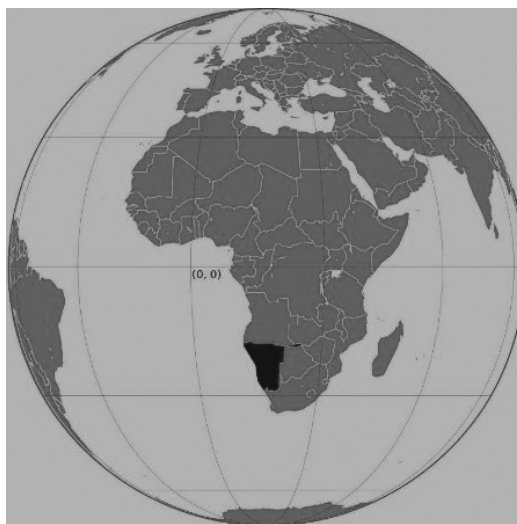
1. УВОД

Метеорити су небеска тела, која од давнина привлаче пажњу научне јавности. На основу пронађених и каталогизираних података, на подручје Балканског полуострва је пало пет гвоздених метеорита, о чему ће бити више речи у овој студији.

Прогнозирање локације пада метеорита је раније било тешко, чак и ако се његов пад види голим оком. Са друге стране, присуство сателита на данашњем небу би требало значајно да олакша предикцију локације приземљивања мете-

орита. Постављање одговарајућег модела и његово усавршавање би требало да убрза решавање овог питања. Треба истаћи да је постављање модела у овом циљу осетљив посао, због тога што је познато да метеорит губи масу током процеса спуштања кроз Земљину атмосферу, а масе пронађених метеорита су обично мале. Међутим, чак и такве, представљају само пронађене масе, што може значити да није пронађена целокупна маса метеорита, посебно уколико се метеорита распада током пада. Са друге стране, питање локације његовог приземљивања такође може бити дискутабилно, због тога што он може бити померен са дате локације, и упитна је веродостојност места његовог проналаска.

У циљу елиминисања ова два проблематична питања (проналажења целокупне масе, и веродостојности географских координата на којима је метеорит пронађен), у овом раду, модел је постављен на основу разматрања локације приземљивања метеорита Хоба, који је најтежи једно-фрагментни метеорит, чији остаци су сачувани до данашњих дана. Метеорит Хоба је изабран као одговарајући кандидат, због своје велике масе. Маса му је износила око $66 \cdot 10^3 \text{ kg}$, што искључује могућност његовог померања са локације, на којој је пронађен (иако су туристи и ерозија допринели томе да његова маса сада буде за две тоне мања). Са друге стране, његово приземљивање се десило 1920. године, што не спада у далеку прошлост, и постоје прецизни подаци о овом догађају (Beech, 2013). Географске координате, на којима је пронађен метеорит Хоба, су: $19^\circ 35' \text{ S}, 17^\circ 56' \text{ E}$. Метеорит је пао на фарму, по имену "Hoba West" (по којој је добио име), у Републици Намибија, Слика 1.



Слика 1. Географски положај Републике Намибија, афрички континент.

У наставку текста ће прво бити приказани општи подаци о метеоритима, приземљеним на Балканско полуострво, као и физичке одлике гвоздених метеорита, а затим ће бити продискутована могућност предикције њиховог приземљивања на одређеној географској латитуди.

2. ОПШТИ ПОДАЦИ О МЕТЕОРИТИМА, ПРИЗЕМЉЕНИМ НА ПОДРУЧЈЕ БАЛКАНСКОГ ПОЛУОСТРВА

У овом раду су разматрани гвоздени метеорити, који су се приземљили на простор држава Балканског полуострва, и земаља из ближег и даљег окружења Републике Србије (Словенија, Мађарска, Хрватска, Босна и Херцеговина, Румунија, Бугарска, и Грчка). На основу каталогизираних података (подаци су приказани на сајту Метеоритског Друштва (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=Iron%2C+IAB-LL&sfor=types&stype=exact&lrec=50&srt=>)), овде је приказано пет гвоздених метеорита. Почетак евиденције пада гвоздених метеорита се десио средином XVIII века, тако да су разматрани метеорити, који су падали у раздобљу од скоро два века (1751 – 1949).

Треба навести да литература показује да се метеорити генерално деле на гвоздене и камене, и да је разлика између њих у њиховом минеролошком саставу. Преглед литературе показује да усредњени састав гвоздених метеорита подразумева следеће масене уделе хемијских елемената: гвожђе ($\text{Fe} = 90.78 \pm 0.24\%$), никал ($= 8.59 \pm 0.24\%$) и кобалт ($\text{Co} = 0.631 \pm 0.019\%$). Са друге стране, камени метеорити су такође окарактерисани присуством истих магнетних елемената, али заступљених у мало другачијим масеним уделима: $\text{Fe} = 88.58 \pm 0.55\%$, $\pm 10.69 \pm 0.51\%$, $\text{Co} = 0.705 \pm 0.056\%$. Веће концентрације никла и кобалта у металној фази камених метеорита се објашњавају посебном релацијом, у односу на укупну количину металне фазе у метеориту; наиме, концентрација никла и кобалта расте, како удео металне фазе у метеориту опада (Brown H, 1947).

У Табели 1 су приказани називи и године пада метеорита на територију Балканског полуострва. Табела 1 омогућује преглед учестаности пада метеорита различитих структура (гвоздени и камени) на ово подручје.

Табела 1. Гвоздени и камени метеорити, пронађени на територији Републике Србије и држава из окружења, као и на простору Балканског полуострва, у периоду између 1751 – 1949/55. године.

Назив државе	Укупан број пронађених метеорита	Назив метеорита	Година пада / проналаска метеорита	Тип метеорита
Словенија	1	<i>Avče</i>	1908	Гвоздени
Мађарска	10	<i>Mike</i>	1944	Камени
		<i>Kisvarsány</i>	1914	Камени
		<i>Nyirábrany</i>	1914	Камени
		<i>Kis-Gyor</i>	1901	Камени
		<i>Ofehértó</i>	1900	Камени
		<i>Nagy-Vázsony</i>	1890	Гвоздени
		<i>Kaba</i>	1857	Камени
		<i>Mikolawa</i>	1837	Камени
		<i>Ofen</i>	1842	Камени
		<i>Miskolcz</i>	1559	Камени

Хрватска	4	<i>Dubrovnik</i>	1951	Камени
		<i>Slavetić</i>	1868	Камени
		<i>Milena</i>	1842	Камени
		<i>Hrašćina</i>	1751	Гвоздени
Босна и Херцеговина	2	<i>Ozren</i>	1952	Гвоздени
		<i>Zavid</i>	1897	Камени
Србија	5	<i>Dimitrovgrad</i>	1955	Гвоздени
		<i>Čačak</i>	1919	Камени
		<i>Guča</i>	1891	Камени
		<i>Jelica</i>	1889	Камени
		<i>Soko-banja</i>	1877	Камени
Румунија	8	<i>Tauti</i>	1937	Камени
		<i>Sopot</i>	1927	Камени
		<i>Mocs</i>	1882	Камени
		<i>Zsadany</i>	1875	Камени
		<i>Kakowa</i>	1858	Камени
		<i>Ohaba</i>	1857	Камени
		<i>Mező-Madaras</i>	1852	Камени
		<i>Tuzla</i>	1920	Камени
Бугарска	5	<i>Pavel</i>	1966	Камени
		<i>Konovo</i>	1931	Камени
		<i>Gumoschnik</i>	1904	Камени
		<i>Virba</i>	1873	Камени
		<i>Rasgrad</i>	1740	Камени
Грчка	6	<i>Seres</i>	1818	Камени
		<i>Larissa</i>	1706	Камени
		<i>Thrace</i>	452	Камени
		<i>Aegospotami</i>	-465	Камени
		<i>Cassandra</i>	1871	Камени
		<i>Delphi</i>	непозната	Камени

Минеролошки састав четири гвоздена метеорита је приказан у Табели 2. (Scott, 1975).

Табела 2. Минеролошки састав гвоздених метеорита (Nagy-Vázsony, Авче, Димитровград, и Храшчина).

Називи метеорита су у Табели приказани њиховим почетним словом: Х – Храшчина, N - Nagy-Vázsony, А – Авче, и Д – Димитровград.

Због једноставнијег сналажења у Табели, називи хемијских једињења су приказани као прва два латинична слова назива дискутованог минерала:

Tr - Троилит (FeS), Zo - Zolenskit FeCr_2S_4 , Sc - Schreibersite ($\text{Fe, Ni}_3\text{P}$), Co - Cohenite (Fe_3C), Ha - Naхonite ($\text{Fe, Ni}_{23}\text{C}_6$), Ca - Carlsbergite (CrN)

Минерали, који су се појавили услед знакова шокирања (током проласка метеорита кроз атмосферу, и његовог приземљивања) су означени као Ss - Shock signs. Табела означена као "Остали", се односи на присуство минерала који нису поменути у претходним колонама.

Објашњење уведених ознака:

α - Отопљени троилит

β - Полегнути камацит (деформација, услед дејства ефеката "шокирања" (Hatched kamacite))

γ - Хромит (FeCr_2O_4)

δ - Фосфати

ϵ - Сфалерит (ZnS)

ζ - графит који потиче само од распада (декомпозиције) карбида

+ - има хемиског једињења означеног грчким словом

* - ређе учавано

/ - нема

Значење бројева:

0 - нису уочени; 1 - слабо заступљени; 2 - присутни; 3 - широко распрострањени

Ознака метеорита	Сулфиди		Фо-сфи-ди	Карбиди		Гра-фит	Нитриди	Си-ли-кати	Ss		Остали		
	Tr	Zo	Sc	Co	Ha		Ca		α	β	γ	δ	ε
X	1-2	1	2-3	0	1	0-1	0	0-1	2	1	*	/	/
N	2	1	2	3	2	2	1	1-3	1/2	1	+	+	+
A	1	2	2	1	2	ζ	1	0	2-3	0	*	/	/
Д	1-2	2	1-2	1	0	0-1	3 → 0	0	2	3	*	*	+

Састав метеорита Озрен је приказан у облику удела појединачних елемената (Wasson, 2002), у Табели 3.

Табела 3. Састав и удели хемијских елемената метеорита Озрен. Елементи Co и Ni су приказани у јединицама (mg/g); Sb и Re у јединицама (ng/g), док су остали елементи (Cr, Cu, Ga, Ge, As, W, Ir и Pt) приказани у јединицама ($\mu\text{g/g}$).

Елемент гвожђе није коментарисан у оквиру табеле.

Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Ge	As	Sb	W	Re	Ir	Pt	Au
31	4,75	70,9	139	78,5	280	14,1	280	1,02	204	2,59	4,8	1,586

Општи подаци о гвозденим метеоритима, дискутованим у оквиру ове студије, су приказани у Табели 4.

Табела 4. Општи подаци о гвозденим метеоритима: Димитровград, Храшчина, Озрен, Nagy-Vázsony, и Авче.

Назив метеорита	Време пада	Маса метеорита [kg]	Географске координате, на којима је пронађен метеорит
Димитровград	1949.	~ 100	43 ° 20' N; 22 ° 52' E
Храшчина	26.05.1751.	~ 50	46° 60' N; 16° 20' E
Озрен	1952.	~ 3.9	44° 36' N; 18° 20' E
Nagy-Vázsony	17.01.1890.	~ 2	46° 59' N; 17° 42' E
Авче	31.03.1908.	~ 1.23	46° 00' N; 13° 30' E

У овом раду, биће претпостављено да су пронађене масе представљале стварне масе приземљених метеорита, и да метеорити нису померани са географских координата, на којима су пронађени.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У циљу постављања модела, који би објаснио географске координате гвоздених метеорита, палих на тло Балканског полуострва, прво ће бити постулирано потенцијално образложење пада метеорита Хоба.

Подсетимо се да је метеорит Хоба највећи 1-фрагментни комад метеорита ($66 \cdot 10^3 \text{ kg}$), али упркос томе, његова маса је значајно мања од масе планете Земље ($5.97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$). Ако размотримо судар између метеорита Хоба и планете Земље, имајући у виду много мању масу метеорита Хоба, може се претпоставити да метеорит интерагује са центром масе Земље, који би био смештен на географске координате Нултог Острва ($0^\circ, 0^\circ$). Према томе, модел се састоји од неколико премиса:

- 1) Основна премиса модела је претпоставка, да је метеорит Хоба, услед гравитационог привлачења, привучен најкраћом путањом 99(након уласка у Земљину егзосферу) географским координатама ($0^\circ, 0^\circ$).
- 2) Друга премиса модела разматра утицај Земљине центрипеталне силе, која је најизраженија дуж екватора (дуж чије линије је, такође, постављено Нулто Острво). Претпостављено је да центрипетална сила, не само што утиче на масу метеорита Хоба, него и помера метеорит Хоба, даље од локације Нултог Острва.
- 3) Следећа претпоставка јесте, да метеорит Хоба представља метеорит, чији је пад био подложен најмањем одступању од локације Нултог Острва (услед дејства центрипеталне силе), због тога, што је био окарактерисан највећом масом (најјаче гравитационо привлачење).
- 4) Четврта премиса разматра међусобни утицај различитих сила, које де-

лују на метеорит, а чији је интензитете условљен различитим физичким одликама метеорита (попут масе и брзине). Резултат надметања сила (овде ће бити наведене неке од њих, за које се претпоставља да имају већи допринос одређивању локације приземљивања метеорита: гравитациона сила, сила аеродинамичког отпора, центрипетална сила, и сила магнетне интеракције) доводи до одклона метеорита од локације Нултог Острва, и одређује координате његовог приземљивања.

- 5) Последња постулирана премиса модела дискутује утицај близине Земљиних магнетних полова, на положај њиховог приземљивања, као и значај магнетне деклинације, карактеристичне за годину (временски тренутак) у ком метеорит улази у Земљину атмосферу.

Може се претпоставити да је метеорит Хоба ушао у Земљину атмосферу, на довољној удаљености од Земљиних магнетних полова, што му је омогућило да настави своје спуштање према Нултом Острву. Према овом моделу, претпостављено је да се улазак метеорита у Земљину атмосферу дешава на географским координатама, које нису карактеристичне за непосредну близину Земљиних магнетних полова.

На бази постављених премиса модела, може се дати објашњење одступања географских координата пада метеорита Хоба, од локације Нултог Острва. Одређивање географске лонгитуде места пада метеорита је комплексније од одређивања географске латитуде, због чега ће у овом раду бити дискутована само латитуда.

Ако узмемо у обзир другу премису модела, могло би се претпоставити да би метеорит Хоба слетео на нулти степен латитуде, у случају да Земља не ротира (Земљина ротација узрокује присуство центрипеталне силе). Дакле, може се претпоставити да метеорит пада према (0° , 0°) координатама, све док се не нађе директно на правцу екватора, када бива отклоњен од те тачке, услед дејства центрипеталне силе. Ако узмемо у обзир да се одклон дате масе метеорита манифестује дуж северне или јужне латитуде, и ако се узме у обзир да одклон започиње након што се Хоба нашао изнад (0° , 0°) координата, очекује се да ће, услед своје велике масе, метеорит Хоба скренути испод екватора (а не изнад њега), што представља јужну латитуду на којој се метеорит Хоба зауставио ударом о површину Земље (на латитуди од $19^\circ 35'S$). Груба представа удаљености пада метеорита Хоба, од Нултог Острва је приказана на Слици 1 (у смислу удаљености државе Намибије, означене тамнијом бојом на континенту Африка, од Нултог острва, које је на слици обележено координатама (0, 0)).

Даља поставка модела се базира на претпоставци да метеорит масе Хоба ($66 \cdot 10^3 \text{ kg}$) бива отклоњен од тачке (0° , 0°), за тачно $19^\circ 35'S$ (колико износи латитуда његовог приземљивања). То представља полазни ослонац за одређивање географске латитуде слетања гвоздених метеорита, на територију Балканског полуострва.

Латитуда приземљивања метеорита, палих на Балканско полуострво, је разматрана у наставку рада. Питамо се, ако метеорит Хоба, чија је маса $66 \cdot 10^3 \text{ kg}$, пада на (0° , 0°), на коликој удаљености од (0° , 0°) тачке би требало очекивати појаву метеорита, масе $1 \cdot 10^2 \text{ kg}$, ако бисмо претпоставили да остали фактори утичу подједнако на ове метеорите и метеорит Хоба, што омогућује издвајање фактора масе, као одлучујућег, за избор латитуде слетања метеорита.

Ако бисмо претпоставили да одклон од Нултог острва опада за 1000kg по једном степену латитуде, то значи да би очекивали да метеорит масе 66kg (ово је оквирна маса, тј. исти ред величине, карактеристична за метеорит Храшчина, Табела 4) пао најдаље на 66 -ом степену удаљености од Нултог острва. То би било очекивано, када бисмо сматрали да је метеорит Хоба слетео на тачку (0° , 0°).

У сваком случају, вредност 66° латитуде на неки начин представља горњи лимес латитуде могућег пада метеорита, обзиром да се ова вредност значајно приближава вредности латитуде од 70°N , која подразумева да би метеорит био привучен северним магнетним полом (што потврђује исправност модела), тако да не би могао бити ни каталогизиран. Посебно то долази до изражаја, ако узмемо у обзир да су разлике у редовима величине маса дискутованих метеорита мање од 1000kg (крећу се у распону од неколико килограма до 100kg); онда се може, угрубо, узети да вредност од 66°N представља горњу границу вредности латитуде одклона метеорита.

Међутим, како је метеорит Хоба померен за $19^\circ 35'\text{S}$ од тачке (0° , 0°), услед дејства центрипеталне силе, требало би очекивати слетање метеорита Храшчина, на географску латитуду од: 66°N или $S \pm 19^\circ 35'\text{S}$. Како област од $85^\circ 35'\text{S}$ већ представља област која је у релативној близини $\sim 90^\circ\text{S}$, и представља област јаког привлачења јужног магнетног пола, очекивано је да метеорит Храшчина атерира на локацију латитуде, која је удаљена од (0° , 0°) тачке највише за: $66^\circ\text{N} - 19^\circ 35'\text{S} = 46^\circ 65'\text{N}$. Заиста, према Табели 4, латитуда на коју је слетео метеорит Храшчина износи: $46^\circ 60'\text{N}$. Са друге стране, очекивано је да тежи метеорит падне ближе Нултом острву, па је тако разумљива латитуда метеорита Димитровград (Табела 4, $43^\circ 20'\text{N}$), премда вредност не прати динамику опадања масе од 1000kg по 1° латитуде, што се објашњава четвртом премисом и утицајем других фактора.

Угрубо, ако се претпостави да најтежи метеорит најмање одступа од тачке (0° , 0°), очекивало би се (уз важење истих, дискутованих услова), да координате слетања метеорита најмање масе највише одступају од тачке (0° , 0°). Према Табели 4, могло би се закључити да се, већински, метеорити понашају очекивано са постављеним моделом. Метеорит Димитровград је слетео најближе латитуди Нултог острва, и окарактерисан је највећом масом.

Са друге стране, метеорити Nagy-Vázsony, Авче, и Озрен показују за око пола реда величине мање масе од метеорита Храшчина, док је метеорит Димитровград окарактерисан масом већом за око пола реда величине од метеорита Храшчина. Међутим, ако узмемо у обзир да је разлика у масама дискутованих метеорита свакако мања од 1000kg по једном степену латитуде, распон падања у оквиру од око $3,45^\circ$ је прихватљив, ако узмемо у обзир утицај осталих фактора (премиса 4).

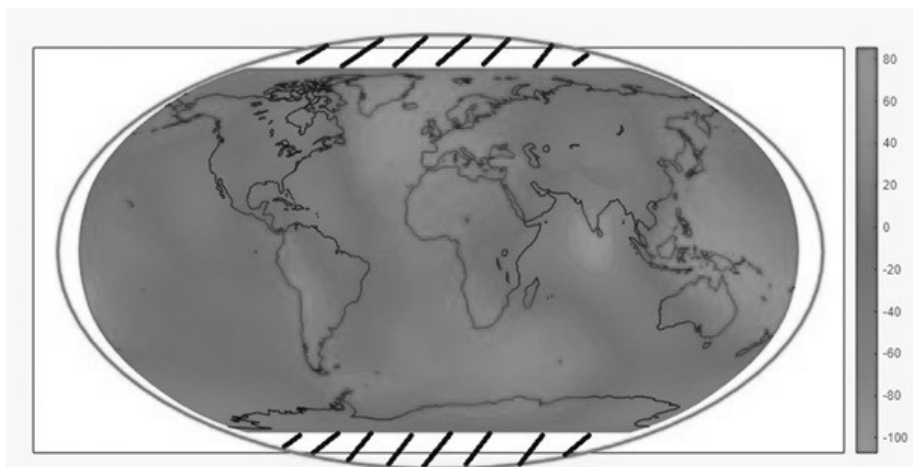
У случају дискутованих метеорита, претпостављено је да су њихове брзине и координате уласка у Земљину атмосферу утицале на исти начин на одређивање координата локације њиховог пада, као што су брзина и координата уласка метеорита Хоба, утицале на локацију његовог пада. Ако то није случај, према моделу се очекује девијација резултата (одређивања локације пада метеорита) од очекиване вредности.

Како су два алтернативна параметра која утичу на одређивање латитуде пада и однос сила, брзина и координате уласка метеорита у Земљину атмосферу, нека претпоставимо насумично да неки од та два параметра одступа, у

случају метеорита Озрен (јер се види из Табеле 4 да су метеорити Nagy-Vázsony и Авче окарактерисани сличним масама и сличним латитудама пада, док је метеорит Озрен окарактерисан сличном масом, али другачијом латитудом). Претпоставимо да је брзина метеорита Озрен окарактерисана сличним условима положаја уласка метеорита у Земљину атмосферу као у случају метеорита Хоба, а да је параметар, који му се знатно разликује у односу на метеорит Хоба, брзина његовог путовања кроз свемир, и брзина његовог пада. Како је метеорит Озрен окарактерисан малом масом, његово гравитационо привлачење тачки (0° , 0°) је слабије. Ако би такво тело пало ближе тачки (0° , 0°) од вредности, која је очекивана према моделу, то се може објаснити као резултат његове брзине, веће од 10km/s .

Са друге стране, веће брзине указују на јачу силу аеродинамичког отпора, што указује на значај услова уласка у атмосферу (географске координате, и угао под којим метеорит слеће). У оваквом случају, надметање између силе аеродинамичког отпора и услова уласка у атмосферу, ће представљати одлучујући фактор за одређивање локације пада метеорита Озрен, и више ће утицати на избор локације, него његова маса.

Претпоставка модела, по којој надметање гравитационе силе, центрипеталне силе, и силе аеродинамичког отпора одређује локацију приземљења метеорита (док је утицај силе магнетне интеракције између метеорита и геомагнетног поља Земље, занемарљив), би требала да буде валидна за простор Земљине кугле, који није близу Земљиних магнетних полова (груб приказ је дат на Слици 2).



Слика 2. Простор Земљине кугле, на ком надметање гравитационе силе, центрипеталне силе, и силе аеродинамичког отпора одређује латитуду пада метеорита. Слика је направљена у програму Матлаб (MathWorks Inc, 2022).

Боје означавају валовитост Земљиног геоида, изражену у метрима.

3.1. Пета премиса модела

Ако би метеорит ушао у Земљину орбиту у непосредној близини једног од магнетних полова, дати модел претпоставља детаљније разматрање друге пре-

мисе, уз осврт на пету премису. У том случају, претпоставка модела је да се метеорит тада не би кретао у правцу (0° , 0°) острва, него би се приземљио у области једног од Земљиних магнетних полова (оном, који му је ближи), због тога што би био привучен истом, силом снажне магнетне интеракције.

Близина полова подразумева географску област, која је окарактерисана геоманетним пољем највећег интензитета. Ако се посматра промена јачине геоманетног поља са географском латитудом, у случају северног магнетног пола, одлучујућу удаљеност од пола (пресудну за доминантан утицај силе магнетне интеракције, и њено надвладавање осталих сила које утичу на пад метеорита) представља улазак метеорита у Земљину егзосферу на географским координатама, које би резултирале завршетком трајекторије метеорита у области између 70° - 90° N, а у случају јужног магнетног пола, то би била област ближа 90° , Табеле 5 и 6 (вредности су очитане помоћу: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?useFullSite=true#igrfwmm>).

Табела 5. Приказ јачине интензитета укупног магнетног поља дуж географске латитуде, уз корак од 10° .

Парови (Северна Латитуда, Лонгитуда)	Укупно магнетно поље [nT]
(0° N, 0°)	31,839.7
(10° N, 0°)	33,186.1
(20° N, 0°)	36,296.0
(30° N, 0°)	40,768.4
(40° N, 0°)	45,156.8
(50° N, 0°)	48,633.1
(60° N, 0°)	51,202.4
(70° N, 0°)	53,227.9
(80° N, 0°)	55,177.5
(90° N, 0°)	56,888.0

Табела 6. Приказ јачине интензитета укупног магнетног поља дуж географске латитуде, уз корак од 10° .

Парови (Јужна Латитуда, Лонгитуда)	Укупно магнетно поље [nT]
(0° S, 0°)	31,839.7
(10° S, 0°)	30,604.3
(20° S, 0°)	28,064.6
(30° S, 0°)	25,006
(40° S, 0°)	23,462

(50° S, 0°)	24,935
(60° S, 0°)	29,804.2
(70° S, 0°)	37,355.5
(80° S, 0°)	46,114.5
(90° S, 0°)	54,382.3

Према томе, може се закључити да метеорит не бива привучен од стране Земљиних магнетних полова, ако би географске координате завршетка његове трајекторије, биле у опсегу: $0^{\circ}70^{\circ}N$, и од $0^{\circ} \leq 90^{\circ}S$. У овим областима, привлачење метеорита ка Нултом Острву (услед дејства гравитационе силе) бива надвладано привлачењем, узрокованим дејством силе магнетне интеракције.

Да би се ово боље разумело, подсетимо се да тренутни модели геомагнетног поља не дају савршено поклапање са правим вредностима геомагнетних интензитета, због тога што математички израз (који се користи за фитовање) садржи чланове, чији значај још увек није математички објашњен. Другим речима, имамо математички члан, ком још увек није приписано одговарајуће физичко објашњење.

У већини случајева, данашњи програми за моделовање геомагнетног поља и израчунавање геомагнетних интензитета на жељеним географским координатама, се базирају на моделу, који је предложио Гаус (Garland, 1979).

Важно је приметити, да је Гаус је претпоставио постојање два извора геомагнетног поља, иако данашњи калкулатори геомагнетног поља рачунају интензитета само на основу једног извора геомагнетног поља (разматра се постојање само унутрашњег извора геомагнетног поља), што узрокује одступања од реалних мерних вредности.

На основу тога, јасно је да би требало до краја решити израз (j. 1), који је предложио Гаус за описивање геомагнетног поља, а који узима у обзир два извора геомагнетног поља (унутрашњи и спољашњи):

$$V = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n C_n^m \left(\frac{r}{a}\right)^n + (1 - C_n^m) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} g_n^m \cos m\lambda + S_n^m \left(\frac{r}{a}\right)^n + (1 - S_n^m) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} h_n^m \sin m\lambda P_n^m(\cos\theta). \quad (j.1)$$

У овом изразу, величине и представљају чланове, који потичу од спољашњег извора геомагнетног поља. На Земљиној површини, вертикална компонента геомагнетног поља се изражава изразом (j.2):

$$Z = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n n C_n^m - (n+1)(1 - C_n^m) g_n^m \cos m\lambda + n S_n^m - (n+1)(1 - S_n^m) h_n^m \sin m\lambda P_n^m(\cos\theta). \quad (j.2)$$

Овај израз је решен, али не на потпуно задовољавајућем нивоу, обзиром да се значење и интерпретација члана P_0 нису могла бити постићи на основу података (Garland, 1979), које је користио Гаус за постављање свог модела. Гаус је, још у оно доба, приметио да би математичка потврда неједнакости: $P_0 \neq 0$, представљала потврду неједнакости северног и јужног магнетног пола Земље, што би, даље, упућивало на постојање магнетних монопола.

Иако није згодно дискутовати могућност појаве магнетних монопола код небеских тела (услед комплексности тематике), треба приметити да су подаци, које добијамо данас, читавањем сателита, неупоредиво детаљнији и свеобухватнији, у односу на податке који су били на располагању Гаусу, што указује на могућност знатно олакшаног решавања постављеног математичког проблема. Као резултат тога, расте и заинтересованост научне заједнице за истраживање проблема магнетних монопола, као и потврђивање њиховог постојања (Carrigan et al, 1983; Atiyah & Hitchin, 2014).

У нашем случају, поновно разматрање израза за рачунање и моделовање геомагнетног поља, у близини Земљиних полова, би омогућило разматрање и опис утицаја магнетне интеракције под новим светлом. То би оправдало предложено хипотезу, по којој метеорити, чија трајекторија завршава у релативној близини полова, бивају привучени половима, дејством магнетне силе, која би у овој области надјачавала утицај преосталих сила, које модел разматра.

Утицај магнетне деклинације на пад метеорита, као и релативни утицај магнетне деклинације на лонгитуду приземљења метеорита, биће више истраживан у будућности.

4. ЗАКЉУЧАК

У овој студији је постављен модел, који омогућује одређивање очекиване географске латитуде на којој ће се приземљити метеорит, на бази његове масе, као главног фактора који одређује латитуду слетања метеорита. Поред масе, препозната су још два фактора који значајније утичу на одређивање латитуде слетања метеорита: његова брзина, и услови уласка у Земљину атмосферу (географске координате, при којима метеорит улеће у атмосферу, и њихова удаљеност од магнетних полова и (0° , 0°) тачке). Модел је постављен уз ослањање на географске координате слетања метеорита Хоба, а валидност модела је проверена на гвозденим метеоритима, који су слетели на Балканско полуострво. Модел је показао добре резултате.

Разрада модела би омогућила прецизније одређивање пада метеорита, путем мерења сателита, уз унос почетних физичких параметара, које би програм сателита могао да измери или претпостави, попут масе и брзине, док би унос услова уласка у атмосферу (географске координате и угао), сателит могао да сними. То би се касније могло користити за писање програма за прорачун и одређивање локације пада метеорита.

ЛИТЕРАТУРА

- Atiyah, M. F., Hitchin, N.: 2014, *The geometry and dynamics of magnetic monopoles*. Princeton University Press, 1-450.
- Brown, H., Patterson, C.: 1947, The Composition of Meteoritic Matter: II The Composition of Iron Meteorites and of the Metal Phase of Stony Meteorites, *The Journal of Geology*, 55, 508-510.
- Carrigan Jr. R. A., Trower W. P., Magnetic monopoles, *Nature*, 1983, p. 673-678.
- Garland, G. D.: 1979, The contributions of Carl Friedrich Gauss to Geomagnetism, *Historia Mathematica*, 6, p. 5-29.

Scott, E. R., Wasson, J. T.: 1975, Classification and properties of iron meteorites, *Review of Geophysics*, 13, 527-546.

The MathWorks Inc. (2022). MATLAB version: 9.13.0 (R2022b), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>

PREDICTION OF THE GEOGRAPHIC LATITUDE OF THE LANDING OF IRON METEORITES IN THE AREA OF THE BALCAN PENINSULA

In this paper, a model, which would enable the understanding and prediction of the geographical latitude of iron meteorites in the area of the Balkan Peninsula, was discussed. The model is based on consideration of the landing location of the largest 1-fragmented, as well as the heaviest meteorite, Hoba meteorite. The model showed satisfactory results, and should be investigated more in the future.

Keywords: iron meteorites, Balkan Peninsula, geographic latitude, meteorite Hoba, mass