

ГЕОМАГНИТНО ПОЛЕ, ГЕОМАГНИТНИ ИЗМЕРВАНИЯ И МОДЕЛИ, КАРТОГРАФИРАНЕ НА ПОЛЕТО

Иван Бъчваров

Департамент Геофизика, Национален институт по геофизика, геодезия и география на БАН,
ул. Акад. Георги Бончев, бл. 3, София 1113, ivan.buchvarov@yahoo.com

DOI: 10.34975/bgj-2020.43.9

Резюме. Дадено е кратко описание на земното магнитно поле (ЗМП). Описан е процесът на обработката на измерените на полето стойности до нанасянето им върху топографската основа. Направен е обзор на геомагнитните измервания в страната, както и изчислените модели на ЗМП в течение на годините, и е дадена кратка характеристика на изменението на деklinацията на територията на България.

Ключови думи: ГМО Панагюрище, геомагнитно поле, геомагнитни измервания, деklinация, България.

Земно магнитно поле

Земното магнитно поле (ЗМП) или още *геомагнитното поле*, измерено върху земната повърхност и околосемното пространство се поражда от два източника: 1) вътрешен – от електрически токове, протичащи в течното ядро на Земята, т.н. „магнитно динамо“ и 2) външен – от електрически токове, протичащи в земната йоносфера, породени от взаимодействието на слънчевия вятър, състоящ се от различни елементарни частички, и магнитното поле на Слънцето и полето, пораждено от магнитното динамо. Полето, произтичащо от вътрешността на Земята, се нарича условно „постоянно земно магнитно поле“ и представлява около 95% от общия интензитет на ЗМП. Полето, произтичащо от токовете в земната йоносфера, пак условно, се нарича „променливо земно магнитно поле“.

ЗМП е функция както на пространството, така и на времето. Постоянното ЗМП се изменя плавно във времето с периоди от порядъка на десетки, стотици и хиляди години, като това изменение в различни точки на земната повърхност е различно,

но за къси периоди от време (1 – 2 години) може да се приеме еднакво за територии от порядъка на нашата страна. Изменението му в пространството от точка в точка по земната повърхност в даден момент обаче може да бъде и много рязко.

Променливото ЗМП обратно – във времето то се изменя бързо, с периоди от порядъка на месеци до части от секундата, докато в пространството изменението му във времето, видът и стойностите на това изменение, обикновено остава почти едно и също за територии от порядъка на нашата страна. Основната вариация (период на изменение) е 1 денонощие (24 часа). Това е т.н. „*спокоен денонощен ход*“, дължащ се на слънчевия вятър при „*спокойно*“ Слънце. Вариациите с по-висока честота се появяват при засилена слънчева активност, при която се създават резки промени в слънчевия вятър, което от своя страна предизвиква в околосемното пространство и върху Земята т.н. „*геомагнитни бури*“ и други геомагнитни явления (Методиев и Трифонова, 2015).

ЗМП е векторно поле. Прието е векторът на това поле – *тоталният интензитет* – в дадена точка s от земната повърхност да се бележи със символа \vec{F} . Компонентите на \vec{F} са: X – лежаща в плоскостта на географския меридиан и тангенциалната плоскост (хоризонталната равнина) към земната повърхност, насочена на север, Y – лежаща в същата тангенциална плоскост, насочена на изток и Z – насочена към центъра на Земята. Освен тези компоненти са въведени още и следните величини на ЗМП: $H = \sqrt{X^2 + Y^2}$ – *хоризонтална компонента*, лежаща в хоризонталната равнина, посочена по-горе, $I = \arctg(Z / H)$ – *инклинация* – ъгълът, сключен между хоризонталната равнина и \vec{F} и $D = \arccos(X / H)$ – *деклинация* – ъгълът, сключен между плоскостта на географския меридиан и хоризонталната компонента H . Всички тези величини се наричат *елементи на земното магнитно поле*“ (ЕЗМП).

Съгласно казаното до тук, абсолютната моментна стойност на даден ЕЗМП, която общо за всички елементи ще означим със символа $E_s(t)$, в момент t в дадена точка от земната повърхност s може да се представи като сума от две компоненти (съставлящи) с формулата:

$$E_s(t) = \bar{E}_s(t) + \delta E_s(t), \quad (1)$$

където с $\bar{E}_s(t)$ е означена постоянната съставляща на даден ЕЗМП в момент t в т. s , дължаща се на токовете от вътрешността на Земята, а с $\delta E_s(t)$ – вариацията, наложена върху това поле от променливата съставляща на този ЕЗМП в същия момент t в същата т. s , дължаща се на токовете в йоносферата..

Геомагнитни измервания и модели

Генерална геомагнитна снимка

При някои изследвания на геомагнитното поле, а и за решаването на различни приложни задачи, е необходимо да се изчертават (построяват) карти на постоянната съставляща $\bar{E}_s(t)$ на даден ЕЗМП върху определени участъци от зем-

ната повърхност за фиксиран момент, който ще означим с t_0 , наречен „*епоха*“. Директно тази съставяща не може да се измери. След много теоретични и експериментални изследвания обаче е установено, че с много голяма точност тя е равна на т.н. „*средногодишна стойност*“, която ще означим със същия символ $\bar{E}_s(t)$, на дадения ЕЗМП.

Под „*средногодишна стойност*“ се разбира осреднената стойност на ЕЗМП за 1 година, центрирана към средата на интервала за осредняване:

$$\bar{E}_s(t_0) = \frac{1}{T} \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} E_s(\tau) d\tau, \quad (1)$$

където $T = 1$ година, а t_0 е средата на периода на осредняване. $E_s(\tau)$ и $\bar{E}_s(t_0)$ са дефинирани горе.

На практика изчисляването на $\bar{E}_s(t_0)$ става, като предварително изчислени „*средночасови стойности*“ на дадения ЕЗМП се осредняват за определената година. Това може да се направи само в геомагнитна обсерватория, където има непрекъснати наблюдения и записи на стойностите на ЕЗМП.

Прието е картите на средногодишните стойности на даден ЕЗМП да се построят за години, кратни на 5 – например 1995, 2000 и т.н., като стойностите се центрират към 1 юли на съответната година, т.е. средногодишната стойност е получена при осредняване на стойностите на този ЕЗМП за времето (интервала) от 01.01. до 31.12. на тази година – епоха. Върху картите обикновено се изписва текстът (например за деклинацията): „*Деклинация на ЗМП на територията на Р. България, епоха 1990.5*“. Точката и петицата след годината означават, че средногодишните стойности са центрирани към 01.07.1990 г. В някои случаи средногодишните стойности на ЕЗМП се изчисляват и за интервала от 01.07 предната година до 31.06 на годината – епоха. Тогава текстът върху картата е (например) „*Деклинация на ЗМП на територията на Р. България, епоха 1990.0*“, като нулата след годината означава, че средногодишните стойности са центрирани към 01.01.1990 г.

Описаните горе карти на ЕЗМП за определена епоха се изработват, като обикновено екипи от дадена геомагнитна обсерватория провежда полеви измервания (снимка) върху набелязаната за картографиране територия. Такава снимка ще наречем „*генерална геомагнитна снимка*“. Понеже в отделните точки на измерване се разполага със стойност на даден ЕЗМП само в един момент t (моментът на измерването), за да се определи средногодишната стойност за избраната епоха t_0 в тези точки, се използват данни от близка до картографирувания участък геомагнитна обсерватория, където са известни и средногодишната стойност на елемента за епохата на картата, и стойността му в момента на измерването. За удобство такава обсерватория по-нататък ще наричаме „*референтна*“. У нас като референтна се ползва Геомагнитна обсерватория – Панагюрище (ГМО Панагюрище).

Измерените в момента t стойности се „*привеждат*“ към епоха по следната формула:

$$\bar{E}_s(t_0) = \bar{E}_o(t_0) - E_o(t) + E_s(t), \quad (2)$$

където $\bar{E}_s(t_0)$ и $\bar{E}_o(t_0)$ са съответно търсената средногодишна стойност на измервания в т. s елемент на ЗМП и в обсерваторията, по която се привеждат измерванията, в момент t_0 (епохата), а $E_s(t)$ и $E_o(t)$ – измереният елемент в т. s и в обсерваторията в момент t (Бъчваров и Чолаков, 1994).

Предпоставка да се използва тази формула е, че изменението на постоянно геомагнитно поле за къси периоди от време (1 – 2 години) за големи територии остава почти едно и също, както и фактът, че изменението на променливото геомагнитно поле също за големи територии също е еднакво, както споменахме по-горе.

След като средногодишните стойности на дадения ЕЗМП са изчислени по горната формула, самото изчертаване на картата става по избран от картографа метод. За удобство по-нататък тези карти ще наричаме „*основни*“.

Секуларни измервания, актуализиране на основните карти

Организирането и провеждането на „*генерална геомагнитна снимка*“ даже с модерната в момента апаратура и за територия, малка като нашата страна, освен че е скъпо мероприятие, отнема и много време. Поради това, за поддържането на картите на ЕЗМП актуални, понеже, както казахме, геомагнитното поле се изменя във времето, през определени периоди (обикновено 5 години) се провеждат измервания върху малък, но достатъчен, брой точки по земната повърхност, наречени „*секуларни станции*“ (на английски „*repeat stations*“), съвпадащи с точки от мрежата на генералната геомагнитна снимка. Подборът на секуларните станции се прави така, че те да покриват равномерно картографираната територия и гъстотата им да бъде такава, че в общи линии да отразяват поведението на полето там. Самите измервания се наричат „*секуларни измервания*“. Те се привеждат към годината на провеждане на измерванията пак по формула (2), като за епоха вместо t_0 се поставя годината на секуларните измервания, която ще отбележим с t_{sm} :

$$\bar{E}_{sec}(t_{sm}) = \bar{E}_o(t_{sm}) - E_o(t) + E_{sec}(t), \quad (3)$$

където $\bar{E}_{sec}(t_{sm})$ е търсената средногодишна стойност в секуларната станция sec за епохата t_{sm} , $\bar{E}_o(t_{sm})$ е средногодишната стойност в референтната обсерватория за епохата t_{sm} , $E_o(t)$ е моментната стойност на ЕЗМП в обсерваторията в момента на измерване t , а $E_{sec}(t)$ е моментната стойност на ЕЗМП в секуларната станция в същия момент.

По данните от измерванията в секуларните станции се определят годишните изменения (вариации) на средногодишните стойности на дадения ЕЗМП в тях:

$$\Delta \bar{E}_{sec} = [\bar{E}_{sec}(t_{sm}) - \bar{E}_{sec}(t_0)] / \Delta t_{sm}, \quad (4)$$

където $\Delta \bar{E}_{sec}$ е търсената годишна вариация (изменението за една година) на средногодишните стойности на дадения ЕЗМП в секуларната станция, $\bar{E}_{sec}(t_{sm})$ е средногодишната стойност в секуларната станция за епохата на провеждане на секуларните измервания t_{sm} , $\bar{E}_{sec}(t_0)$ е средногодишната стойност за епохата на основната карта на ЕЗМП в секуларната станция, а $\Delta t_{sm} = t_{sm} - t_0$ е броят години, изминали между епохата на основната карта t_0 и епохата на секуларните измервания t_{sm} .

По изчислените годишни вариации $\Delta \bar{E}_{sec}$ на средногодишните стойности се построяват карти за картографираната територия на т.н. „изопори“ – пространственото разпределение на годишните вариации на ЕЗМП върху нея.

За привеждането на данните от епохата на основните геомагнитни карти в епохата на секуларните измервания за точките от земната повърхност, различни от точките на секуларните измервания, се използват картите с изопорите, като то се извършва по формулата:

$$\bar{E}_s(t_{sm}) = \bar{E}_s(t_0) + \Delta t_{sm} \Delta \bar{E}_s \quad (5)$$

където $\bar{E}_s(t_{sm})$ е търсената средногодишна стойност за епохата t_{sm} в т. с., $\bar{E}_s(t_0)$ е стойността, отчетена от картата епоха t_0 (основната карта) в тази т. с., а $\Delta \bar{E}_s$ е отчетената от картата с изопорите стойност на годишната вариация на дадения ЕЗМП в същата точка. Δt_{sm} е дефинирано горе. За точките от земната повърхност, които не попадат върху някоя изопора, стойността на $\Delta \bar{E}_s$ обикновено се определя чрез линейна интерполация от картата с изопорите.

Ще отбележим, че горната формула може с достатъчно голяма точност да се използва за моменти, близки до t_{sm} (от порядъка на няколко години), като вместо Δt_{sm} се постави интервалът от време (броят години), изминал от епохата на основната карта до желания момент.

Обзор на геомагнитните измервания в България

Геомагнитни снимки

Първите геомагнитни измервания на територията на България са проведени по време на Руско – турските войни: 1787–1791 и 1828–1832 г. (Костов и Нождаров, 1987). Измерена е само деклинацията D . По-късно, през 1858 г., д-р Крайл, директор на Централната метеорологична и магнитна служба във Виена, извършва няколко измервания на D , H и Z . През 90-те години на 19 в. професорът от руски произход Бахметьев, работещ в Софийския университет, измерва вариациите на D около София, Петрохан и Берковица, а през 1911 г. специалисти от Института Карнеги правят измервания на D , H и I около София, Бургас, Нова Загора и Пловдив.

Първите геомагнитни измервания на територията на нашата страна, имащи характер на генерална геомагнитна снимка, са извършени от проф. Кирил Попов през 1917–1920 г. Върху 76 точки от земната повърхнина са измерени ЕЗМП: деклинация D , хоризонтален интензитет H и инклинация I . Измерванията са редуцирани към епоха 1921.0 чрез Магнитна обсерватория Пола на Адриатическото крайбрежие (Бъчваров и др., 1984).

Следващите измервания са извършени от Христо Калфин в периода 1937–1947 г. Деклинацията D е измерена в 750 точки, а измерванията са редуцирани към епоха 1940.0 по данните на МО Панагюрище.

От 1958 до 1961 г. под ръководството на К. Костов са измерени отново D , H и I в 342 точки от земната повърхност. Малко по-късно, през 1968 и 1969 г., южно от $\varphi=42^{\circ}40'$ са измерени още 104 точки, за да се уточнят локалните геомагнитни аномалии в южните райони на страната. Измерванията са редуцирани по МО Панагюрище и секуларната мрежа към епохи: 1960.0, 1965.0 и 1970.0.

Последната генерална геомагнитна снимка на България е направена в периода 1978–1980 год. от екип на ГМО – Панагюрище и Военно-географската служба към Министерството на отбраната. Върху 473 равномерно разпределени станции, най-общо съвпадащи с геодезически точки от Държавната геодезическа мрежа на България и от Геодезическата мрежа с местно предназначение, са измерени геомагнитните елементи тотален интензитет F , деклинация D и хоризонтален интензитет H . Използвани са магнитен теодолит „Schulze-545“, три QHM и два протонни магнитометъра РМР-2А. Всяка от станциите е изследвана за наличие на локални смутители. На свободните от смутители станции са правени по една серия измервания, включваща две измервания на деклинацията от двама наблюдатели, три измервания на хоризонталния интензитет с трите QHM и две измервания на тоталния интензитет – с двата протонни магнитометъра. През 1980 год. са измерени само секуларните и станциите I-ви клас. Те са използвани за привеждане на измерванията от 1978 и 1979 год. в епоха 1980.0.

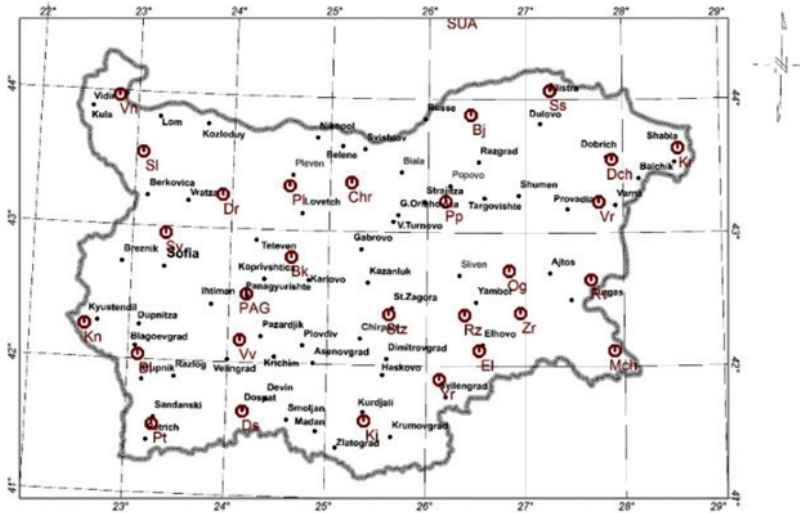
През 2018 година Военно-географската служба на Министерство на отбраната в сътрудничество със специалисти от Геомагнитната служба на НИГГГ-БАН започна нова генерална геомагнитна снимка на територията на България. Страната е разделена на четири части и всяка година се измерва по една от тях. Полевите измервания се обработват по данни на ГМО Панагюрище и се привеждат към годината на измерване (Трифенова, Методиев и Бъчваров, 2019).

Секуларни измервания

Секуларната геомагнитна мрежа в България се създава през 1934 година и понастоящем се състои от 27 точки, разположението на които е показано на Фиг. 1 (Методиев и Трифенова, 20156)

– Секуларни измервания 1990 год.

През 1990 год. са проведени измервания върху 13 секуларни станции и 9 станции I^{ви} клас, като тези измервания са извършени с апаратурата, използвана и през



Фиг. 1. Разположение на секуларните станции на територията на България

последната генерална снимка 1978–1980 год. Ориентирането на станциите е извършено само по геодезичен път с използване на координатите от геодезични точки от Държавната геодезична мрежа на България.

Данните от проведените измервания на елементите на геомагнитното поле на територията на България за епоха 1990.0 са събрани в каталог.

– Секулярни измервания 2007–2012 год.

През периода 2007–2012 год. е извършено обследване и преизмерване на секуларните и първокласни станции от геомагнитната мрежа на България. При изпълнението на задачата е установено, че част от станциите са унищожени или около тях магнитното поле е смутено, вследствие наличие на изкуствени смутители, някои станции от секуларната мрежа, техните резервни и станциите I-ви клас. В процеса на работа са избрани нови такива на подходящи места, като съответно на тях са извършени и измерванията на елементите на земното магнитно поле.

С резултатите от последните секуларни измервания е направен модел на секуларните вариации на деклинацията за целите на използването ѝ при съставянето на регионалните топографски карти (Методиев, 2014).

Геомагнитни модели

Най-общо, моделите на геомагнитното поле се разделят на глобални и регионални. Публикуваните глобални модели използват различни стратегии. Най-често се разчита на сферичния хармоничен анализ с моделиране на всички налични данни или чрез моделиране на източниците поотделно. Независимо от това, кой от

начините е предпочетен, стотиците километри между сателитите в ниска орбита и кристалинните източници водят до замъгляващ ефект. По този начин, един сателит, летящ на 350 км. височина може да даде хоризонтална разделителна способност от не-повече от 350 км. На обратно, гъстите наземни и аеромагнитни данни са близки до източниците и осигуряват разделителна способност в рамките на няколко километра. За съжаление обаче, те страдат от неравномерно разпределение на точките по земната повърхност, което налага интерполация и използване на синтетични данни, и съответно привнасяне на грешни честотни сигнали и артефакти.

Тези проблеми се преодоляват частично с регионалните модели, които са предназначени за обработка на гъсти мрежи от данни на различни височини. Глобални модели са разработвани и в миналото, но единствено след 1980 г., когато се получават данните от сателитната мисия MAGSAT става възможно удовлетворяването на уравнението на Лаплас. Те се базират на сферични сплайнове, wavelets или други типове локални сферични функции.

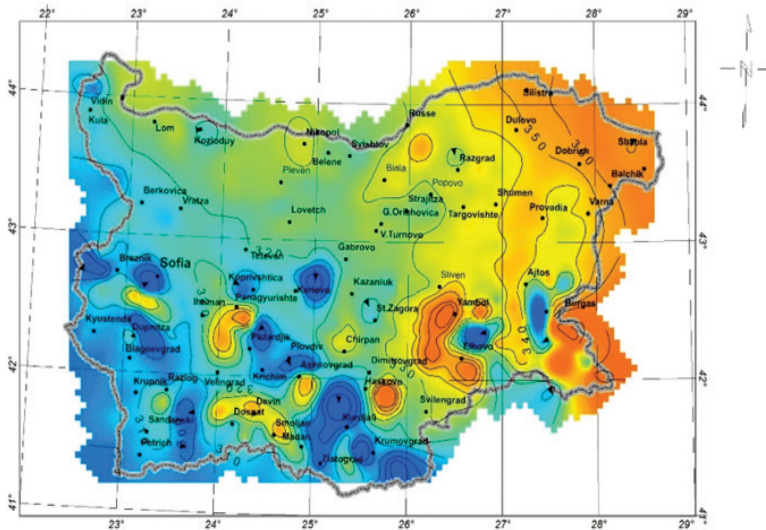
Обикновено, регионалните модели се базират на по-голям набор и количество от данни, за съответния регион, в сравнение с глобалните модели и поради тази причина са по-точни (Мандеа и Корте, 2010). В допълнение, регионалните модели са способни да представят дължини на вълните, по-къси от тези на глобалните модели, с което изобразяват не само източниците в ядрото, но и по-големи смутители в кората.

Различните методи за описване на полето могат да се класифицират най-общо като графични и аналитични. Графичните методи могат да бъдат ръчно начертани или цифрови карти, докато аналитичните методи се базират на площни полиноми, метод на еквивалентен диполен източник, както и на математически разложението като например анализа по сферични хармоници. Често, след като бъде създаден аналитичен модел се създава вторичен модел под формата на контурна карта. Вторичният модел в много от случаите се явява и краен резултат, като аналитичния модел бива използван само като средство за достигане до този краен резултат.

Първите модели на геомагнитното поле за територията на България са направени за епохи 1960.0, 1965.0, 1970.0 (Бъчваров и Костов, 1981) и 1980.0 (Бъчваров и Чолаков, 1980). Благодарение на това, са направени и редица анализи на аномалното поле за територията на страната (като напр. Бъчваров & Чолаков, 1995), които служат за отделяне и интерпретация на основните структурно-тектонски единици в строежа на земната кора.

Последният аналитичен модел на ЕЗМП на територията на страната е направен за епоха 2015.0 посредством моделиране на полето с полином от втора степен на географските координати (Методиев и Трифонова, 2017). Няколко години след това този модел е актуализиран с помощта на изопорни карти от секуларните измервания и е съставен възможно най-актуален модел на ЕЗМП – за епоха 2020.0 (Методиев и Трифонова, 2020). На фиг. 2 е показано пространственото изменение на деклинацията за територията на страната, съгласно получените моделни стойности за 2020.0.

Характерни места с големи магнитни аномалии, са териториите на Рило-Родопския масив, Витоша, Манастирските възвишения, около гр. Бургас и др. (Методиев и Трифонова, 2016).



Фиг. 2. Модел на деклинацията – D на територията на България за епоха 2020.0 (Методиев и Трифонова, 2020).

Картографиране на земното магнитно поле

Картите на средногодишните стойности на деклинацията – \bar{D} – у нас е прието да се изработват в М 1 : 200 000. До епоха 1990.0 те бяха изчертавани само на ръка, а след това вече и с помощта на персонален компютър.

Върху картния лист с елементарна топографска основа са нанесени изолиниите на \bar{D} които в случая се наричат „*изогонии*“. Геомагнитното поле в Северна България е спокойно и там изолиниите се изменят плавно. В Южна България обаче, поради многото магмени скали на повърхността на Земята, особено в планините, то е смутено. По тази причина в много райони не е възможно да бъдат прекарани изолинии.

Стандартният начин за прилагане на картата на средногодишните стойности на деклинацията върху топографските картни листове, при положение, че се ползва карта, центрирана към 01.01 за съответната епоха, е, както следва:

В **рамковото поле** на картния лист се дава формулата, по която се пресмята моментната стойност на деклинацията $D_s(t)$:

$$D_s(t) = \bar{D}_s(y_0) + (\Delta_{y_t} + \Delta_{m_t} / 12) \Delta D_s + V(m_t, h), \quad (4)$$

където

$\bar{D}_s(y_0)$ е средногодишната стойност на деклинацията, отчетена от картата за съответната епоха, **поставена като число в рамковото поле**;

$\Delta_{y_t} = y_t - y_{t_0}$, където y_t е годината, в която се търси моментната стойност, а y_{t_0} е годината на епохата на картата (**дадено**);

$\Delta_{m_t} = m_t$, където m_t е номерът на месеца за годината y_t , в която се търси моментната стойност, при положение че е центрирана към 01.01 на съответната година (напр. 1990.0);

ΔD_s е ъгловият коефициент на екстраполиращата линейна функция, също **поставен като число в рамковото поле** в /год. (минути на година; взет е от картата с изопорите);

$V(m_t, h)$ се взема от Табл. 1. в минути, която също е **поставена в рамковото поле**.

Пример:

Нека картата на средногодишните стойности на деклинацията да е за епоха 2010.0 и нека стойността за дадения картен лист да е $4^{\circ}43' = 283'$. Нека също ъгловият коефициент на екстраполиращата линейна функция е $2.3'/\text{год.}$ и моментът, за който търсим абсолютната стойност на деклинацията, да е май 2015 г. Нека часът да е 14.

Тогава:

$$\bar{D}_s(t_0) = 283';$$

$$\Delta_{y_t} = y_t - y_{t_0} = 2015 - 2010 = 5 \text{ год.};$$

$$\Delta_{m_t} / 12 = m_t / 12 = 5 / 12 = 0.42 \text{ год. (основната карта е центрирана към 01.01.2010);}$$

$$\Delta D_s = 2.3' / \text{год.};$$

$$V(5.14) = 3.5'$$

и за $D_s(t)$ получаваме:

$$D_s(2015 \text{ г., месец май, 14 ч.}) = 283 + (5 + 0.42) \times 2.3 + 3.5 = 300' = 5^{\circ}00'$$

Таблица 1. Осреднени денонощни разлики в Геомагнитна обсерватория – Панагюрище. Размерността на вариацията е в минути [.]

мес. час.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1-2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2-3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
3-4	0	0	0	1	2	2	2	2	1	0	0	0
4-5	-1	0	0	2	4	4	4	3	2	0	-1	0
5-6	0	0	1	3	4	5	4	4	3	1	0	0

6-7	0	1	2	4	4	5	5	5	4	2	1	0
7-8	1	2	3	4	3	4	4	4	3	3	2	1
8-9	1	1	3	3	1	2	2	1	1	2	2	1
9-10	0	0	0	0	-2	-1	-1	-2	-2	0	0	0
10-11	-1	-1	-2	-3	-4	-3	-3	-4	-3	-2	-2	-1
11-12	-2	-2	-4	-5	-5	-4	-4	-5	-4	-4	-3	-2
12-13	-2	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-2	-1
13-14	-1	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-1
14-15	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1
15-16	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1
16-17	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	0
17-18	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0
18-19	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	1
19-20	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
20-21	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	1
21-22	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	2
22-23	1	2	1	1	1	0	0	1	1	1	2	1
23-24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Литература

- Костов К. и П. Ножаров, 1987. Абсолютни магнитни измервания в България 1787–1997, София.
- Мандеа М., Корте М. (ред.), 2010. Геомагнитни наблюдения и модели, IAGA Special Sopron Book Series 5, Springer (на англ. ез).
- Бъчваров, И. & Костов, К., 1981. Представяне на геомагнитното поле в България епоха 1960.0, 1965.0, 1970.0 с полином от втора степен на географските координати. Бълг. геоф. сп., Том VII, pp. 51–62 (на руски ез.)
- Бъчваров, И., Костов К., Чолаков И., Георгиев Х. и Чекърджиков Л. и др. Изводи за точността на абсолютните геомагнитни снимки на територията на НРБ, проведени през 1958 – 1961 г. и 1978 – 1980 г. Бълг. геоф. сп., том X, 3, 1984, 117–125.
- Бъчваров, И. & Чолаков, И., 1980. Нормално геомагнитно поле на територията на България – 1980.0. Бълг. геоф. сп., Том XVII, pp. 77–88.
- Бъчваров, И., Ил. Чолаков 1994. Геомагнитно поле на територията на България – епоха 1990.0. Бълг. геоф. сп., XX, 4, 58–65.
- Бъчваров, И. & Чолаков, И., 1995. Аномално геомагнитно поле на територията на България – 1980.0., Бълг. геоф. сп., Том XXI, pp. 59–72.
- Методиев, М., 2014. Моделиране на секуларната вариация на деклинацията за целите на регионалното топографско картографиране, Бълг. геоф. сп., том 40, стр. 76–84 (на англ. ез).

- Методиев М., П. Трифонова, 2015а. Геомагнитна активност за последния слънчев цикъл, записан в обсерватория Панагюрище, Сборник от 7-ма Национална геофизична конференция, София, 2015 г. (на англ. ез).
http://www.bggs.eu/Conferencia_2015/SESSIONS_pdf/Session%201%20-%20Geophysics%20of%20the%20Earth%20Interior/S1-P3.pdf
- Методиев, М., П. Трифонова, 2015б. Декомпозиране на данни от геомагнитни секуларни станции за България, Сборник на 26-та асамблея на IUGG, Прага, Чехия (на англ. ез.).
- Методиев, М., П. Трифонова, (2016). Геофизичен анализ на региона на Източните Родопи, Доклади на БАН том 69, № 5, 615–621.
- Методиев, М. и Трифонова, П., 2017. Българско геомагнитно референтно поле (BulGRF) за 2015 .0 и модел за прогнозиране на секуларните вариации до 2020 г., *Annales Geophysicae*, 35, 5, стр. 1085–1092, DOI 10.5194 / angeo-35-1085-2017 (на англ. ез).
- Методиев, М., Трифонова П. 2020. Стойности на елементите на Земяното магнитно поле на българската територия за епоха 2020.0. Сборник с доклади на SGEM, 20, 1.2, 2020, ISSN: 1314-2704, DOI: 10.5593 / sgem2020 / 1.2 / s05.069, 543-550 (на англ. ез).
- Трифонова, П., Методиев, М. и Бъчваров, И. 2019. Цифрови записи на данни от геомагнитната обсерватория Панагюрище - налични за период от 60 години. Бълг. геоф. сп., том 42, стр. 46-61. <https://doi.org/10.34975/BGJ-2019.42.5> (на англ. ез).

GEOMAGNETIC FIELD, GEOMAGNETIC MEASUREMENTS AND MODELS, FIELD MAPPING

Ivan Buchvarov

Abstract: A brief description of the Earth's magnetic field (EMS) is given. The process of processing of the values measured in the field until their application on the topographic base is described. An overview of the geomagnetic measurements in the country is made, as well as the calculated models of EMS over the years and a brief description of the declination on the territory of Bulgaria is given.