

Sto let IAGA a studium magnetického pole Země



Akademie věd
České republiky



GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV
AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY, v.v.i.

věda

95

kolem
nás
prostory
společné
paměti

Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i., se zabývá pozorováním fyzikálních polí a měřením veličin a parametrů, jakými jsou např. seismické vlny, elektromagnetické pole, teplota, hustota a tíže. Tato pozorování slouží k určení fyzikálních vlastností hornin zemského tělesa, k upřesnění stavby zemské kůry a pláště a k objasnění vývoje Země. Získané údaje jsou zpracovávány a posléze interpretovány a porovnávány s teoretickými modely a výsledky laboratorních studií. Pracovníci geofyzikálního ústavu se podílejí na vývoji měřicích aparatur a programů na automatické zpracování naměřených dat, zabývají se studiem procesů probíhajících v ohnisku zemětřesení a zákonitostmi šíření seismických vln v horninovém prostředí (oddělení seismologie), magnetickými vlastnostmi hornin a půd, fungováním zemského dynama a vztahy mezi Sluncem a Zemí (oddělení geomagnetismu), magmatickými a vulkanickými procesy a strukturami, zákonitostmi vnitřní stavby horninového prostředí a příčinami klimatických změn (oddělení geodynamiky), geotermálními procesy a přenosem tepla v zemské kůře (oddělení geotermiky) a v neposlední řadě geologickou historií a současnou dynamikou Českého masívu a několika dalších významných lokalit ve světě. Některá pozorování, údaje a výsledky výzkumu, získané v Geofyzikálním ústavu, mají nemalý společenský význam – jsou využívány pro prevenci nebezpečných přírodních jevů (např. západočeská zemětřesení, sesuvy atd.), v naftové prospekci (např. šíření seismických vln), k udržitelnému využití geotermální energie (např. sledování charakteru mikrozemětřesení), k monitorování antropogenního znečištění přírodního prostředí skrze magnetismus půd či k posouzení porozity a mikrostruktur prostředí určeného k ukládání nebezpečného odpadu. Ústav provozuje na území ČR geofyzikální observatoře, které příslušná fyzikální pole průběžně měří a jsou součástí rozsáhlých mezinárodních observatorních systémů, jejichž výstupy denně využívají sdělovací prostředky i veřejnost. Ústav se podílí také na výuce a školení studentů magisterského studia a doktorandů partnerských fakult UK a na výuce základů geologických témat pro středoškolské studenty a žáky základních škol. Pravidelně pořádá popularizační akce pro veřejnost a spolupracuje s veřejnoprávními sdělovacími prostředky na odborně korektním a srozumitelném informování o významných aktuálních geofyzikálních a geologických událostech doma i ve světě. Ústav organizuje odborné konference domácího i mezinárodního rozsahu a vydává mezinárodní vědecký časopis *Studia Geophysica et Geodaetica*. V příštím roce oslaví Geofyzikální ústav 100 let od svého založení.

Úvodem o IAGA

Mezinárodní asociace pro geomagnetismus a aeronomii (IAGA, International Association for Geomagnetism and Aeronomy) je jednou z osmi asociací sdružených v Mezinárodní unii pro geodézii a geofyziku (IUGG, International Union for Geodesy and Geophysics). Jde o nevládní organizaci financovanou z příspěvků jednotlivých členských zemí IUGG (v současnosti 59 zemí s plným členstvím a 13 přidružených členů). Výzkum prováděný v rámci IAGA se zaměřuje na magnetické a elektrické vlastnosti zemského jádra, pláště a kůry, střední a svrchní atmosféry, ionosféry a magnetosféry, jakož i Slunce, slunečního větru, dalších planet a meziplanetárních těles. Historie IAGA sahá sto let do minulosti, Komise pro zemský magnetismus a atmosférickou elektrinu (Commission for Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity), která byla součástí Mezinárodní meteorologické organizace (IMO, International Meteorological Organisation), byla založena již v roce 1873. Po první světové válce (v roce 1918) byla po diskusích v Londýně a Paříži 28. 7. 1919 v Bruselu založena IUGG, jejíž součástí byla i sekce D – Zemský magnetismus a elektrina (Terrestrial Magnetism and Electricity). Vůdčí roli tehdy hrála IMO. Na čtvrtém valném shromáždění IUGG ve Stockholmu se sekce změnila na asociace, z nichž jednou byla Mezinárodní asociace pro zemský magnetismus a elektrinu (IATME). V roce 1954 se na 20. valném shromáždění IUGG v Římě IATME přejmenovala na nynější IAGA (jeden z velikánů našeho výzkumu Sydney Chapman navrhl místo zemského magnetismu používat pojem geomagnetismus a zavedl pojem aeronomie jako „věda o svrchní oblasti atmosféry, kde důležitou roli hraje disociace a ionizace“). Historie IAGA je podrobně popsána v práci Fukushima (1995). Tento text je volným a doplněným překladem článku Mandeia a Petrovského (2019).

Od roku 2015 je IAGA rozdělena na 6 divizí a 4 komise. Některé divize jsou dále členěny na pracovní skupiny, které jsou základními stavebními kameny IAGA a zabývají se specifickými oblastmi výzkumu. Divize I se zabývá teorií magnetických polí Země a dalších planet, historickým záznamem geomagnetického pole v horninách (paleomagnetismem) a magnetismem hornin. Divize II je zaměřena na studium dynamiky, elektrodynamiky, chemie a vzájemných vazeb systému atmosféra–ionosféra. Divize III má za cíl porozumět, jak přísun energie ze Slunce a sluneční vítr ovlivňují zemskou magnetosféru a svrchní atmosféru. Divize IV představuje výzkum zaměřený na sluneční vítr, heliosféru a sluneční magnetismus. Divize V se zabývá měřením geomagnetického pole, kvalitou a zpracováním dat a tvorbou indexů popisujících geomagnetické pole. Konečně nejmladší Divize VI se věnuje výzkumu elektrických vlastností (elektromagnetickou indukci) uvnitř Země a dalších planet. Čtyři mezioborové komise se pak věnují problematice výzkumu v rozvojových zemích, historii, vzdělávání a kosmickému počasí. Struktura IAGA, seznam členských zemí atd. jsou dostupné na www.iaga-aiga.org.

Asociace IAGA je též aktivním partnerem pro mnoho dalších mezinárodních vědeckých organizací. Různorodost a širší problematiky, která je studována v rámci IAGA, byla dokumentována například v pětidílné knižní sérii IAGA Special Sopron Book Series, kterou vydalo nakladatelství Springer v roce 2011. Ve druhé polovině



Obálky knižní série IAGA Special Sopron Book Series, kterou vydalo nakladatelství Springer v roce 2011

letošního roku bude v nakladatelství Cambridge University Press vydána knižní publikace s názvem *Geomagnetism, Aeronomy and Space Weather: A Journey from the Earth's Core to the Sun*.

Kromě vědy a výzkumu je IAGA aktivní ve zprostředkování výměny znalostí a zkušeností mezi jednotlivými odborníky. K tomu slouží zejména pořádání kongresů a specializovaných workshopů. Hlavní vědecké kongresy jsou pořádány

Účastníci 1. letní školy IAGA pro doktorandy v roce 2013 (Merida, Mexiko) během výletu k závrtům (cenotas) ve vnitrozemí Yucatanu (první zprava - sedící - je autor této práce a do července 2019 prezident IAGA)



První prezident IAGA Aikitsu Tanakadate z Japonska (1856–1952), který měřil zemské gravitační a magnetické pole na území Japonska a v roce 1899 založil observatoř v Mizusawě



v rámci celé IUGG jednou za 4 roky, poslední se uskutečnil v roce 2015 v Praze za účasti více než 4200 vědců z celého světa. Kongresy IAGA, ať už samostatné, nebo společně s dalšími asociacemi, jsou pořádány v lichých letech mezi kongresy IUGG. Záměrem IAGA je organizovat tyto kongresy na všech kontinentech, v roce 1985 byl kongres IAGA v Praze. Specializované workshopy jsou pořádány jednotlivými pracovními skupinami, z nichž některé mají mnohaletou tradici a účastní se jich několik desítek až stovek vědců z celého světa. V poslední době směřuje IAGA své úsilí na vzdělávání a motivaci mladých vědců. Od roku 2013 (kongres IAGA v Meridě v Mexiku) pořádá IAGA letní školy pro doktorandy (vždy ve spojení s hlavními kongresy), kde přední odborníci ve svém oboru poskytují přehledný průřez všemi hlavními tématy výzkumu. Těchto letních škol se účastní 20–25 doktorandů, důraz je kladen na to, aby pocházeli z různých zemí všech světadílů. Specializované workshopy a letní školy jsou typické tím, že kromě vědeckých přednášek mají také významný sociální rozměr, např. ve formě kulturního představení, poznávání regionu apod.

Hlavní výkonnou roli při řízení IAGA hraje výkonný výbor, v jehož čele stojí prezident a generální tajemník. Členové výkonného výboru jsou voleni zástupci jednotlivých členských zemí a jsou to vesměs přední odborníci ve svém vědeckém oboru. Seznam dosavadních prezidentů je k dispozici na www.iaga-aiga.org a jsou mezi nimi průkopníci jako Aikitsu Tanakadate (1856–1952, první prezident IAGA), Sydney Chapman (1888–1970, kromě IAGA byl také prezidentem IAMAS, Mezinárodní asociace pro meteorologii a atmosférické vědy, a prezidentem IUGG)



Prestižní IAGA Shen Kuo medaile za významné vědecké výsledky

či Valeria Troitskaya (1917–2010, v letech 1971–1975 první prezidentka v rámci asociací IUGG).

Ve snaze ocenit přínos vědě a službu vědecké komunitě uděluje IAGA tři ceny. Nejprestižnější medaile Shen Kuo, zavedená v roce 2006, je pojmenována po významném čínském vědci (Shen Kuo, 1031–1095), který jako první popsal magnetický kompas a zavedl pojem magnetické deklinace (horizontálního průmětu odchylky magnetického severního pólu od geografického severního pólu). Vynikající dlouholetá služba na technických či administrativních pozicích je od roku 1988 oceňována medailí za dlouholetou službu (Long Service Award). Mladí vědci, kteří se vynikajícím způsobem prezentovali na některém ze specializovaných workshopů, jsou od roku 2005 oceňováni medailí pro mladé vědce (Young Scientist Award).

V průběhu století své existence se IAGA cestou rezolucí oficiálně vyjadřovala k různým problémům souvisejícím s výzkumem zemského magnetického pole a účastnila se několika významných mezinárodních vědeckých kampaní, jako byl například 2. Mezinárodní polární rok (1932–1933), Mezinárodní geofyzikální rok (1957–1958) či v poslední době Mezinárodní heliofyzikální rok a Elektronický geofyzikální rok (2007–2008).

Geomagnetický výzkum před IAGA

Stoletá historie IAGA má své kořeny v mnohem dávnější minulosti, kdy lidé řešili vzrušující otázky související s magnetickým polem Země. Pro ilustraci, Albert Einstein kdysi označil zdroj zemského magnetismu za jeden z nejvýznamnějších nerozluštěných problémů klasické fyziky. Magnetický kompas byl používán v Číně již ve 4. století před naším letopočtem. Nicméně magnetická deklinace byla poprvé zaznamenána čínským vědcem Shen Kuo teprve v roce 1088. V Evropě se jedním z prvních klíčových vědců v geomagnetismu stal Pierre de Maricourt (známý jako

Petrus Peregrinus). Ve svém díle *Epistola de Magnete* z roku 1269 (anglický překlad Arnold 1904) popisuje svoji konstrukci kompasu a zavádí myšlenku zemských magnetických pólů.

Na začátku 17. století probíhala mezi Williamem Gilbertem, který v roce 1600 napsal knihu *De Magnete*, a Guillomem de Nautonier, který o rok později napsal dílo *Mecometrie de l'eymant*, diskuse o místních versus globálních odchylkách geomagnetického pole od ideálního dipólu. Práce Gilberta objasnila dlouhotrvající diskusi a experimenty se střelkou kompasu a magnetismus se stal první fyzikální vlastností přisuzovanou Zemi jako celku. V dalších letech výrazně vzrostl počet měření směru geomagnetického pole. Královská společnost v Londýně a Akademie věd v Paříži podpořily výstavbu astronomických observatoří a geomagnetický výzkum. Významný pokrok byl učiněn na přelomu 17. a 18. století. Tady je nutné zmínit například Edmunda Haileye, který byl vůdčí osobností geomagnetického průzkumu (např. Thrower 1981). Jako kapitán lodi Paramore podnikl v letech 1668–1670 plavby v jižním Atlantském oceánu a formuloval zákony, které určují chování střelky kompasu. Jeho mapy magnetické deklinace jsou do značné míry nadčasové.

O rozvoj výzkumu geomagnetismu se počátkem 19. století významně zasloužil Carl Friedrich Gauss. Počátkem třicátých let vyvinul metodu pro určení absolutní velikosti geomagnetického pole a s pomocí Wilhelma Eduarda Webera zkonstruoval odpovídající přístroj. Celý proces je značně náročný a sestává z řady dílčích měření. Pro jejich zpracování použil metodu nejmenších čtverců, což byl jeden z jeho



Carl Friedrich Gauss (1777–1855), zakladatel moderní teorie a měření geomagnetického pole (olejomalba, Christian Albrecht Jensen)

dalších geniálních nápadů. V roce 1833 Gauss s Weberem dokončili v Göttingenu magnetickou observatoř, která se stala prototypem pro další observatoře. Její provoz sestával z časově méně náročných relativních variačních měření a občasných náročných absolutních měření.

Inspirování Alexandrem von Humboldtem si Gauss s Weberem uvědomili, že pro lepší pochopení vlastností geomagnetického pole je potřeba provádět souběžná měření na více místech. K plnění tohoto úkolu založili v roce 1836 Göttingenský magnetický spolek (Göttinger Magnetischer Verein). Počet observatoří se během několika let zvýšil z původních devíti na více než třicet. Členské observatoře prováděly ve vybraných dnech pozorování každých 5 minut. Výsledky byly publikovány v ročence *Resultate aus den Beobachtungen des Magnetischen Vereins*. Pozorování potvrdila současný výskyt poruch geomagnetického pole ve velkých geografických oblastech. Ročník 1838 obsahuje Všeobecnou teorii zemského magnetismu, v níž Gauss navrhl koncept sférické harmonické analýzy a aplikoval ji na data z observatoří, doplněná o data z krátkodobých magnetických měření na více než 50 místech na všech kontinentech. Dokázal, že téměř veškeré geomagnetické pole má původ v nitru Země (Gauss 1839). Činnost spolku musela být ukončena v roce 1843 poté, co se Weber účastnil protestů proti porušování ústavy králem.

Počet významných objevů z této doby je mnohem větší a není možné se zde věnovat všem. Více informací lze nalézt v pracích Courtillot a le Mouel (2007), Gubbins a Herrero-Bervera (2007) či Cliver a Petrovský (2019).

České země - 180 let pravidelných geomagnetických měření

Členem Göttingenského magnetického spolku byl i Karl Kreil (1798–1862). Působil na milánské observatoři, kde v roce 1836 zavedl geomagnetická měření. Když byl povolán na observatoř v pražském Klementinu, pořídil novou řadu přístrojů a 1. července 1839, krátce po svém příjezdu do Prahy, zahájil pravidelná měření. Variační měření probíhala přímo v Klementinu, zatímco absolutní měření se prováděla několikrát do roka v královské zahradě na Hradčanech. Odečty variometrů se v prvním roce prováděly téměř každou hodinu od pěti ráno do deseti večer, v dalších letech se měřilo převážně po dvou hodinách. Kromě toho se jednou měsíčně prováděla simultánní měření v rámci Göttingenského magnetického spolku a dále příležitostná měření s dvouminutovým intervalem v případě, kdy observatorista zaznamenal zvýšenou geomagnetickou aktivitu.

Záslužným počinem Kreila bylo publikování výsledků v ročence *Magnetische und Meteorologische Beobachtungen zu Prag*. Publikace obsahují tabulky variačních a absolutních měření a další informace k metodice měření nebo provozu observatoře v daném roce, případně komentáře k interpretaci výsledků. V ročence jsou rovněž publikovány tabulky meteorologických pozorování. Připomeňme, že meteorologická klementinská řada, zahájená v roce 1775, patří k nejdelším na světě.

V letech 1843–1845 provedl Kreil magnetická měření na dvaceti bodech v Čechách a vytvořil první magnetické mapy Čech. Mapování postupně rozšířil na další země habsburské monarchie.



Karl Kreil (1798–1862), člen Göttingenského magnetického spolku, který na observatoři v pražském Klementinu zahájil 1. července 1839 pravidelná měření geomagnetického pole

(archiv ZAMG Vídeň, Rakousko)

Ukázka záznamu údajů o geomagnetickém poli, měřených Karlem Kreilem na observatoři v pražském Klementinu

Tägliche
Magnetische Beobachtungen
der Declination und
horizontalen Intensität
vom 28. Juli bis 4. October
1840.

Werthe eines Seilenthales
für die Declination = $27^{\circ}.2261$
für die hor. Intensität = $\frac{1}{17770}$

(32 ^h 18 27 ^h)		(32 ^h 18 27 ^h)	
411.0	277.15	212.0	289.0
407.6	270.0	208.5	286.0
403.8	268.0	204.8	283.0
400.7	265.0	201.1	280.0
397.2	262.0	197.4	277.0
393.6	259.0	193.7	274.0
390.0	256.0	190.0	271.0
386.4	253.0	186.3	268.0
382.8	250.0	182.6	265.0
379.2	247.0	178.9	262.0
375.6	244.0	175.2	259.0
372.0	241.0	171.5	256.0
368.4	238.0	167.8	253.0
364.8	235.0	164.1	250.0
361.2	232.0	160.4	247.0
357.6	229.0	156.7	244.0
354.0	226.0	153.0	241.0
350.4	223.0	149.3	238.0
346.8	220.0	145.6	235.0
343.2	217.0	141.9	232.0
339.6	214.0	138.2	229.0
336.0	211.0	134.5	226.0
332.4	208.0	130.8	223.0
328.8	205.0	127.1	220.0
325.2	202.0	123.4	217.0
321.6	199.0	119.7	214.0
318.0	196.0	116.0	211.0
314.4	193.0	112.3	208.0
310.8	190.0	108.6	205.0
307.2	187.0	104.9	202.0
303.6	184.0	101.2	199.0
300.0	181.0	97.5	196.0
296.4	178.0	93.8	193.0
292.8	175.0	90.1	190.0
289.2	172.0	86.4	187.0
285.6	169.0	82.7	184.0
282.0	166.0	79.0	181.0
278.4	163.0	75.3	178.0
274.8	160.0	71.6	175.0
271.2	157.0	67.9	172.0
267.6	154.0	64.2	169.0
264.0	151.0	60.5	166.0
260.4	148.0	56.8	163.0
256.8	145.0	53.1	160.0
253.2	142.0	49.4	157.0
249.6	139.0	45.7	154.0
246.0	136.0	42.0	151.0
242.4	133.0	38.3	148.0
238.8	130.0	34.6	145.0
235.2	127.0	30.9	142.0
231.6	124.0	27.2	139.0
228.0	121.0	23.5	136.0
224.4	118.0	19.8	133.0
220.8	115.0	16.1	130.0
217.2	112.0	12.4	127.0
213.6	109.0	8.7	124.0
210.0	106.0	5.0	121.0
206.4	103.0	1.3	118.0
202.8	100.0		115.0
199.2	97.0		112.0
195.6	94.0		109.0
192.0	91.0		106.0
188.4	88.0		103.0
184.8	85.0		100.0
181.2	82.0		97.0
177.6	79.0		94.0
174.0	76.0		91.0
170.4	73.0		88.0
166.8	70.0		85.0
163.2	67.0		82.0
159.6	64.0		79.0
156.0	61.0		76.0
152.4	58.0		73.0
148.8	55.0		70.0
145.2	52.0		67.0
141.6	49.0		64.0
138.0	46.0		61.0
134.4	43.0		58.0
130.8	40.0		55.0
127.2	37.0		52.0
123.6	34.0		49.0
120.0	31.0		46.0
116.4	28.0		43.0
112.8	25.0		40.0
109.2	22.0		37.0
105.6	19.0		34.0
102.0	16.0		31.0
98.4	13.0		28.0
94.8	10.0		25.0
91.2	7.0		22.0
87.6	4.0		19.0
84.0	1		16.0

+ 1000 + 1000		7. 8. 9. 10.		+ 1000 + 1000	
h	m	h	m	h	m
10	0	10	0	10	0
10	1	10	1	10	1
10	2	10	2	10	2
10	3	10	3	10	3
10	4	10	4	10	4
10	5	10	5	10	5
10	6	10	6	10	6
10	7	10	7	10	7
10	8	10	8	10	8
10	9	10	9	10	9
10	10	10	10	10	10
10	11	10	11	10	11
10	12	10	12	10	12
10	13	10	13	10	13
10	14	10	14	10	14
10	15	10	15	10	15
10	16	10	16	10	16
10	17	10	17	10	17
10	18	10	18	10	18
10	19	10	19	10	19
10	20	10	20	10	20
10	21	10	21	10	21
10	22	10	22	10	22
10	23	10	23	10	23
10	24	10	24	10	24
10	25	10	25	10	25
10	26	10	26	10	26
10	27	10	27	10	27
10	28	10	28	10	28
10	29	10	29	10	29
10	30	10	30	10	30
10	31	10	31	10	31
10	32	10	32	10	32
10	33	10	33	10	33
10	34	10	34	10	34
10	35	10	35	10	35
10	36	10	36	10	36
10	37	10	37	10	37
10	38	10	38	10	38
10	39	10	39	10	39
10	40	10	40	10	40
10	41	10	41	10	41
10	42	10	42	10	42
10	43	10	43	10	43
10	44	10	44	10	44
10	45	10	45	10	45
10	46	10	46	10	46
10	47	10	47	10	47
10	48	10	48	10	48
10	49	10	49	10	49
10	50	10	50	10	50
10	51	10	51	10	51
10	52	10	52	10	52
10	53	10	53	10	53
10	54	10	54	10	54
10	55	10	55	10	55
10	56	10	56	10	56
10	57	10	57	10	57
10	58	10	58	10	58
10	59	10	59	10	59
10	60	10	60	10	60
10	61	10	61	10	61
10	62	10	62	10	62
10	63	10	63	10	63
10	64	10	64	10	64
10	65	10	65	10	65
10	66	10	66	10	66
10	67	10	67	10	67
10	68	10	68	10	68
10	69	10	69	10	69
10	70	10	70	10	70
10	71	10	71	10	71
10	72	10	72	10	72
10	73	10	73	10	73
10	74	10	74	10	74
10	75	10	75	10	75
10	76	10	76	10	76
10	77	10	77	10	77
10	78	10	78	10	78
10	79	10	79	10	79
10	80	10	80	10	80
10	81	10	81	10	81
10	82	10	82	10	82
10	83	10	83	10	83
10	84	10	84	10	84
10	85	10	85	10	85
10	86	10	86	10	86
10	87	10	87	10	87
10	88	10	88	10	88
10	89	10	89	10	89
10	90	10	90	10	90
10	91	10	91	10	91
10	92	10	92	10	92
10	93	10	93	10	93
10	94	10	94	10	94
10	95	10	95	10	95
10	96	10	96	10	96
10	97	10	97	10	97
10	98	10	98	10	98
10	99	10	99	10	99
10	100	10	100	10	100

Trigonometrische Berechnung von 1. bis 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.



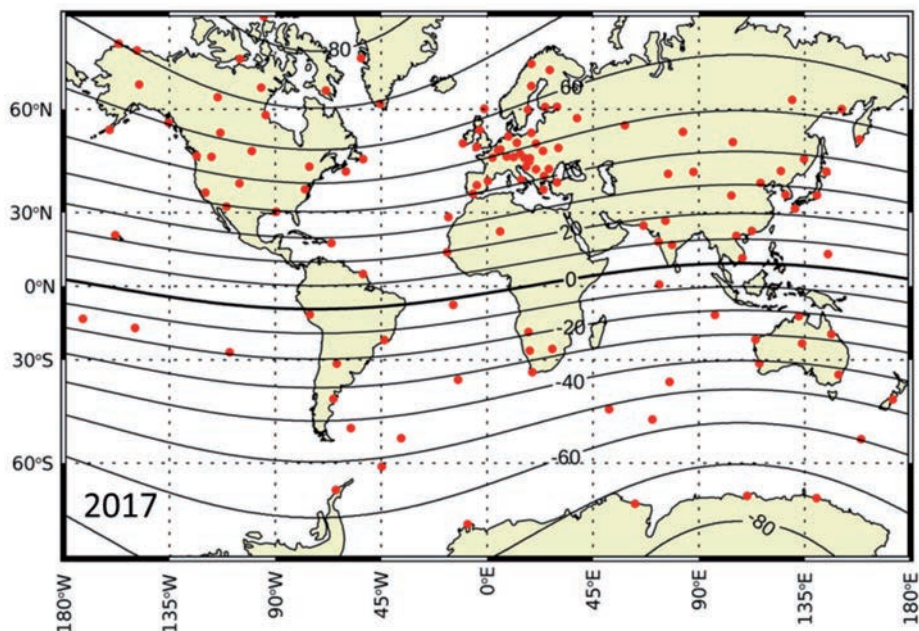
Budova současné geomagnetické observatoře v Budkově na Prachaticku

V roce 1851 byl Kreil povolán do Vídně, aby zde založil Centrální ústav pro meteorologii a geomagnetismus. Pražská observatoř fungovala dál pod vedením Josefa Böhma a od roku 1868 Karla Hornsteina. Koncem století byla měření více a více rušena městským provozem, od roku 1905 se z tohoto důvodu měřila pouze deklinace a počátkem dvacátých let musela být magnetická pozorování ukončena. I tak ale byly observatoře v Praze a v Mnichově v provozu nejdéle ze všech observatoří, které se podílely na činnosti Göttingenského magnetického spolku. Po ukončení geomagnetických měření v pražském Klementinu byla ve čtyřicátých letech minulého století zřízena observatoř v lesoparku u Průhonice, i ta ale byla brzy rušena, zejména bludnými proudy od železnice ve směru z Prahy na Benešov, a observatoř, která je součástí celosvětové sítě INTERMAGNET, našla definitivní místo v obci Budkov na Prachaticku.

Geomagnetické pole - význam pozorování a teorie

Magnetické observatoře

Od dob Gausse vzniklo po celém světě kolem 200 geomagnetických observatoří, velkým dílem díky mezinárodní spolupráci v rámci Mezinárodního polárního roku (1882–1883), 2. Mezinárodního polárního roku (1932–1933) a Mezinárodního



Současná mapa observatoří INTERMAGNET (5 observatoří ve vysokých zeměpisných šířkách je mimo měřítko)

geofyzikálního roku (1957–1958). Významným krokem při budování současné globální sítě spolupracujících digitálních observatoří, včetně přijetí standardů pro měření a záznam dat, byl v rámci IAGA vznik Divize V. I v současné době satelitů jsou observatoře nepostradatelné pro monitorování změn geomagnetického pole jak pro vědecké, tak pro komerční, vládní či vojenské potřeby. Za tímto účelem vytvořila IAGA několik návodů a standardizovaných postupů pro observatorní činnost (Wienert 1970; Jankowsky a Sucksdorff 1996; Mande a Korte 2011). V průběhu let se observatorní vybavení radikálně změnilo, od triviálního Gaussova přístroje po současná digitální zařízení měřící v sekundových intervalech. Část observatorních měření je automatizována a výrazně se zvýšila přesnost naměřených dat. To je zásadní vzhledem ke globálním magnetickým průzkumům s využitím satelitů. V současnosti jsou geomagnetické observatoře sdruženy do globální sítě INTERMAGNET (www.intermagnet.org), která byla založena koncem osmdesátých let minulého století z iniciativy IAGA. Nyní INTERMAGNET sdružuje přes 150 observatoří na všech kontinentech, které měří geomagnetické pole s vysokou přesností a citlivostí ($< 0,1$ nT). Naměřená data jsou sdílena také prostřednictvím světových datových center v Kyotu (Japonsko) a Edinburghu (Velká Británie).

Satelitní magnetická měření

V průběhu Mezinárodního geofyzikálního roku ohromil tehdejší Sovětský svaz celý svět vypuštěním prvního satelitu Sputnik (4. 10. 1957). O několik měsíců později, 15. 5. 1958, byl vypuštěn Sputnik 3 s 12 přístroji včetně magnetometru. Následně NASA vypustila řadu satelitů POGO (Polar Orbiting Geophysical Observatory) a OGO (Orbiting Geophysical Observatory), které měřily intenzitu geomagnetického pole od října 1965 do června 1971. Podrobná měření zemského magnetického pole pak realizovaly satelity MAGSAT (1979–1980), Oersted (1999–2013), SAC-C (2000–2013) a CHAMP (2000–2010). V současné době obíhá Zemi trojice minisatelitů Swarm (start v roce 2013) v rámci programu Evropské kosmické agentury (ESA, European Space Agency). Projekt Swarm byl navržen a je veden Dánským národním kosmickým centrem (Danish National Space Center) v Kodani. Všechny satelity na své palubě nesly či nesou přístroje pro měření kompletního vektoru geomagnetického pole. Vědci ze všech IAGA divizí se podílejí na následném výzkumu Země s využitím těchto satelitních dat.

Divize I se významně podílí na výzkumu planetárních magnetických polí. Na počátku tohoto výzkumu byly magnetometry dopravené na povrch Měsíce v rámci misí Apollo. Ke studiu lunárního magnetického pole přispěly také magnetometry na různých satelitech. V posledních desetiletích družice měřily magnetická pole téměř všech planet naší sluneční soustavy i Slunce. Nejintenzivněji je studována Zemi nejbližší planeta Mars. Zde byl v roce 1997 učiněn významný pokrok prostřednictvím družice Mars Global Surveyor. Prokázalo se, že Mars nemá „globální“ magnetické pole vytvářené zevnitř dynamem, které zřejmě před mnoha lety vyhaslo, nicméně části kůry Marsu jsou intenzivně zmagnetovány.

Objev slunečního větru výrazně přispěl k rozvoji sluneční a kosmické fyziky (Obridko a Vaisberg 2017). První satelity, které se zaměřily na výzkum meziplanetární hmoty, byly NASA Pioneer 5, 6, 7, 8 a 9 (1960–1968). V sedmdesátých letech poskytly dva satelity HELIOS cenné údaje o slunečním větru a sluneční koruně. Jednou z doposud nejvýznamnějších misí byl satelit SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), vypuštěný v roce 1995, dalším pak satelit SDO (Solar Dynamics Observatory), vypuštěný v roce 2010. Sluneční vítr a heliosféra jsou přírodními plazmovými laboratořemi a představují trvalý zdroj energie, který ovlivňuje život na Zemi. V rámci IAGA se výzkumu těchto jevů věnuje zejména Divize IV a nově i IAGA Komise o kosmickém počasí.

Geodynamo, paleomagnetismus, archeomagnetismus a magnetotelurika

Larmor (1919) navrhl, že magnetické pole Země (a Slunce) může být udržováno vnitřním dynamem. Tato myšlenka byla obecně přijata asi o 20 let později s tím, že magnetohydrodynamické procesy v tekutém jádře jsou odpovědné za „samoudržitelnost“ dynama. Nicméně hlavní rozvoj nastal s nástupem výkonné výpočetní techniky v posledních desetiletích minulého století, kdy Glatzmaier a Roberts (1995a, b) poprvé demonstrovali numerický model geodynamu.

Přirozená zvědavost vedla ke snaze najít odpověď na otázku, jak jsou změny geomagnetického pole, jeho směru a intenzity, v různých obdobích geologické historie zaznamenány v horninách, což vedlo k rozvoji paleomagnetismu a archeomagnetismu. Paleomagnetismus tak napomohl k pochopení různých procesů, jako jsou inverze geomagnetického pole, putování geomagnetických pólů, roztahování oceánského dna a pohyb tektonických desek. První geofyzikální důkaz o pohybu pevninských desek poskytli nezávisle na sobě Runcorn (1956a, b) a Irving (1956) sestrojením dráhy pohybu magnetického pólu pro Evropu a Severní Ameriku.

Koncem padesátých a šedesátých let minulého století byly magnetometrem taženým za lodí nad mořským dnem zaznamenány různé zmagnetované pruhy hornin (Mason a Raff 1961; Raff a Mason 1961). Kanadský geofyzik Lawrence Morley jako první navrhl, že tyto pruhy mohou být magnetickým záznamem symetrického rozšiřování oceánského dna. V roce 1963 formuloval tuto hypotézu ve svém rukopisu zaslaném do prestižního časopisu *Nature* a později do *Journal of Geophysical Research*. V obou případech byla jeho myšlenka označena za pouhou spekulaci a odmítnuta. V červnu téhož roku prezentoval svoji hypotézu na konferenci Královské společnosti Kanady (Morley 1967; Emiliani 2005). V září 1963 otiskl časopis *Nature* článek s v podstatě stejnou myšlenkou (Vine a Matthews 1963), která se později stala obecně uznávanou a nese jméno všech tří vědců: Vine–Matthews–Morleyova hypotéza. Nicméně mechanismus zůstal záhadou až do roku 1966, kdy Vine (1966) vysvětlil tyto pruhy jako důsledek zmagnetování geomagnetickým polem o opačné polaritě v průběhu různých geologických období.

Již Mercanton (1926) postuloval, že překlopení inklinace (polarity) geomagnetického pole, které bylo pozorováno v horninových záznamech na severní polokouli, bude také pozorováno na jižní polokouli. To znamená, že zemské magnetické pole jednou za čas prodělá enormní změnu – inverzi. Mercanton navrhl IUGG/IAGA rozšíření pozorovacích a experimentálních možností a poukázal na nutnost sjednocení metodiky studia magnetických vlastností hornin. V současné době existuje řada takových standardizovaných metod, např. určení paleointenzity magnetického pole, poloh paleopólů či magnetické anizotropie. Paleomagnetická komunita v rámci IAGA si jasně uvědomila, že rostoucí počet laboratoří, metod a přístrojů vyžaduje systematickou archivaci a volný přístup k datům. V současnosti existuje řada globálních a regionálních databází k volnému využití.

Magnetotelurika je metoda, která studuje elektrické proudy v Zemi, indukované změnami zemského magnetického pole, s cílem určit rozložení elektrické vodivosti/odporu v zemské kůře. Z měření povrchových složek elektrického a magnetického pole je možné stanovit oblasti s anomální elektrickou vodivostí v hloubkách od několika stovek metrů do několika desítek kilometrů. Tato metoda byla vyvinuta nezávisle vědci v Japonsku, Francii a bývalém Sovětském svazu ve čtyřicátých a padesátých letech minulého století (např. Cagniard 1953). V současnosti je široce využívána ke studiu hlubokých struktur zemské kůry a pláště, jevů předcházejících zemětřesení nebo k průzkumu ložisek nerostných surovin či ropy.

Aeronomie

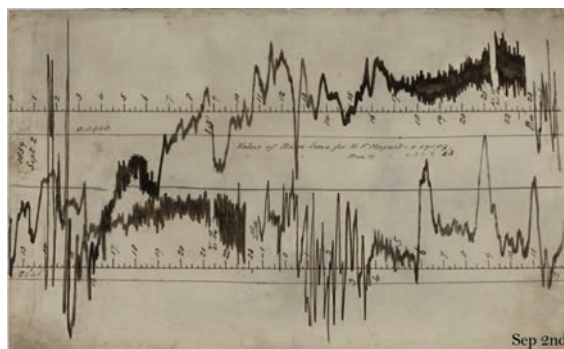
Co vlastně znamená pojem aeronomie? Sydney Chapman (1888–1970) ve své práci otištěné časopisem *Nature* (Chapman 1946) navrhl nahradit pojem „meteorologie“ výrazem „aeronomie“. Tento návrh se nesetkal s velkou podporou. Později pozměnil svůj návrh s tím, že pojem aeronomie by se měl používat pouze pro studium svrchní atmosféry (Chapman 1953). Od roku 1960 se používá jeho definice aeronomie jako „vědy o svrchních oblastech atmosféry, kde významnou roli hrají disociace a ionizace“. V současné době se aeronomie neomezuje pouze na zemskou atmosféru, ale věnuje se také atmosféře a ionosféře dalších planet.

Kromě pozorování na pozemských observatořích vyžaduje aeronomie také přístup k údajům ze satelitů; IAGA výrazně přispěla ke spolupráci s dalšími organizacemi a koordinovala tento výzkum v rámci několika kampaní, například Mezinárodního geofyzikálního roku (IGY). V této době existovala v rámci IAGA Komise VIII, která se zabývala strukturou svrchní atmosféry, její elektrodynamikou, neutrálními a ionizovanými částicemi. Ve společné rezoluci s IAMAP v roce 1963 bylo doporučeno studovat vliv lunárních slapů. Čtyři z 10 zpráv v rámci Mezinárodního roku klidného slunce (IQSY) (1964–1965) byly vypracovány v rámci IAGA. V roce 1974 byla založena společná IAGA-URSI (Mezinárodní unie pro radiologické vědy – International Union of Radio Science) pracovní skupina zabývající se strukturou a dynamikou termosféry, ionosféry a exosféry. V letech 1991–1993 v rámci IAGA probíhal Mezinárodní rok rovníkového elektrického proudu (IEEY, International Equatorial Electrojet Year). Od roku 1975 je aktivní IAGA/URSI pracovní skupina VERSIM (VLF/ELF Remote Sensing of the Ionosphere and Magnetosphere). Společně s IAMAS komisí ICMA (International Commission on Middle Atmosphere) pravidelně organizuje konference věnované dlouhodobým změnám a trendům v atmosféře. Podrobný výčet a popis aeronomických studií v rámci IAGA je například v práci Abdu a kol. (2011).

Magnetosféra, magnetické bouře a kosmické počasí

Zemskou magnetosférou rozumíme tu oblast kosmického prostoru kolem Země, kde převládá vliv zemského magnetického pole nad vlivem slunečního větru. Podobnou myšlenku najdeme již v práci Gilberta (1600). Nicméně pojem „magnetosféra“ byl poprvé navržen Goldem (1959). Procesy v magnetosféře jsou kontrolovány vzájemným působením slunečního větru a zemského magnetického pole, jehož krátkodobé poruchy označujeme jako geomagnetické bouře. Ty mají významný dopad na zemský povrch a na objekty pohybující se na oběžných drahách kolem Země.

Velká geomagnetická bouře v roce 1859, známá jako Carringtonova událost (Carrington 1860; Hodgson 1860; Stewart 1861), souvisela se skupinami velkých slunečních skvrn. Dnes již víme, že tyto prudké sluneční bouře byly doprovázeny výronem koronální hmoty (CME, coronal mass ejection), která narazila na siločáry geomagnetického pole a způsobila jeho poruchu (Bartels 1937). Tuto poruchu doprovázel optický jev známý jako polární záře. Ta byla na severní polokouli pozorována dokonce i v oblasti Karibského moře a v oblasti Skalnatých hor byla tak



A. STORM OF ELECTRICITY TELEGRAPH WIRES USELESS FOR SEVERAL HOURS.

ONE OF THE MOST SEVERE DISTURBANCES
FOR MANY YEARS, EXTENDING EVEN TO
EUROPE—TELEPHONE WIRES ALSO OB-
STRUCTED—BUSINESS DELAYED A GOOD
PART OF THE DAY.

Yesterday's storm was accompanied by a
more serious electrical disturbance than has been
known for years. It very seriously affected the
workings of the telegraph lines both on the land
and in the sea, and for three hours—from 9 A. M.
until noon—telegraph business east of the Missis-
sippi and north of Washington was at a stand-still.

Vlevo: Magnetogram z 2. 9. 1859, zaznamenávající geomagnetickou bouři (Carringtonovu událost) na observatoři v britském Greenwichi; **vpravo:** článek popisující Carringtonovu událost v *New York Times*

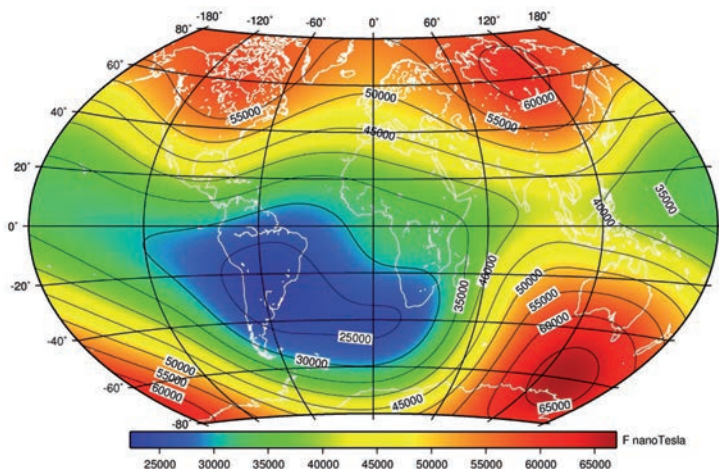
jasná, že vzbudila zlatokopy. Lidé na severovýchodě USA mohli v noci číst noviny. Telegrafy v Severní Americe a v Evropě selhávaly, v některých případech byla jejich obsluha zasažena elektrickým výbojem. Některé telegrafní systémy zůstaly pod napětím i po odpojení od svého elektrického zdroje, obsluha mluvila o „nebeské baterii“. Pokud by v současnosti nastala solární bouře obdobné intenzity, měla by dalekosáhlé důsledky pro moderní technologie v důsledku indukovaných napětí (v elektrických vedeních, ropovodech a plynovodech, satelitní komunikaci a navigačních systémech). Riley (2012) odhadl, že pravděpodobnost výskytu podobně silné bouře v letech 2012 až 2022 je kolem 12 %. Například solární erupce v červenci 2012 byla přinejmenším stejně silná a pouze shodou náhod nezasáhla Zemi (Baker a kol. 2013, 2014). Těmto jevům se v rámci IAGA věnuje Komise pro kosmické počasí, na jejíž činnosti se podílejí divize II, III a IV.

IGA produkty

Pracovní skupiny a divize IAGA vytvářejí také různé modely, příručky a normy potřebné pro jednotný postup při měření a zpracování údajů o geomagnetickém poli.

Modely

Hlavním modelem IAGA je Mezinárodní referenční geomagnetické pole (IGRF, International Geomagnetic Reference Field). Tento matematický model (série modelů) se používá k výpočtu hlavní, vnitřní části geomagnetického pole a jeho změn od roku 1900 po současnost, pro jakýkoliv bod na zemském povrchu nebo nad ním. Byl vytvořen v roce 1968 (Zmuda 1971) a je využíván nejen pro vědecké účely, ale také komerčními subjekty jako zdroj údajů pro spolehlivou orientaci. Vzhledem k dynamice geomagnetického pole je IGRF v pravidelných pětiletých cyklech aktualizován (např. Thébaud a kol. 2015a, b). Nicméně v souvislosti s posledním výrazným posunem

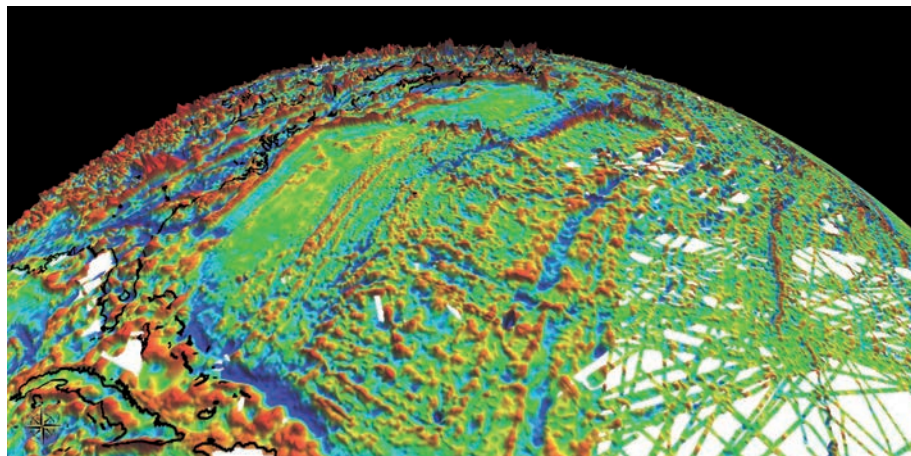


Intenzita geomagnetického pole dle 12. generace Mezinárodního referenčního geomagnetického pole (IGRF-12, Britská geologická služba)

geomagnetického pólu v severní polární oblasti musel být IGRF aktualizován mimořádně (např. Witze 2019).

Dalším modelem IAGA je Světová digitální mapa magnetických anomálií (WDMAM, World Digital Magnetic Anomaly Map). Geomagnetická měření na moři a v atmosféře (letecky) ovšem trvala více než půl století, sběr dat pro tuto mapu započal v sedmdesátých

Detail magnetických anomálií dle amerického Národního centra pro environmentální informace (NCEI, National Centers for Environmental Information), dříve Národního centra pro geofyzikální data (NGDC, National Geophysical Data Center), kandidát na World Digital Magnetic Anomaly Map (WDMAM) pro severozápadní Atlantský oceán (archiv NCEI)



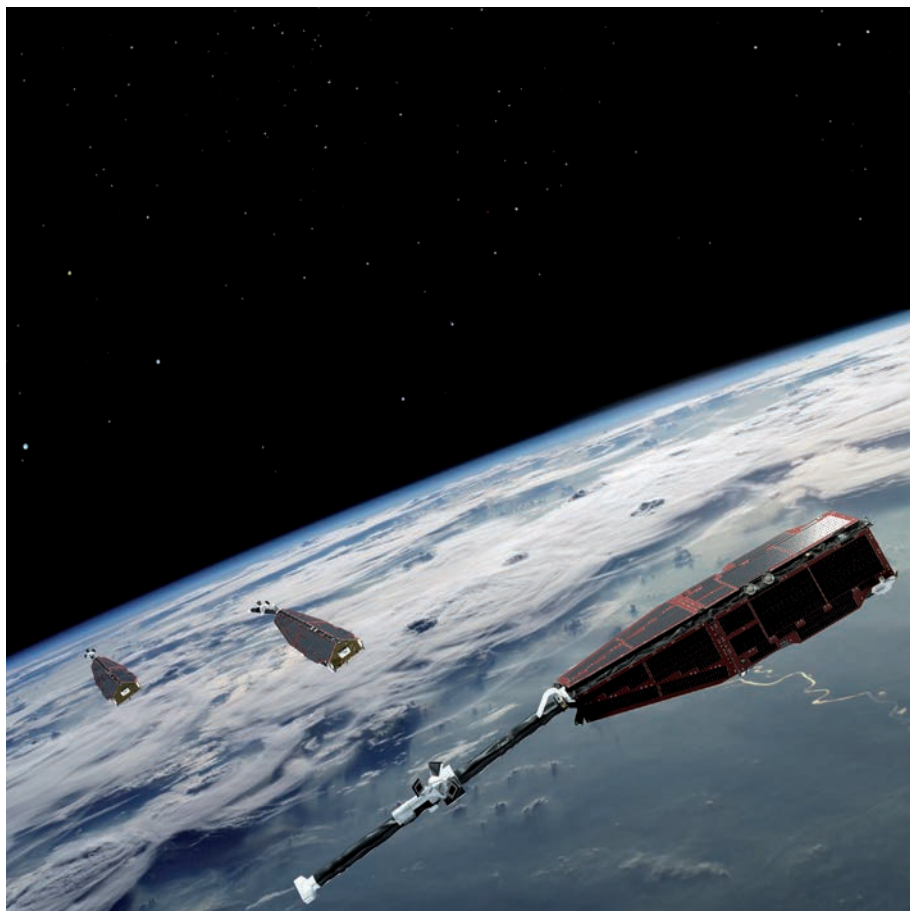
letech minulého století a byl komplikován potřebou integrovat data měřená na zemském povrchu se satelitními údaji. Další potíž představuje časově proměnný charakter geomagnetického pole. V roce 2003 vytvořila IAGA pracovní skupinu, která se zaměřila na kombinaci všech dostupných dat s cílem vytvořit tuto mapu magnetických anomálií. První verze byla zveřejněna v roce 2007 (Korhonen a kol. 2007; Hemant a kol. 2007). Maus a kol. (2009) a Maus (2010) pak zveřejnili vylepšenou verzi. Nicméně tato mapa trpěla nedostatkem dat v oblasti oceánů. Druhá verze WDMAM (<http://www.wdmam.org>) byla vytvořena Lesurem a kol. (2016) a byla schválena IAGA na 26. kongresu IUGG v roce 2015 v Praze.

Geomagnetické indexy

V roce 1906 byl na Královském nizozemském meteorologickém ústavu (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) v De Biltu v Holandsku založen Centrální úřad pro magnetismus Země (Central Bureau of Terrestrial Magnetism), jenž měl za úkol výpočet „magnetických parametrů mezinárodního významu“. Působnost tohoto úřadu skončila v roce 1987, kdy byla na valném shromáždění IUGG ve Vancouveru založena Mezinárodní služba pro geomagnetické indexy (ISGI, International Service of Geomagnetic Indices) se sídlem ve Francii. Od roku 2015 sídlí vedení ISGI na Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) ve Štrasburku (<http://isgi.unistra.fr/index.php>). Geomagnetický index představuje zobecněnou míru změn magnetického pole pozorovaných na zemském povrchu v daném pásmu zeměpisných šířek. Existuje několik geomagnetických indexů a každý z nich představuje specifický elektrický proud tekoucí v blízkém okolí Země. Při stanovení těchto indexů hraje IAGA zásadní roli jako stěžejní vědecká organizace. Služba ISGI společně se spolupracujícími institucemi zajišťuje kvalitu a ucelenost datových řad. Asociace IAGA oficiálně uznává několik indexů, které popisují geomagnetickou aktivitu nebo některou její složku: aa, am, Kp, Dst, AE a PC. Zároveň schvaluje seznam významných geomagnetických jevů, jako jsou náhlý počátek bouře (SSC, Storm Sudden Commencement), účinky slunečních září (SFE, Solar Flare Effects) či mezinárodně klidné a porušené dny (Q-Days a D-Days). Současná kritéria pro uznání jednotlivých geomagnetických indexů vstupovala v platnost postupně od roku 2009.

Budoucnost IAGA

Ve svém oboru IAGA je a zůstane nejvýznamnější nevládní mezinárodní organizací. Během následujících let má IAGA za cíl hrát významnou roli ve výzkumu naší magnetické planety a dalších planetárních těles. Od neustálých pozorování až po sofistikované modely, vědci v rámci IAGA budou přinášet nové údaje a lepší znalosti o geodynamu, magnetické litosféře, vnějším prostředí Země či o působení Slunce. Studium magnetismu naší sluneční soustavy a planetárního magnetismu bezpochyby přinesou další vzrušující objevy. I přes veškerý technologický pokrok je zřejmé, že pozemní pozorování bude i nadále zásadní pro spolehlivé zaznamenávání geomagnetického pole a jeho změn. I když máme poměrně dobré pokrytí pozemními observatořemi, oceány stále představují velké prázdné místo na mapě.



Umělecký pohled na trojici satelitů Swarm (ESA, Evropská kosmická agentura)

Proto IAGA důrazně podporuje instalaci automatických magnetických observatoří na mořském dně, což povede k významnému zlepšení modelů geomagnetického pole a přinese související technický a společenský přínos. Na druhou stranu budou nové satelity a planetární sondy představovat hlavní kroky k lepšímu pochopení planetárních polí a událostí souvisejících s vývojem vesmíru. Mise trojice družic Evropské kosmické agentury Swarm, doplněná kanadským satelitem Cassiope, zahájená v roce 2013, již přinesla nová data potřebná k pochopení, jak se vytváří magnetické pole Země a jak nás chrání před zásahem škodlivých nabitých částic z vesmíru. Ve vývoji je nový družicový systém NanoMagSat (Hulot et al. 2018). Pokrok ve studiu geodynamika, paleomagnetismu nebo magnetotellurice bude převážně určován experimentálním, technologickým a výpočetním vybavením. S tím

souvisí také vývoj nové disciplíny – datové asimilace, která kombinuje pozorování, modely a řídicí fyzikální zákony za účelem identifikace výchozích podmínek nebo získání spolehlivých prognóz vývoje. Je velmi pravděpodobné, že řada drobných kroků v těchto oblastech povede k dosažení spolehlivějších a komplexnějších znalostí o procesech v nitru a na povrchu Země a dalších planetárních těles, včetně jejich historie.

Česká stopa v IAGA

Česká republika tradičně patří k nejaktivnějším členským zemím v IAGA. Praha byla místem konání 3. valného shromáždění celé IUGG v roce 1927. Jako první město v historii hostila podruhé 26. valné shromáždění v roce 2015. Na tomto shromáždění měla IAGA největší zastoupení ze všech osmi asociací (18 %), a vědci z České republiky prezentovali 56 příspěvků z celkem 904 zaslaných v rámci programu IAGA, což představovalo 3.–5. nejvyšší počet po USA a Rusku, srovnatelný s Velkou Británií a Japonskem. Aktivní role byla již v zapojení československých vědců do výzkumu v rámci IGY a pozdější zapojení do řídicích struktur IAGA, od pracovních skupin až po nejvyšší funkce. Zde přinášíme výčet těch, kteří významně přispěli k činnosti IAGA v posledních letech (v abecedním pořadí):

- Bucha Václav (Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i.): viceprezident IAGA 1983–1987.
- Hejda Pavel (Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i.): místopředseda pracovní skupiny V-OBS (Geomagnetic Observation) 2007–2011 a předseda téže pracovní skupiny 2011–2015.
- Koucká-Knížová Petra (Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.): předsedkyně pracovní skupiny II-C (Meteorological Effects on the Ionosphere) 2011–2015, 2015–2019, organizátorka pravidelných konferencí na téma „VLF/ELF Remote Sensing of Ionospheres and Magnetospheres – VERSIM“.
- Laštovička Jan (Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.): viceprezident IAGA 1999–2003, předseda pracovní skupiny II-F (Long-Term Trends in the Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere) 2007–2011 a místopředseda téže pracovní skupiny 2011–2015, 2015–2019; organizátor pravidelných konferencí na téma „Long-Term Changes and Trends in the Atmosphere“.
- Petrovský Eduard (Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i.): místopředseda pracovní skupiny I-4 (Rock- and Environmental Magnetism) 2001–2003, předseda téže pracovní skupiny 2003–2007, člen výkonného výboru IAGA 2007–2011, viceprezident IAGA 2011–2015, prezident IAGA 2015–2019, organizátor pravidelných konferencí zaměřených na paleomagnetismus a magnetismus hornin.
- Šimkanin Ján (Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i.): místopředseda pracovní skupiny I-1 (Theory of Planetary Magnetic Fields) 2011–2015, předseda téže pracovní skupiny 2015–2019, organizátor dvou mezinárodních konferencí zaměřených na přírodní dynamu.

Kromě podpory výše zmíněných ústavů Akademie věd byla a je činnost českých vědců (v poslední době pak pouze činnost E. Petrovského) v rámci struktur IAGA do značné míry podporována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci programů na podporu účasti českých vědců v řídicích strukturách

mezinárodních nevládních organizací (programy INGO, INGO II a Inter-Excellence – Inter-Vector). Tento text je volným překladem článku Mande a Petrovský (2019), který vyšel jako součást speciálního čísla časopisu *History of Geo- and Space Sciences*, věnovaného 100. výročí IUGG (https://www.hist-geo-space-sci.net/special_issue996.html), doplněným o text k 180 letům geomagnetických měření na českém území.

Literatura

- Abdu, M. A., Pancheva, D., Bhattacharyya, A. (Eds). *Aeronomy of the Earth's Atmosphere and Ionosphere. IAGA Special Sopron Series*, Sv. 2. Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V., 2011.
- Arnold. *The Letter of Petrus Pelegrinus on the Magne, A.D. 1269*. New York: McGraw and Hill 1904.
- Baker, D. N., Li, X., Pulkkinen, A., Ngwira, C. M., Mays, M. L., Galvin, A. B., Simunac, K. D. C. A major solar eruptive event in July 2012: Defining extreme space weather scenarios. *Space Weather* 11, 2013, s. 585–591.
- Baker, D. N., Jackson, J. M., Thompson, L. K. Predicting and mitigating socio-economic impacts of extreme space weather: benefits of improved forecasts. In: Ismail-Zadeh A., Fucugauchi J., Kijko A. et al. (Eds). *Extreme Natural Events, Disaster Risks and Societal Implications*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2014, s. 113–125.
- Cagniard, L. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics* 18, 1953, s. 605–635.
- Chapman, S. Some thoughts on nomenclature. *Nature* 157, 1946, s. 405.
- Chapman, S. Nomenclature in meteorology. *Weather* 7–8, 1953, s. 62.
- Cliver, E., Petrovsky, E. Introduction. In: Mande M., Korte M., Yau A., Petrovsky E. (Eds). *Geomagnetism, Aeronomy and Space Weather: A Journey from the Earth's Core to the Sun*. Cambridge: Cambridge University, 2019.
- Courtillot, V., Le Mouél, J. L. The study of Earth's magnetism (1269–1950): a foundation by Peregrinus and subsequent development of geomagnetism and paleomagnetism. *Rev. Geophys.* 45, 2007.
- Emiliani, C. A new global Geology. In: Emiliani C. (Ed.). *The Oceanic Lithosphere. The Sea*. Vol. 7. Cambridge: Harvard University Press, 2005, s. 1687–1728.
- Fukushima, N. History of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA). *IUGG Chronicle* 226, 1995, s. 73–87.
- Gauss, C. F. *Allgemeine Theorie des Erdmagnetisms, Resultate aus den Beobachtungen des magnitischen Vereins im Jahre 1838*. Leipzig: Gauss und Weber, 1839.
- Gilbert, W. *De Magnete*. Londini: Excudebat Petrus Short, 1600.
- Glatzmaier, G. H., Roberts, P. H. A 3-dimensional self-consistent computer-simulation of a geomagnetic-field reversal. *Nature* 377, 1995a, s. 203–209.
- Glatzmaier, G. H., Roberts, P. H. A 3-dimensional convective dynamo solution with rotating and finitely conducting inner-core and mantle. *Phys. Earth Planet. Inter.* 91, 1995b, s. 63–75.
- Gold, T. Motions in the magnetosphere of the Earth. *J. Geophys. Res.* 64, 1959, s. 1219–1224.

- Gubbins, D., Herrero-Bervera, E. (Eds). *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V., 2007.
- Hemant, K., Thébault, E., Manda, M., Ravat, D., and Maus S. Magnetic anomaly map of the world: merging satellite, airborne, marine and ground-based magnetic data sets. *Earth Planet. Sci. Lett.* 260, 2007, s. 1–2, 56–71.
- Hulot, et al. *NanoMagSat: update. The Swarm 8th Data Quality Workshop*. Frascati: ESA-ESCRIN, 2018.
- Irving, E. Palaeomagnetic and palaeoclimatological aspects of polar wandering. *Geofis. Pura Appl.* 33, 1956, s. 23–41.
- Jankowski, J., Sucksdorff, C. *IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*. International Association for Geomagnetism and Aeronomy, 1996.
- Korhonen, J. V., Fairhead, J. D., Hamoudi, M., Hemant, K., Lesur, V., Manda, M., Maus, S., Purucker, M., Ravat, D., Sazonova, T., Thébault, E. *Magnetic Anomaly Map of the World*. Espoo: Geological Survey of Finland, 2007.
- Larmor, J.: How could a rotating body like the Sun become a magnet? *Rep. Br. Assoc. Adv.*, 1919, s. 159–160.
- Lesur, V., Hamoudi, M., Choi, Y., Dyment, J. and Thébault E. Building the second version of the World Digital Magnetic Anomaly Map (WDMAM). *Earth Planets Space* 68: 27, 2016.
- Manda, M. Korte, M. (Eds). *Geomagnetic Observations and Models. IAGA Special Sopron Series*, sv. 5. Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V., 2011.
- Manda, M., Petrovský, E. IAGA: a major role in understanding our magnetic planet. *Hist. Geo Space Sci.* 10, 2019, s. 163–172.
- Mason, R. G., Raff, A. D. Magnetic survey off the west coast of North America, 32°N latitude to 42°N latitude. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72, 1961, s. 1259–1265.
- Maus, S. An ellipsoidal harmonic representation of earth's lithospheric magnetic field to degree and order 720. *Geochem Geophys Geosyst.* 11, 2010.
- Maus, S., Barckhausen, U., Berkenbosch, H. et al. EMAG2: a 2-arcmin resolution earth magnetic anomaly grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 10, 2009.
- Mercanton, P. L. Inversion de l'inclinaison magnétique terrestre aux âges géologiques. *J. Geophys. Res.* 31, 1926, s. 187–190.
- Morley, L. W. Letter. In: Lear J. Canada's unappreciated role as a scientific innovator. *Saturday Review* 2. 9. 1967, s. 45–50.
- Raff, A. D., Mason, R. G. Magnetic survey off the west coast of North America, 40°N latitude to 52°N latitude. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72, 1961, s. 1267–1270.
- Riley, P. On the probability of occurrence of extreme space weather events. *Space Weather* 10, 2012.
- Runcorn, S. K. Palaeomagnetic comparisons between Europe and North America. *Proc. Geol. Assoc. Canada* 8, 1956a, s. 77–85.
- Runcorn, S. K. Paleomagnetism, polar wandering and continental drift. *Geol. Mijnbouw* 18, 1956b, s. 253–258.
- Thébault, E., Finlay, C. C., Beggan, C. D. et al. International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation. *Earth Planets Space* 67, 2015a, s. 79.
- Thébault, E., Finlay, C. C., Toh, H. International Geomagnetic Reference Field—the twelfth generation. Preface. *Earth Planets Space* 67, 2015b, s. 158.

- Thrower, N. J. W. (Ed.). *The Three Voyages of Edmond Halley in the Paramore, 1698–1701*. London: Hakluyt Society, 1981.
- Vine, J. F. Spreading of the ocean floor: new evidence. *Science* 154, 1966, s. 1405–1415.
- Vine, J. F., Matthews, D. H. Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature* 199, 1963, s. 947–949.
- Wienert, K. A. *Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice*. Brussels: Publ. UNESCO, 1970.
- Zmuda, A. J. The International Geomagnetic Reference Field: Introduction. *Bulletin of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy* 28, 1971, s. 148–152.

Český komitét pro geodézii a geofyziku je zapsaný spolek, který vznikl v roce 2018 jako nástupce akademického Českého národního komitétu pro geodézii a geofyziku. Hlavním cílem Komitétu je zastupovat Českou republiku v mezinárodním měřítku v Mezinárodní unii pro geodézii a geofyziku (IUGG), jejích asociacích a odborných skupinách; navrhnout odborníky do funkcí v řídicích orgánech, výkonných výborech a komisích IUGG, jejích asociací a odborných skupin; navrhnout oficiální české delegáty na valná shromáždění a zasedání orgánů IUGG, příslušných asociací a odborných skupin; připravovat česká stanoviska pro jednání v orgánech IUGG, příslušných asociací a odborných skupin; projednávat výsledky činnosti IUGG, hodnotit je a dávat podněty a doporučení ke zvýšení úrovně činnosti apod. Komitét tvoří vědečtí a odborní pracovníci z oblasti geodézie a geofyziky, nominovaní institucemi, které se zabývají výzkumem Země.

Doc. RNDr. Eduard Petrovský, CSc., působí od roku 1985 jako vědecký pracovník na Oddělení geomagnetiky, kde se věnuje výzkumu magnetických vlastností hornin a jejich aplikací na životní prostředí. Specializuje se na výskyt a vlastnosti oxidů železa v půdách, sedimentech a atmosféře ve vztahu ke klimatickým změnám a lidské činnosti. Od roku 2003 je vedoucím oddělení geomagnetismu, v letech 2015–2019 prezident IAGA.

Prof. Dr. Mioara Manda je v současnosti vedoucí programu Solid Earth Observation / Directorate for Strategy and Programmes francouzské vesmírné agentury Centre National d'Etudes Spatiales (French Space Agency) v Paříži. V roce 2018 byla oceněna Peregrinovou medailí. V letech 2011–2019 generální tajemnice IAGA.

RNDr. Pavel Hejda, CSc., působí v GFÚ od roku 1975, nyní jako vedoucí vědecký pracovník v geomagnetickém oddělení. Od roku 1993 do 2007 byl zástupcem ředitele Geofyzikálního ústavu a v období 2007–2017 ředitelem ústavu. V letech 1997–2005 byl členem Akademické rady AV ČR. Zastupuje ČR v Radě národních vědeckých delegátů EPOS – European Plate Observing System.

Mezinárodní asociace pro geomagnetismus a aeronomii (IAGA) je jednou z osmi asociací sdružených v Mezinárodní unii pro geodézii a geofyziku (IUGG). Výzkum prováděný v rámci IAGA se zaměřuje na magnetické a elektrické vlastnosti zemského jádra, pláště a kůry, střední a svrchní atmosféry, ionosféry a magnetosféry, jakož i Slunce, slunečního větru, dalších planet a meziplanetárních těles. Po poválečných diskusích v roce 1918 v Londýně a Paříži byla v Bruselu 28. 7. 1919 založena IUGG, jejíž součástí byla i sekce D – Zemský magnetismus a elektrina, později přejmenována na IAGA.

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

Slavomír Entler: **Tokamak Compass**

Jaroslav Šebek: **Kardinál Tomášek za normalizace**

Jaroslav Pánek: **Český časopis historický**

V EDICI MIMO JINÉ VYŠLO:

D. Dobiáš: **The Forged Dvůr Králové and Zelená Hora Manuscripts**

S. Entler, R. Pánek, M. Hron: **Systémy pro jadernou energetiku**

Martin Pivokonský: **Úprava pitné vody**

Edice Věda kolem nás | Prostory společné paměti

Sto let IAGA a studium magnetického pole Země | Eduard Petrovský, Mioara Manda, Pavel Hejda

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i. Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2019. Ediční číslo 12630. Tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jílonická 80, 158 00 Praha 5.

ISSN 2464-6245

Evidováno MK ČR pod e. č. E 22344

Další svazky získáte na:

www.vedakolemnas.cz | www.academia.cz | www.eknihy.academia.cz