

GEOMAGNETICKÉ ANOMÁLIE V ČESKÉ REPUBLICE

Karel Šalanský – Ivan Gnojek



Český geologický ústav
Praha 2002

Recenzent
RNDr. Ladislav Pokorný

1. Celková charakteristika a klasifikační kritéria magnetických anomálií	8
1.1. Kvalita zdroje anomálií	8
1.2. Hloubky zdrojů anomálií	8
1.3. Velikostní kritéria anomálií	8
1.4. Tvar anomálií	8
1.5. Směrová orientace anomálií	9
1.6. Složitost anomálního magnetického pole	9
1.7. Klasifikace anomálií podle rozmístění v ploše (v mapě)	10
1.8. Amplitudy anomálií	10
1.9. Klasifikace podle magnetizace zdroje	11
1.10. Anomálie podle geologické příčiny	11
1.11. Klasifikace anomálií podle stupně geologického ověření	12
1.12. Vztah magnetických anomálií k obsahu geologické mapy	12
1.13. Vztah magnetických anomálií k jiným geofyzikálním polím	13
1.14. Kategorie anomálií podle prognózního významu	13
2. Rozšíření magnetických anomálií v geologických jednotkách České republiky	14
2.1. Území 1. Krystalinikum Českého lesa	15
2.2. Území 2. Šumavské moldanubikum – západní část	18
2.3. Území 3. Moldanubikum – jižní Čechy a Šumava-východ	24
2.4. Území 4. Středočeský pluton, jihočeské moldanubikum – severní část	29
2.5. Území 5. Moldanubikum – česká část, centrální moldanubický masiv	36
2.6. Území 6. Kutnohorské krystalinikum, moldanubikum – severní okraj, středočeský pluton – severovýchodní část, metamorfované ostrovy, železnohorská jednotka – severozápadní část	41
2.7. Území 7. Česká křídlová pánev – jihovýchodní část, železnohorská jednotka, svratecké krystalinikum, poličské krystalinikum, moldanubikum – severní část	48
2.8. Území 8. Moldanubikum moravské větve, část mezi centrálním moldanubickým masivem a třebečským masivem, část na východ od třebečského masivu a část strážecká	54
2.9. Území 9. Brněnský masiv, moravikum – svratecká část, boskovická brázda, kulm Drahanské vrchoviny – jihozápadní část	64
2.10. Území 10. Krušné hory – západ, Doupovské hory	70
2.11. Území 11. Krušné hory – východ, České středohoří – západní část, severočeská hnědouhelná pánev	77
2.12. Území 12. Tepelské krystalinikum, domažlické krystalinikum, západní část barrandienského proterozoika	83
2.13. Území 13. Barrandien	88
2.14. Území 14. České středohoří – východní část, lužická jednotka, česká křídlová pánev – severozápadní část	93
2.15. Území 15. Česká křídlová pánev – centrální část, podkrkonošská pánev – jihozápadní část	97
2.16. Území 16. Krkonoško-jizerské krystalinikum, podkrkonošská pánev	101
2.17. Území 17. Česká křídlová pánev – východní část, vnitrosudetská permokarbonská pánev, krystalinikum Orlických hor – severní část	107
2.18. Území 18. Orlicko-kladská (orlicko-sněžnická) jednotka – východní část, silesikum – severní část	111
2.19. Území 19. Silesikum – jižní část, zábřežské krystalinikum, kulm Drahanské vrchoviny a Nízkého Jeseníku, Hornomoravský úval	118
2.20. Území 20. Karpatská část České republiky (a výběžek kulmu Oderských vrchů)	123

Literatura 133

Geomagnetic anomalies in the Czech Republic (English summary) 135

Abstrakt

Práce shrnuje výsledky systematického detailního (na letových trasách 250 m od sebe vzdálených) aeromagnetického mapování České republiky a některé poznatky z navazujících regionálních výzkumů. V první části jsou analyzovány magnetické anomálie z řady různých hledisek a je navržena jejich klasifikace. Hlavní část práce obsahuje interpretaci geomagnetických anomálií ve dvaceti regionech České republiky, vymezených k tomuto účelu. Připojená schémata dokumentují význam anomálií pro studium geologické stavby jednotlivých regionů. K vybraným anomáliím jsou uvedeny výsledky pozemní magnetometrické detailizace.

Abstract

The paper summarizes the results of the systematic and detailed (of 250-m flight-line distances) airborne magnetic mapping of the Czech Republic together with some results of the subsequent regional geological research. General analysis of magnetic anomalies from various points of view and their classification are presented in the first chapter. Interpretation of magnetic anomalies situated in 20 regions of the Czech Republic is the main subject of the paper. Significance of magnetic anomalies in studies of geological structure of the individual regions is presented in the schemes added. Results of detailed ground magnetic measurements carried-out on selected airborne anomalies are shown, as well.

Úvod

Od poloviny padesátých do konce osmdesátých let 20. století bylo možné sledovat v bývalé Československé republice velký rozvoj metod užitých geofyziky. Nejrozšířenější metodou regionálních i detailních měření byla vedle gravimetrie zejména magnetometrie. Pro regionální výzkum měla rozhodující význam aeromagnetometrie. V letech 1957–1959 bylo celé státní území zmapováno aeromagneticky v měřítku 1 : 200 000. V měřítku 1 : 25 000, resp. 1 : 50 000 byl v další etapě, v období 1960–1972, zmapován Český masiv na území České republiky. Od roku 1976 probíhá třetí etapa, opět v měřítku 1 : 25 000, ve vybraných částech Českého masivu, převážně v jeho předplatformních jednotkách. Tato rozsáhlá aeromagnetická měření umožnila sestavení geomagnetického obrazu České republiky v mapách různých měřítek. Nepublikované magnetické mapy izanomál ΔT jsou obsaženy ve výzkumných a mapovacích zprávách Geofyziky Brno. Ale již v roce 1965 byly Ústředním ústavem geologickým v Praze vydány soubory geomagnetických map profilů a izolinií 1 : 200 000 z celého státního území. K nim ještě byly sestaveny přehledné mapy izanomál bývalé Československé republiky v měřítku 1 : 500 000 a 1 : 1 000 000. Podrobnější údaje o vývoji aeromagnetometrie a sestavených geomagnetických mapách s citacemi všech aeromagnetických mapovacích prací uvádí doprovodný text k nověji vydané geomagnetické mapě České republiky 1 : 500 000 (vydal Český geologický ústav za podpory České grantové komise v roce 1995).

Většina rozsáhlejších magnetických anomálií byla vymezena již přehledným aeromagnetickým mapováním z let 1957–1959. Vzhledem k vzdálenosti mapovacích letových profilů a malé přesnosti tehdejší letecké aparatury, mohly být uspokojivě konturovány jen anomálie s amplitudou alespoň 100 nT a zabírající větší plochy. Tehdy byla např. objevena svitavská regionální magnetická struktura, rozsáhlé a amplitudově vysoké anomálie železnohorského masivu, jílovského pásma, brněnského masivu a další. Anomálie s amplitudami pod 50 nT s omezenou délkou pod 2 km nemohly být spolehlivě zaznamenány.

Pro dostatečně přesné vymezení regionálních magnetických struktur byla rozhodující etapa aeromagnetického mapování z let 1960–1972. V tomto období byla v průběhu

třinácti let zmapována česká část Českého masivu a byly okonturovány všechny anomálie od vlnových délek prvních stovek metrů a od amplitud prvních desítek nT. Velká část zjištěných anomálií byla ještě upřesňována doplňujícím pozemním měřením na interpretačních profilech.

Poslední etapa letecké protonové magnetometrie, zahájená v roce 1976, pokryla rozsáhlé plochy České republiky společně s leteckou spektrometrií gama a přinesla zpřesnění magnetického obrazu, zejména pak v situování anomálií do podrobnějších topografických podkladů. V rámci této etapy letecké geofyziky došlo k dalšímu prohloubení geologické interpretace.

Účelem této práce je podat přehled geomagnetických anomálií vymezených regionálním mapováním a zajímavých z hlediska geofyzikálního a geologického. Nejprve se věnujeme celkové charakteristice anomálií, které lze analyzovat a posuzovat z mnoha hledisek a členit je do různých kategorií.

Hlavní informace poskytne druhá část práce, v níž je podána geomagnetická charakteristika hlavních geologických jednotek České republiky. Jsou ukázány typické anomálie rozmanitých geologických zdrojů a jejich interpretace. Tímto je rozšířena příliš stručná geomagnetická charakteristika geologických jednotek obsažená v Geofyzikálním obrazu ČSSR (ŠALANSKÝ in IBRMAJER – SUK et al. 1989). V geologických jednotkách popisujeme jednak typické magnetické struktury, jednak ukazujeme na některé výskyty zvláště zajímavých anomálií z hlediska petrografického výzkumu a prognóz nerostných surovin a anomálie důležité pro poznání geologických struktur. Některé zvláště zajímavé aeromagnetické anomálie byly podrobněji proměřeny a lze porovnat jejich letecký a pozemní obraz.

Vzhledem k možnému rozsahu této práce je vybrána jen část z množství anomálií interpretovaných ve zprávách o leteckém geofyzikálním měření. Většina anomálií zůstane hodnocena jen v archivních zprávách. Ucelenou interpretaci všech důležitých anomálií České republiky lze nalézt v textových vysvětlivkách k edici geofyzikálních map 1 : 50 000, které jsou uloženy v archivu Českého geologického ústavu v Praze. Podrobnější údaje o magnetických anomáliích jsou obsaženy v obdobných textových vysvětlivkách k edici geofyzikálních map 1 : 25 000. V této edici bylo zpracováno v období 1973–1992 zhruba 200 mapových listů z území Českého masivu a několik desítek listů z karpatské oblasti.

1. Celková charakteristika a klasifikační kritéria magnetických anomálií

Než se věnujeme klasifikacím anomálií z různých hledisek, učiníme poznámku k pojmu „anomálie“. V geofyzice se tento termín užívá ve dvojím významu. V prvním, fyzikálním, tj. užším smyslu, je to název fyzikální veličiny (odchylky od normálu). V druhém smyslu je jím označována část prostoru, která je touto odchylkou pokryta. Předpokládáme, že v celém textu tento dvojitý význam je zřejmý. Velikostní kritéria pro dělení anomálií podle popisných parametrů jsou volena na základě zkušeností a jsou víceméně formální a mají jen umožnit vzájemné porovnávání anomálií z různých regionů, geologických jednotek apod. Jde víceméně o pokus sjednotit terminologii kolem geomagnetických anomálií.

1.1. KVALITA ZDROJE ANOMÁLIÍ

Při aeromagnetickém mapování jsou lokalizovány anomálie geologického a negeologického původu. U nejstaršího přehledného mapování, vykonaného ještě méně citlivým magnetometrem při výšce 100 m nad terénem a vzdálenosti mapovacích profilů 2 km, bylo zastoupení negeologických anomálií soustředěno do průmyslových a městských center státu. Vliv těchto umělých zdrojů anomálií zcela potlačil nízké anomálie geologického původu. Při měřeních v základním měřítku je podíl umělých anomálií mnohem patrnější. Zejména elektrifikované železniční tratě značně narušují geomagnetické pole do vzdálenosti až 2 km. U novějšího měření protonovým magnetometrem jsou zaznamenávány i drobné umělé poruchy a při interpretaci je třeba prověřovat na místě četné drobné anomálie, zda jde o účinky antropogenních zdrojů (elektrická vedení, sloupy, mosty, potrubí, bludné proudy tramvajové či baňské dopravy, elektrické stroje, transformátory, dopravní a těžební stroje apod.). Opatrnost při interpretaci je zvláště nutná u přesnějších měření od roku 1976, při zachycování magnetických poruch do 10 nT. Na druhé straně je třeba přímo v terénu prověřit existenci geologických zdrojů drobných anomálií, neboť jejich geologická informativnost může být i při nízkých amplitudách velmi vysoká (např. indikace vulkanických výskytů na drobných jednoprofilových anomáliích v Nízkém Jeseníku). Zde je třeba poznamenat, že s postupující civilizovaností krajiny antropogenní „znečištění“ přírodního geomagnetického pole stále roste.

Většina umělých anomálií byla u základního leteckého mapování z let 1960–1972 indikována a vzápětí eliminována leteckým observátorem během měření, a proto v průběhu této etapy letecké geofyziky ještě nevznikaly s eliminací umělých anomálií větší problémy.

1.2. HLOUBKY ZDROJŮ ANOMÁLIÍ

V krystaliniku Českého masivu i v ostatních předplatformních jednotkách převažují anomálie se zdrojem povrchovým a mělce podpovrchovým. O anomáliích způsobených

hlubšími zdroji v jednotkách krystalinika bude pojednáno v kapitole 2.

V platformních oblastech převahu povrchových aeromagnetických anomálií vytvářejí bazaltoidní neovulkanity.

Zdroje ve větších hloubkách jsou zejména v podloží české křídové pánve a zvláště v karpatské oblasti.

Podle hloubky zdroje jsou anomálie:

1. povrchové,
2. podpovrchové s mělkým zdrojem (do 50 m hloubky),
3. s málo hlubokým zdrojem (50–500 m),
4. s hlubokým zdrojem (500–1000 m),
5. s velmi hlubokým zdrojem (přes 1 km).

1.3. VELIKOSTNÍ KRITÉRIA ANOMÁLIÍ

Aeromagnetickým mapováním lze indikovat „bodové“ anomálie v případě, že mapovací profil se nachází nad magneticky aktivním zdrojem nebo v jeho blízkosti. Při mapování 1 : 25 000 (a tedy vzdálenosti letových tras 250 m) lze zjistit anomálie se směrnou délkou alespoň 200, případně i 100 m. To znamená, že anomálii lze přibližně indikovat při protnutí její osy alespoň jediným profilem. Za uspokojivě konturovanou lze považovat takovou anomálii, která je protnuta alespoň dvěma letovými mapovacími profilemi. Nejasně indikované drobné anomálie je třeba pozemním měřením podrobněji vymezit. Téměř ve všech geologických jednotkách se nacházejí drobné anomálie zachycené jen jediným mapovacím profilem. Ty tvoří spodní hranici délkového spektra anomálních magnetických struktur. Délky anomálií bývají velmi různé, od stovek metrů přecházejí i do délek několika kilometrů. Lineární anomálie s délkou přes 10 km jsou již nazývány regionálními magnetickými strukturami a v Českém masivu jich bylo vymezeno kolem sto padesáti (ŠALANSKÝ 1983).

Podle velikosti (délky osy) rozdělujeme anomálie na:

1. anomálie detailní – pod 100 m,
2. anomálie střední velikosti – 100 až 1000 m,
3. anomálie velkých rozměrů – 1000 až 10 000 m,
4. anomálie regionální – nad 10 000 m.

1.4. TVAR ANOMÁLIÍ

Tvar, vektor magnetizace a hloubka geologického zdroje podmiňují tvar anomálie. V nejjednodušším pojetí lze anomálie podle tvaru členit do tří skupin – izometrické, lineární a nepravidelné. Převládají anomálie prvních dvou kategorií, tj. anomálie izometrické a anomálie lineární. Třetí skupinu vytvářejí anomálie tvarově nepravidelné. Izometrické anomálie lze dále členit na anomálie kruhové, eliptické a prstencové. Velmi pravidelné kruhové koncentrické anomálie vytvářejí vulkanické komíny vyplněné bazaltoidními lávami. Bývají provázeny srpovitými maximy či minimy v s. sousedství. Komínové těleso pak bývá zpravidla přímo pod středem kruhové anomálie. Normálně magnetizované vulkanity vytvářejí kladnou kruhovou anomálii s doprovodným minimem, zatímco u inverzně magnetizovaných komínových hornin je tomu naopak.

Kruhové až eliptické anomálie se často objevují v areálech látkově diferencovaných intruzivních komplexů a bývají vyvolány dílčími intruzemi. Vedle zřejmých příčin (např. vliv gabroidních těles) se vyskytují v granitoidních komplexech i rozsáhlejší kruhové až eliptické anomálie vyvolané podpovrchovými zdroji.

Mezi izometrickými anomáliemi jsou méně časté anomálie prstencového tvaru. Bývají spjaty hlavně s intruzivními komplexy nebo s kontakty malých intruzí. Zcela vyvinuté prstencovité anomálie jsou vzácné, ale lze nalézt četné anomálie, které lze považovat za indikace částí destruovaných ringových struktur. Nacházejí se ve větších areálech intruzivního magmatismu Českého masivu. V paleo- a neovulkanických areálech jsou kruhové anomálie časté, naopak prstencovité anomálie jsou vzácné. Mohou být však částečně nebo zcela maskovány magnetickým účinkem dalších vulkanických hmot.

V magnetickém obrazu České republiky dominují magnetické anomálie lineárního tvaru. Lze je dělit na přímočaré a křivočaré a také na spojitě a nespojitě. Nalézáme je ve všech geologických jednotkách České republiky. Svou délkou dosahují významu až regionálních magnetických zón či struktur. Jsou spjaty zejména s rozšířením vulkanických pásem od proterozoika po neogén. Lineární anomálie mohou v krystalinických formacích indikovat např. rozšíření vulkanitů. Mohou doprovázet pásma rekrystalizace magnetických minerálů na tektonicky založených liniích či starých mylonitových zónách, nebo mohou být indikacemi hydrotermálních přeměn. Při interpretaci magnetických anomálií v krystaliniku je proto důležité rozeznat, zda jde o původně stratiformní magnetická pásma nebo o diskordantní magnetické struktury.

U křivočarých lineárních anomálií mohou dále v roli příčin vystupovat exokontaktní pásma podél intruzivního tělesa. Mohutné magnetické anomálie tohoto typu nalézáme rovněž v areálech neovulkanitů, kde vymezují trhlinové výplně s bazaltoidními lávami.

Se skupinou nepravidelných anomálií se setkáváme také v areálech intruzivních komplexů, jsou však hojně přítomny i v oblastech neovulkanitů. Bývají vyvolávány sumárním účinkem více zdrojů (vulkanické komíny, pravé a ložní žíly, subvulkanické formy, relikty lávových proudů a příkrovů a místy i nahromaděná pyroklastika). Na nepravidelný tvar anomálií v prostoru neovulkanitů má velký vliv i reliéf terénu. V území s členitým reliéfem a s nepravidelným zastoupením různých vulkanických hmot vznikají anomálie až chaotických tvarů. V takovém magnetickém obrazu lze obtížně vymezovat tvary a rozměry jednotlivých zdrojů.

1.5. SMĚROVÁ ORIENTACE ANOMÁLIÍ

Směr anomálií bývá definován jako azimut jejich osy. O směru anomálií lze uvažovat jen u lineárních anomálií. Směr je buď stálý u lineárních anomálií přímočarých, nebo proměnný u anomálií s osou měnící azimut.

Směr anomálií určují lineárně uspořádané elementy v geologických jednotkách (např. vulkanické pruhy, zlomová pásma, stratiformní magnetizované horniny v sedi-

mentárních a zejména v metamorfovaných komplexech, žilné horniny, kontaktní dvory intruzí apod.). Průběh os anomálií vyznačuje v mapě obraz magnetických lineací. Z nich lze získávat strukturní informace o geologické stavbě v odkrytých i zakrytých terénech. Dostatečná hustota magnetických měření je podmínkou jednoznačného vedení magnetických lineací. V strukturně složitých terénech lze korelovat lineace z profilových křivek a z průběhu izanomál, někdy ve dvou i více alternativách. Vyloučení fiktivních lineací, které nemají svůj podklad v geologické stavbě, je možné speciálními magnetometrickými metodami (např. mikromagnetické testování). Fiktivní průběh magnetických lineací může být zaviněn metodikou korelace, neboť často totiž převládá tendence korelovat lineace co možná nejvíce kolmo ke směru profilů. Pravděpodobnost chybné směrové korelace je větší zvláště ve složitých anomálních areálech neovulkanitů. V každém případě je při směrové analýze magnetického obrazu s konstrukcí magnetických lineací vhodné přihlížet vedle průběhu izolinií i k profilovým křivkám.

Přímocharost anomálií u regionálních magnetických pásem bývá zachována jen ve vymezených úsecích a v delším úseku je patrný obloukový průběh anomálních os. Může jít pak o indikace rozsáhlých brachystruktur oválného tvaru. Výrazně přímočaré anomálie sledovatelné i na větší vzdálenosti jsou vázány na magnetizované žilné horniny nebo zlomy.

1.6. SLOŽITOST ANOMÁLNÍHO MAGNETICKÉHO POLE

Složitostí magnetického anomálního pole se rozumí jeho morfologická a amplitudová rozmanitost. Pro odstranění tohoto subjektivního, a tím neurčitého pojmu bývá složitost geofyzikálního obrazu nebo složitost geologické mapy definována zvoleným kvantitativním ukazatelem. K tomu se využívá např. entropie, jejíž hodnotou je vystižena složitost geologické, geofyzikální či jiné geovědní mapy. Tato veličina se udává v jednotkách informace (bitech). Složitost obrazu znázorňujícího v ploše nějakou fyzikální veličinu (např. izolinie magnetického anomálního pole) nebo rozmístění nějakých rozhraní (např. hranice petrografických typů v geologické mapě) má definovanou entropii. Složitost různých map lze pak porovnávat zcela objektivně.

Porovnáním entropie geofyzikální a geologické mapy lze analyzovat vztahy geofyzikální a geologické informace a oceňovat např. přínos jednotlivých geofyzikálních polí pro rozšíření objemu geologické informace (ŠALANSKÝ 1963, 1964, 1975a).

Podle dlouholeté zkušenosti určování entropie magnetických map 1 : 25 000 je účelné klasifikovat složitost magnetického obrazu zhruba do čtyř kategorií:

- magnetické pole jednotvárné – entropie do hodnoty 1,0 b. j. (bites),
- magnetické pole málo proměnlivé – entropie 1,0 až 2,0 b. j.,
- magnetické pole proměnlivé – entropie 2,0 až 3,0 b. j.,
- magnetické pole silně proměnlivé – entropie nad 3,0 b. j.

Pro stanovení hodnoty entropie je třeba zachovat stejné

výpočetní podmínky. Pro magnetickou mapu je to interval izolinií 25 nT.

1.7. KLASIFIKACE ANOMÁLIÍ PODLE ROZMÍSTĚNÍ V PLOŠE (V MAPĚ)

Podle kritéria rozmístění v ploše lze dělit anomálie zhruba do čtyř kategorií:

a) Izolované anomálie

Na magnetické mapě jsou izolované anomálie většinou izometrického tvaru. Vystupují z okolního neanomálního pole, v němž drobné magnetické poruchy jsou vyvolány umělými zdroji. Anomálie umělých zdrojů jsou v magnetických mapách většinou eliminovány.

Příkladem mohou být izolované anomálie uvnitř granitoidních masivů způsobené dílčími magnetizovanými intruzemi. Izolované anomálie mohou také být indikacemi vzácnějších typů magnetizovaných hornin v jinak magneticky jednotvárném krystaliniku (erlany, skarny, amfibolity). V platformních oblastech izolované anomálie bývají vyvolány efuzemi neovulkanitů (např. izolované výskyty bazaltoidních neovulkanitů v české křídě).

b) Izolované anomálie řazené do lineárních pásem

Některé typy hornin se vyznačují kolísajícím obsahem magnetických akcesorií a v magnetické mapě se mohou projevovat nesouvislými anomáliemi. Měřitelné anomální účinky jsou jen v úsecích s vyšším obsahem magnetických minerálů a při určitých parametrech uložení hornin a jejich mocnosti. Pod určitým limitním obsahem magnetické akcesorie v hornině již měřitelná anomálie aeromagnetickou metodou nemůže být zaznamenána. Spojitost anomálií však může být prokázána přesným a podrobnějším měřením pozemním.

Součástí lineární magnetické struktury mohou být také anomálie izolované od vyvěřelin, jejichž efuze byla podmíněna zlomovou linií nebo tektonickým transportem podél strukturních diskontinuit (např. magnetické anomálie serpentinitových těles podél okraje granulitových komplexů).

c) Rozsáhlá spojitá anomální pásma

Tento typ magnetických struktur je v České republice hojně zastoupen jak v krystaliniku, tak v slabě přeměněných areálech proterozoika až mladšího paleozoika. Jde převážně o rozsáhlé vulkanické zóny, v nichž nositelem magnetických anomálií jsou přímo vulkanity (např. paleobazalty barrandienského ordoviku a siluru) a s nimi i produkty vzniklé např. při submarinních efuzích. Náleží k nim magnetická pásma vyvolaná pyrohotinovanými horninami. Značná část z regionálních magnetických struktur patří této kategorii (ŠALANSKÝ 1983).

d) Nepravidelné shluky anomálií

Takový magnetický obraz bývá v územích, kde četné magnetizované zdroje vycházejí na povrch a současně se v nich projevují podpovrchové a hlubší zdroje. Vzniká tak složitý magnetický obraz, v němž lze jen obtížně oddělit

anomálie od jednotlivých magnetizovaných zdrojů. Příkladem jsou rozsáhlé areály neovulkanitů i některé úseky krystalinika s velkým zastoupením amfibolitů v kombinaci se serpentinity a také některé magneticky pestré intruzivní a efuzivní komplexy (např. ranský a kdyňský bazický masiv).

1.8. AMPLITUDY ANOMÁLIÍ

Citlivost aeromagnetometrů je již tak vysoká, že ji nelze při běžné metodice měření využít, a je vždy znehodnocována hladinou šumu. Jeho vliv lze částečně eliminovat zásadní změnou metodiky magnetického měření, nebo při speciálních měřeních vysoké přesnosti. Je to např. měření ve větších výškách, v nichž již nepůsobí vůbec nebo jen slabě zdroje vyvolávající proměnlivé magnetické šumové pole. Sonda magnetometru v takových měřeních musí být umístěna v gondole v dostatečné vzdálenosti od magnetických účinků letadla. Rovněž rušivý vliv denních variací geomagnetického pole je při uplatnění vysoce citlivých magnetometrů téměř neřešitelný.

Pro geologické účely byly dosud ze základního geomagnetického mapování využitelné anomálie s amplitudou od prvních desítek nT. Izoliniové mapy u starších měření z let 1960–1972 měly interval izanomál 25 nT a důraz na interpretaci byl kladen na využívání map profilů stejného měřítka 1 : 25 000 (1 cm = 100 nT). V další etapě již protonové aeromagnetometrie byly od osmdesátých let konstruovány na počítači izolinie po 10 nT u anomálií pod 50 nT, u vyšších amplitud byl interval postupně zvětšován na 20 až 100 nT.

Amplitudová charakteristika aeromagnetických anomálií i anomálií pozemního regionálního měření (východní a jižní Morava) je patrná i z přehledné geomagnetické mapy České republiky vydané Českým geologickým ústavem (ŠALANSKÝ 1995). Největší plošný rozsah mají anomální areály s lokálními anomáliemi prvních desítek nT. Velké plochy jsou zcela bez anomálií indikovatelných leteckou metodikou.

Poměrně velké plochy zabírají anomální areály s amplitudami kolem 100 nT. Uvnitř regionálních magnetických struktur dosahují dílčí anomálie amplitud ve stovkách nT a ojediněle i přes 1000 nT. Největší rozšíření anomálií s vysokými amplitudami obojí polarity je v areálech souvislého nahromadění neovulkanitů (Doupovské hory, České středohoří). Izolované anomálie s extrémními amplitudami jsou roztroušeny v oblastech krystalinika a představují hlavně účinky magnetitových skarnů a částečně i více magnetizovaných serpentinitů.

Podle amplitud lze anomálie zařadit do několika tříd. V geomagnetických poměrech České republiky jsou rozlišovány anomálie:

1. velmi nízkých amplitud – pod 10 nT,
2. nízkých amplitud – od 10 do 50 nT,
3. středních amplitud – od 50 do 200 nT,
4. vyšších amplitud – od 200 do 500 nT,
5. vysokých amplitud – od 500 do 1000 nT,
6. velmi vysokých amplitud – nad 1000 nT.

Anomálie velmi nízkých amplitud nelze ze staršího aeromagnetického měření z let 1960–1972 reálně identifikovat a u novějšího měření je můžeme určovat jen v ojedinělých příznivých geomagnetických poměrech. Podmínkou jejich spolehlivého vyčlenění je také nízká úroveň šumu z umělých zdrojů a dokonalá eliminace denních variací geomagnetického pole.

Anomálie nízkých amplitud jsou spolehlivě vymezeny v mapách profilů ΔT staršího měření od roku 1963 a v příznivých podmínkách i v mapách izolinií. U novější etapy základního mapování jsou anomálie nízkých amplitud spolehlivě zachyceny v mapách izanomál s intervalem 10 nT.

Anomálie středních a všech vyšších amplitud jsou leteckou metodikou spolehlivě zaznamenány za předpokladu dostatečně velkého magnetizovaného objektu. Při porovnání amplitud anomálií mapovaných v obou etapách aeromagnetického mapování jsou zřetelné rozdíly, ovlivněné hlavně různou výškou letu a nestejnou trasou letu. Celkově se ukazuje, že amplitudy staršího měření jsou v mapách izanomál výrazně vyšší než u měření novějšího. Je zde patrný vliv automatického počítačového zpracování. Počítačová interpolace naměřených hodnot vede k menšímu či většímu zkreslení amplitud anomálií do nižších hodnot proti skutečnosti. Při zpracování staršího měření ke zkreslení amplitud dochází jen výjimečně.

Porovnání amplitud anomálií leteckého a podrobnějšího pozemního měření ukazuje na značné rozdíly zejména v případech povrchových magnetizovaných zdrojů. S rostoucí hloubkou se tyto rozdíly zmenšují a u hlubokých objektů jsou již rozdíly minimální. Rozdíly v amplitudách anomálií způsobují pak nestejně volená normální pole (viz text ke geomagnetické mapě České republiky 1 : 500 000, ŠALANSKÝ 1995).

1.9. KLASIFIKACE PODLE MAGNETIZACE ZDROJE

V České republice zcela převažují anomálie vyvolané normálně magnetizovanými zdroji s malým podílem remanentní magnetizace. Inverzně magnetizované anomálie jsou výjimečné, vystupují jen v areálech neovulkanitů a lze je bezpečně vymezit u jednoduchých izolovaných vulkanických těles (vulkanické komíny, diatremy). Mimo oblasti neovulkanitů vystupuje jen několik anomálií, u nichž lze očekávat větší podíl remanentní magnetizace odchylného směru od magnetizace indukované současným zemským polem. Na tyto anomálie bude upozorněno v dalším textu. O inverzně magnetizovaných neovulkanitech je několik studií. Z nich lze např. uvést výzkumy MARKA (1973) z Nízkého Jeseníku.

Podle magnetizace zdroje lze tedy dělit anomálie na:

1. anomálie způsobené normálně magnetizovaným zdrojem,
2. anomálie způsobené inverzně magnetizovaným zdrojem,
3. anomálie způsobené magnetizovanými zdroji s podstatným podílem remanentní magnetizace.

1.10. ANOMÁLIE PODLE GEOLOGICKÉ PŘÍČINY

Klasifikace magnetických anomálií podle geologické příčiny může být pojata podle více hledisek. Povšechné dělení může být podle několika hlavních typů geologických zdrojů a podrobnější klasifikace může brát v úvahu spektrum geologických, petrografických a strukturních poměrů.

Hrubší rozdělení magnetických anomálií obsahuje schematická mapa anomálií České republiky obsažená v textu doprovázejícím geomagnetickou mapu České republiky v měřítku z roku 1995. V mapce jsou v generalizovaných obrysech anomálií barevně odlišeny geologické zdroje. Jsou to neovulkanity, paleovulkanity různého stáří, granitoidy, bazická intruziva, metamorfované sedimentárně-vulkanické komplexy, amfibolity, serpentinity a z méně zastoupených hornin erlany, skarny a eklogity. Dále jsou ještě rozlišeny zdroje v parasériích krystalinika a ve vulkanicko-plutonických komplexech. Toto dělení na patnáct druhů geologicko-petrografických zdrojů je účelné pro přehledné měřítko magnetického obrazu České republiky. Sestavená mapa geologických zdrojů je výsledkem a shrnutím aeromagnetických měření v základním měřítku výzkumu od roku 1960 do začátku devadesátých let minulého století.

Klasifikace anomálií může vycházet z podrobnějšího studia zdrojových hornin. Zatímco některé povrchové zdroje lze vyšetřovat na výchozech měření magnetické susceptibility a makroskopickým určením horniny, u mnoha hornin je třeba podrobnější petromagnetické studium s mikroskopickým zařazením hornin. To umožní upřesnit původ anomálií a hlavně stanovit genezi feromagnetických akcesorií (např. vulkanogenní substrát či sekundární vznik při chloritizaci biotitu). Interpretace geologických příčin anomálií bývá znesnadněna u anomálií s podpovrchovými a zejména hlubokými zdroji.

V České republice byla zjištěna příčina řady anomálií v hlubších částech české křídové pánve a v karpatské předhlubni. U zdrojů ve větších hloubkách stále však zůstávají některé interpretace hypotetické, často s více alternativami petrografické příčiny. Tak tomu je nejen v oblastech s mocným platformním pokryvem, ale i u některých dosud neověřených anomálií se zdroji ve větších hloubkách uvnitř krystalinika.

Velmi zastoupenou skupinu tvoří anomálie spjaté se stratiformními magnetizovanými horizonty. Může jít o souvrství z hornin obsahujících v různé míře vulkanický substrát s magnetickými akcesoriemi. Magneticky aktivní jsou také sedimentární horniny s magnetickými minerály z rozrušených vyvřelých hornin. Obsah magnetických minerálů může vést až k vzniku železných rud (black sands).

Další skupinu vytvářejí lineární pásma zřetelně diskordantní k průběhu hornin. U takových anomálií lze předpokládat vazbu na zlomová pásma a mylonitové zóny. Odlišit tyto anomálie od stratiformních je v hlouběji metamorfovaném komplexu obtížné, zejména jde-li o nějaká strukturní pásma podélného směru.

Poměrně četnou skupinu anomálií vytvářejí zdroje, u nichž došlo ke vzniku magnetických minerálů metasomatickými procesy, kontaktní metamorfózou a hydrotermálními pochody.

Typické anomálie vytvářejí komíny neovulkanitů vyplněné bazaltoidními lávami. V prostoru největší neoidní vulkanické aktivity jsou četné anomálie způsobeny žilnými efuzemi. Řídce jsou zastoupeny anomálie vyvolané cirkulárními magmatogenními strukturami v intruzivních či subvulkanických formacích. Vzácné jsou anomálie vyvolané kuželovými žilami. Aeromagnetickým měřením základního měřítka byly konturovány všechny podpovrchové až povrchové ložiskové výskyty magnetitových rud.

Do poslední skupiny lze zařadit anomálie od velmi hlubokých geologických objektů. Jejich interpretace je povětšinou hypotetické povahy, neboť jen malá část byla ověřena hlubokými strukturálními vrty. Tato skupina anomálií má velký plošný rozsah a vedle největší regionální anomálie východomoravské existuje několik rozsáhlejších areálů v Českém masivu, vesměs s amplitudami jen několik desítek nT. Příkladem jsou regionální anomálie východní části Krušných hor a v Nízkém Jeseníku, jakož i několik anomálních rajonů v oblasti platformního pokryvu a v podkrkonošské pánvi.

Aeromagneticky vymezené anomálie v Českém masivu mají převážně povrchové nebo mělce podpovrchové zdroje. S přibývajícím hloubkou zdrojů klesá jejich četnost. Z toho důvodu je jen málo anomálií, které lze bezprostředně využít pro získání podstatných informací o hlubší geologické stavbě. Je to opak obrazu tíhového, který podává o hlubší geologické stavbě relativně více informací než o stavbě nejmělkčí.

Z uvedených geologických zdrojů anomálií plyne několik alternativ klasifikace. Podle typu geologického zdroje bylo zvoleno dělení uvedené v mapce geologických zdrojů anomálií Českého masivu (ŠALANSKÝ 1995).

1.11. KLASIFIKACE ANOMÁLIÍ PODLE STUPNĚ GEOLOGICKÉHO OVĚŘENÍ

Geofyzikální a geologická prozkoumanost magnetických anomálií je rozhodující pro jejich interpretaci. Aeromagnetické anomálie v České republice mají stupeň prozkoumanosti velmi různý. Nejdůkladněji jsou geologicky prozkoumány ty anomálie, které svého času představovaly zájem pro vyhledávání nerostných surovin. Aeromagnetická měření ve svých začátcích byla orientována na přímé vyhledávání magnetitových železných rud. Objevila řadu anomálií, jejichž zdrojem mohlo být větší nahromadění železných rud. Ložiskový význam anomálií byl ověřován vrty. Výsledky ověřovacích prací byly však z hlediska hospodářského významu většinou negativní. Řada prognózně zajímavých anomálií však nebyla prozkoumána.

V průběhu aeromagnetického mapování Českého masivu v měřítku 1 : 25 000 (částečně i 1 : 50 000) bylo v období 1960–1972 vymezeno a interpretováno přes 2000 anomálií. Interpretace se opírala o různý stupeň ověření. Většina anomálií s povrchovým zdrojem byla ověřována měřením magnetické susceptibility in situ. V maximech anomálií byly hledány pomocí kapametru magnetizované horniny. Napříč vybraným anomáliím byly proměřeny pozemní interpretační profily pro zpřesnění situace anomálie v terénu a pro kvantitativní interpretaci. Pozemní ověření mělo také

eliminovat případné magnetické poruchy umělého původu. Nalezené magnetizované horniny byly makroskopicky určovány a v další etapě aeromagnetického mapování po roce 1983 se přikročilo k mikroskopickému studiu magnetizovaných hornin z anomálních areálů. Značná část anomálií nemohla být v terénu susceptibilitně ověřena pro nedostatek výchozů magneticky aktivních hornin, zvláště u anomálií vyvolaných pyritizovanými horninami v západočeských proterozoických komplexech. Soustavný výzkum magnetických vlastností hornin byl prováděn na vzorcích ze strukturálních vrtů, často však situovaných mimo místa anomálií. Důležité výsledky přinesly petromagnetické studie hornin z vrtů do podloží české křídové pánve. V této oblasti byla tak ověřena řada významných anomálií.

V důsledku velkého množství menších anomálií se nemohly všechny ověřovat v terénu, takže velký podíl povrchových anomálií zůstal neověřen. Jejich příčiny však lze stanovit s velkou pravděpodobností z podobných anomálií v sousedství.

Přirozeně neověřena zůstává velká skupina anomálií s podpovrchovými zdroji. Pravděpodobnost správné interpretace u nich závisí na více okolnostech, zejména na možnostech korelace s anomáliemi ověřenými vrty v blízkém okolí. V této skupině neověřených anomálií zůstávají i důležité anomálie, jejichž ověření vrty by mohlo přinést důležité informace o hlubší geologické stavbě platformních oblastí a jejich prognózním významu (o nerudních i rudních surovinách).

Zcela bez ověření zůstávají anomálie se zdroji ve větších hloubkách. Tam ani v budoucnosti nelze očekávat realizaci dostatečně hlubokých vrtů. Jde jen o několik rozsáhlých anomálních areálů v Českém masivu a jeho v. sousedství v karpatské předhlubni.

Z předešlého textu je odvozena klasifikace magnetických anomálií podle stupně ověření:

- a) anomálie jednoznačně interpretované, u nichž byl nepochybně stanoven zdroj rekognoskací v terénu, pozemními interpretačními profily nebo plošným detailním proměřením,
- b) anomálie interpretované podle stávajících geologických podkladů,
- c) neověřené anomálie s hlubším zdrojem.

1.12. VZTAH MAGNETICKÝCH ANOMÁLIÍ K OBSAHU GEOLOGICKÉ MAPY

Rozmístění anomálií a jejich příčiny jsou určovány geologickými poměry území. V ideálním případě by magnetický obraz a obsah geologické mapy měly být v souladu, neboli neměly by se vyskytovat rozpory mezi geologickou interpretací anomálií a obsahem geologické mapy. Při interpretaci geofyzikálních materiálů je třeba považovat geologickou mapu vhodného měřítka za důležitý podklad pro správnou interpretaci. Přitom je nutné se dívat na geologickou mapu jako na určitý model, který může z různých důvodů být deformován proti geologické realitě. Proto jedním z hlavních úkolů interpretace geofyzikálních materiálů je pomoci korigovat dosavadní geologické modely a posunout je blíže ke geologické skutečnosti. Geofyzika musí

upozorňovat na rozpory mezi rozložením geofyzikálních polí a geologickými představami obsaženými v geologické mapě nebo v geologických řezech. Principiálně nemůže geologický model odporovat průběhu geofyzikálních polí, a je proto nutné takový model přizpůsobit tak, aby došlo k vzájemnému souladu.

Značné je riziko ovlivnění interpretace geofyzikálního obrazu geologickou mapou, která může obsahovat neúplné, nepřesné či zcela subjektivní údaje. Pak tyto chyby geologické mapy se mohou přenést i do interpretace geofyzikálních výsledků a přínos geofyziky je pak spíše negativní. Zejména v areálech nevýrazných anomálií, s nejednoznačným vedením anomálních os, může docházet k přizpůsobení interpretace geologické mapy a tak k převzetí jejích případných nedostatků. Proto pro zpřesnění zejména letecké geofyziky je nutné v místech geologicky komplikovaných nebo s nevýraznými konturami anomálií doplnit letecký obraz podrobnějším pozemním měřením.

Nejvíce nových informací přináší magnetická mapa tam, kde není jasná korelace s geologickou mapou a v magnetickém obraze se objevují zdroje a struktury, které však geologická mapa neobsahuje. Důvodem může být to, že geologickým mapováním nejsou geofyzikální indikace postizitelné, nebo jde o informace o podpovrchové a hlubší stavbě. Je to např. vymezení stratiformních anomálních pásem v jednotvárných sedimentárních či metamorfovaných komplexech, vymezení dílčích těles v intruzivních formacích, indikace intruzivních těles podle magnetizovaných hornin v zóně kontaktních účinků apod.

Podle vztahu magnetických anomálií k obsahu geologické mapy můžeme rozlišovat:

- a) anomálie s jasnou korelací s geologickou mapou,
- b) anomálie s méně zřetelnou korelací s obsahem geologické mapy,
- c) anomálie s povrchovými zdroji chybějícími v geologické mapě,
- d) anomálie s hlubšími zdroji bez souvislosti s povrchovou geologickou stavbou.

1.13. VZTAH MAGNETICKÝCH ANOMÁLIÍ K JINÝM GEOFYZIKÁLNÍM POLÍM

K důležitějším korelacím rozličných geofyzikálních polí v regionálním výzkumu patří hledání vztahů mezi magnetickým a tíhovým obrazem. U detailních měření pak mohou přistoupit další metody geofyzikálního komplexu. Často se porovnávají výsledky měření magnetických a geoelektrických metod.

Stupeň korelace lze zhruba rozdělit do tří kategorií: nejprve to jsou magnetické anomálie s výraznou korelací, následuje korelace méně zřetelná a konečně jde o magnetické anomálie bez zjištěné korelace s výsledky jiných geofyzikálních metod.

V případě jednoznačné korelace se zvyšuje pravděpodobnost správné interpretace, ale dochází k redundanci (nadbytečné informaci). U méně zřetelné korelace dochází k nejednoznačnosti výkladu a v případě chybějící korelace se setkáváme s nezávislostí zdrojů různých geofyzikálních polí.

1.14. KATEGORIE ANOMÁLIÍ PODLE PROGNÓZNÍHO VÝZNAMU

Geofyzikální měření mohou obecně přinášet přímé či nepřímé informace o nerostných surovinách. Magnetometrie může dávat přímé prognózy o železorných výskytech s hlavní rudní složkou magnetitem nebo jiným feromagnetickým minerálem. Nepřímé prognózní informace přináší magnetický obraz u řady dalších rudních i nerudných surovin, např. vymezením alterované demagnetizované zóny nebo naopak indikací alterovaného prostoru s přínosem feromagnetických minerálů. Prognózní význam magnetického obrazu může tedy být velmi široký. Ocenění prognózního významu u každé magnetické anomálie musí být prováděno ve vztahu ke geologii daného území. Význam magnetických anomálií pro prognózy rud v Českém masivu byl v regionálním měřítku hodnocen v rámci nepublikované monografie VACKA et al. (1985) a později při výzkumu hloubkové metalogeneze Českého masivu (BLÍŽKOVSKÝ et al. 1988, ŠALANSKÝ et al. 1989).

Podle prognózního významu lze dělit magnetické anomálie na:

- a) anomálie podle geologických údajů prognózně bezvýznamné,
- b) anomálie prognózně nejasné,
- c) anomálie prognózně perspektivní,
- d) anomálie prognózně významné.

Skupina anomálií prognózně bezvýznamných přirozeně převažuje a tvoří ji většina anomálií vyvolaných akcesorickými magnetickými minerály v horninách bez vztahu k výskytům nerostných surovin.

Mezi anomálie prognózně nejasné lze zařadit ty, které mají skryté či mělké podpovrchové zdroje v areálech výskytů nerostných surovin projevujících se aktivně v magnetickém obraze. Důvod jejich prognózní nejasnosti může také spočívat v jejich nedostatečné prozkoumanosti.

Prognózně perspektivní anomálie jsou takové, u nichž lze předpokládat přímou či nepřímou souvislost s nerostnými surovinami podle jejich umístění v alterovaných zónách s mineralizací, na mineralizovaných a mylonitových pásmech a z analogie podobných anomálií v prostoru ložisek nerostných surovin. Mezi prognózně perspektivní anomálie lze zařadit i areály snížené magnetizace nebo demagnetizované úseky svědčící o rudodárných přeměnách. Mohou se projevovat zklidněním průběhu magnetické intenzity v členitějším okolním magnetickém obraze a poklesem až do záporných anomálních hodnot. V některých případech mohou být prognózním objektem inverzně magnetizované zdroje působící záporné anomálie výraznějších amplitud (přítomnost akumulací pyritu). Mezi prognózně zajímavé anomálie mohou být zařazeny rovněž anomálie vymezující horniny pro těžbu kameniva (lokalizace dílčích intruzivních či efuzivních těles vhodných pro těžbu).

Mezi prognózně významné anomálie řadíme ty, které výrazně korelují s geochemickými anomáliemi na předpokládaných místech možných rudních struktur. K takovým anomáliím náleží pásma intenzivních záporných anomálií v blízkosti geochemických rudních aureol. Dalším příkladem mohou být anomálie ringového typu v granitoidních komplexech, v nichž mohou vymezovat zóny zrudně-