PROBLEMA DIRECTĂ ŞI PROBLEMA INVERSĂ ÎN PETROMAGNETOLOGIE ŞI PALEOMAGNETOLOGIE; O DISCUŢIE, CU EXEMPLIFICĂRI ÎN GEOFIZICĂ, GEOLOGIE ŞI GEOECOLOGIE

Sorin Corneliu RĂDAN

Institutul Geologic al României, Str. Caransebeș nr.1, RO 012271 București, România, sc.radan@yahoo.com

„Dacă problema directă care se pune în interpretarea fizică matematică este de a determina efectul geofizic al unei cauze geologice complet caracterizată fizic (ca proprietăți fizice ale rocilor) și spațial (ca formă și dimensiuni), urmărind rezolvarea problemei interpretării cantitative plecând de la cauză la efect, în interpretarea geologică se pune problema inversă, de a căuta explicația în termeni geologici a unui efect geofizic măsurat, adică urmând calea de la efect la cauză, pe baza unor modele de variație a elementelor geofizice măsurate, condiționate de forme structurale tipice, locale sau regionale."

(I. Gavăt, R. Botezatu, M. Visarion, 1973)

Abstract. The present paper is dealing with an attempt of transferring to *Petromagnetology* and *Palaeomagnetology* the well-known geophysical concept (*e.g.*, related to magnetic and gravity methods) – "*the direct/forward problem and the inverse problem*". Firstly, it is pointed out the importance and equally the complexity of the ***magnetisation*** as a basis of associated magnetic information, indispensable to carry out geophysical models for quantitative analysis of mapped magnetic anomalies. The main part of the discussion is represented by various examples of *direct* and *indirect* applications of the rock magnetic and palaeomagnetic techniques. Some aspects concerning the terminology, namely "*petromagnetology*" and "*palaeomagnetology*", and "*rock magnetism*" and "*palaeomagnetism*" respectively, are also commented. Finally, the author confesses that it has not been the purpose of this paper a complete systematisation, not likely to be carried out in the frame of a limited article with a preset short length, but a commentary – constrained by adopting and/or adaptation of a borrowed concept – of a μ-specimen of diversity, multitude and complexity facing to the problem of the *(palaeo)magnetic properties of rocks in geophysical, geological and geoecological contexts.*

Cuvinte-cheie: problema directă, problema indirectă/inversă, magnetometrie, petromagnetologie, paleomagnetologie, magnetism ambiental, Geofizică, Geologie, Geoecologie.

Key-words: direct/forward problem, indirect/inverse problem, magnetometry, petromagnetology, palaeomagnetology, environmental magnetism, Geophysics, Geology, Geoecology.

1. INTRODUCERE

În lucrare, este dezvoltată o discuție despre o tentativă de transfer (formal) al sintagmei geofizice «***problemă directă – problemă inversă***» în *Petromagnetologie* și *Paleomagnetologie*.

De fapt, această abordare oferă o perspectivă inedită din care capabilitățile **magnetismului rocilor**, sistematizate în cadrul celor două domenii tocmai specificate, sunt relevate, dar și exemplificate, în interiorul a două discipline majore, consacrate, aparținând geoștiințelor – *Geofizică* și *Geologie*. În acest sens, articolul este susținut de o extinsă bibliografie. Nu sunt neglijate nici exemplele din *Geoecologie*, fiind prezente referiri la *magnetismul ambiental*, disciplină descrisă explicit în anul 1980, cu o dezvoltare semnificativă în ultimii ani. Acesta întregește, prin obiectul său de studiu, prin aplicațiile

sale, definirea versatilității mesajelor sosite din diferite medii (terestre, marine, lacustre), recepționate prin intermediul variatelor semnale rock-magnetice (naturale), și sprijinite, pentru descifrare, și de câțiva parametri construiți/produși în laborator. Totodată, *magnetismul ambiental* aduce multe contribuții la asimilarea, chiar și formală – în sfera ***științei magnetismului rocilor*** – a conceptului geofizic discutat în acest articol, în particular cu privire la cel de-al doilea termen al său (*problema inversă*).

În dorința evidențierii disponibilităților interpretative ale proprietăților (paleo)magnetice, este necesară prezentarea întâi a unor elemente de bază – ce apar în evoluția perfecționării cunoașterii și/sau în aplicarea lor – în legătură cu detectarea, identificarea și descifrarea mesajelor rock-magnetice și paleomagnetice.

Privită din perspectiva geofizicianului, problema în atenție are două sensuri, a căror definire se înfăptuiește în continuare.

2. DISCUȚIE

Într-o primă parte, sunt prezentate câteva considerații generale referitoare la rolul important și complex pe care îl au proprietățile magnetice ale rocilor în contextul abordării „problemei directe" și a „problemei inverse" în *Magnetometrie*, pentru ca, în cea de-a doua, discuția să privească transferul formal al acestui concept geofizic în *Petromagnetologie* și *Paleomagnetologie*, cu exemplificări din disciplinele anterior menționate.

2.1. Magnetizarea rocilor și problema directă – problema inversă în magnetometrie

Înainte de a discuta adaptarea și adoptarea sintagmei precizate, de la metodele geofizice – care folosesc *problema directă* și *problema inversă* a potențialului ca mijloace de analiză a rezultatelor aplicării lor – la/în cele două domenii menționate, apare interesant de adus în atenție accentul care trebuie pus, într-un context mult mai larg, pe sensul invers, deci pe cel de-al doilea termen al conceptului a cărei esență este cuprinsă în citatul ales drept *motto* al prezentului articol.

Nu întâmplător, și în alte lucrări, apărute ulterior celei care a inspirat *motto*-ul și care tratează problemele *interpretării geologice a prospecțiunilor geofizice* (Gavăt *et al*., 1973), este relevată situația particulară în care se află ***geofizica*** și cel dintâi implicat în *descifrarea mesajelor fizice ale Pământului* – ***geofizicianul***.

Astfel, una din *„cele mai delicate și complicate"* operații ce *intervine cu pondere însemnată în etapele centrale și finale* ale decodificării acestor semnale este *„problema inversă a geofizicii, în ansamblu"* (Constantinescu, 1974), autorul remarcând:

"... Această descifrare se face, de regulă în condiții grele, căci mesajele reprezintă manifestări parțiale (efect) ale unui sistem (cauză) asupra căruia urmează să se obțină informații cât mai complete, prin parcurgerea în sens invers a drumului de producere a lor: de la efect la cauză.

În acest sens se vorbește despre problema ce se cere rezolvată ca despre o problemă inversă".

Dorind, desigur, să evidențieze aceeași parte inedită, dar și dificilă, cu care se confruntă geofizicianul, profesorul R. Botezatu își asuma *riscul de a repeta* – pe parcursul abordării subiectului cărții sale dedicate *modelelor geofizice ale alcătuirii geologice a României*, publicată în 1982 – că, *„în prospecțiunea geofizică suntem confruntați nu cu probleme directe ca în alte științe experimentale – cum ar fi de pildă fizica –, ci cu probleme indirecte sau inverse. Practic este vorba de a determina localizarea în subsol, forma și dimensiunile, natura și tipul geologic-mineralogic, și, în general, de a stabili o imagine cât mai completă asupra obiectului sau obiectelor geologice de prospectat, inaccesibile observației directe, din niște informații geofizice ca rezultat al unor măsurători de câmpuri fizice efectuate și raportabile la suprafața Pământului."*

Necesitatea de a se opera cu *modele geofizice* („*analitice*" și „*de simulare*"; Botezatu, 1982), flexibile, și care să țină seama, în afara informațiilor geofizice și geologice, și de cele petrofizice, pe de o parte, sau *nevoia de completare* a *datelor de observație, care constituie mesajele fizice terestre,* cu *informații obținute în alt cadru decât cel de detectare a lor* (Constantinescu, 1974), pe de altă parte, exprimă, de fapt, soluții asemănătoare de *limitare a ambiguității – fără certitudinea eliminării ei complete –*, în tentativa găsirii soluției *problemei inverse* cu care se confruntă geofizica.

În particular, când comentariul este adus în domeniul *magnetometriei*, este cunoscut faptul că o caracterizare a surselor perturbante, prin găsirea unor soluții în cadrul *problemei inverse a potențialului*, poate determina trecerea la analiza cantitativă a unei anomalii printr-un transfer în cadrul *problemei directe*, apelând și la unele elemente complementare. Observația nu face decât să întărească importanța *modelelor geofizice* invocate mai sus, dar și a ***magnetizării*** ca bază de informații magnetice conexe.

În *magnetometrie*, tehnică bazată pe măsurarea unui câmp natural care derivă dintr-un potențial, în problema restrângerii ambiguității în interpretare apar complicații suplimentare datorate caracterului vectorial al ***magnetizării*** – parametrul fizic fundamental implicat în metoda respectivă.

În contextul limitării *severelor concesii făcute problemei sub raportul rigorii teoretice în comparație cu realitatea pe care o constituie mediul geologic* (Botezatu, 1987), considerarea cazului real, în ceea ce privește ***magnetizarea in situ***, adică **Mt** = **Mi** + **Mr**, nu trebuie evitată (**Mt** – magnetizare totală; **Mi** – magnetizare indusă/inductivă; **Mr** – magnetizare remanentă).

Intervenția ***direcției*** *magnetizării remanente*, pe lângă cea a **intensității** ei, complică problema interpretării anomaliilor, alături de influența formei corpului perturbant.

Nici contribuția ***magnetizării induse*** nu trebuie subapreciată sub aspectul participării ei *direcționale*, ***anizotropia susceptibilității magnetice***/**AMS** putând influența configurația anomaliei magnetice atunci când corpul perturbant este **magnetic anizotrop**.

Janák (1972) se referă la faptul că, datorită **AMS**, direcția magnetizării induse într-un corp geologic se abate de la direcția câmpului geomagnetic inductor, o consecință posibilă fiind și devierea direcției magnetizării remanente (Janák, 1967, 1973). El relevă că anomalia magnetică identificată deasupra unui corp geologic **anizotrop** diferă substanțial de aceea detectată în cazul unuia asemănător, dar cu susceptibilitate magnetică **izotropă**. Din punct de vedere al interpretării anomaliilor magnetice, ***anizotropia magnetică*** nu ar trebui neglijată în cazul rocilor metamorfice și plutonice (Janák, 1973). Și în literatura noastră pot fi menționate unele semnalări în acest sens. Ceea ce însă nu s-a abordat încă în detaliu este efectul **AMS** asupra formei anomaliei magnetice.

Hrouda (1982), atrăgând și el atenția asupra cazurilor rocilor plutonice și metamorfice sau ale unor corpuri de minereu, pentru care ar trebui avută în atenție problema **anizotropiei magnetice**, îndeamnă geofizicienii la dezvoltarea unor metode de interpretare care să implice **AMS**. Ca o provocare, autorul citat simulează câteva situații și evidențiază cazul extrem, în care **gradul de anizotropie** considerat este **P** = 4 – posibil a fi generat de corpuri de *pirotină* și *hematit* – și când deviația zonei maximale a anomaliei magnetice Δ**T** devine importantă, cu efecte de avut în vedere la o eventuală verificare prin foraje a sursei acesteia.

Pentru a nu extinde și diversifica, aici, subiectul – de interes, dar impunând ocuparea unui loc separat, într-un alt context –, mai remarcăm și *dimensiunea verticală,* importantă, dar limitată, în care magnetizarea intervine în mediul geologic de unde trimite mesaje fizice, printre care și cele sub forma unor anomalii magnetice recepționate la sol sau aero, inclusiv din satelit.

Astfel, de la *magnetizarea superficială* asociată unor surse magnetice apropiate de suprafața Pământului [cazul anomaliilor (aero)magnetice de înaltă frecvență sau de lungime de undă scurtă], se ajunge la adâncimi apropiate de limita crustă/manta, la *magnetizarea crustală*, ce produce anomalii magnetice de lungime de undă mare, posibil a fi exprimate de datele aeromagnetice sau de cele satelitare. Așadar, grosimea *masei magnetice*, ce constituie obiectul operațiilor de soluționare a *problemei directe* sau a celei *inverse*, la care au fost făcute aici unele referiri, se poate extinde până la limita crustă/manta. Nivelul inferior este controlat de **izoterma Curie**. În apropierea ***punctului Curie***, într-un câmp magnetic slab, cum este și cel geomagnetic, susceptibilitatea magnetică a rocilor poate avea, însă, o comportare particulară, cunoscută ca „*efect Hopkinson*" (Nagata, 1961, Dunlop, 1974, Collinson, 1983, Rădan, 1978b, 1998). De „*efectul Hopkinson*" trebuie să se țină seama, de exemplu, la interpretarea unor anomalii magnetice de lungime de undă mare, care apar a fi datorate unor susceptibilități mai mari decât cele oferite de rocile de la suprafață, temperatura de la adâncimea la care sursele sunt situate putând induce fenomenul relevat aici.

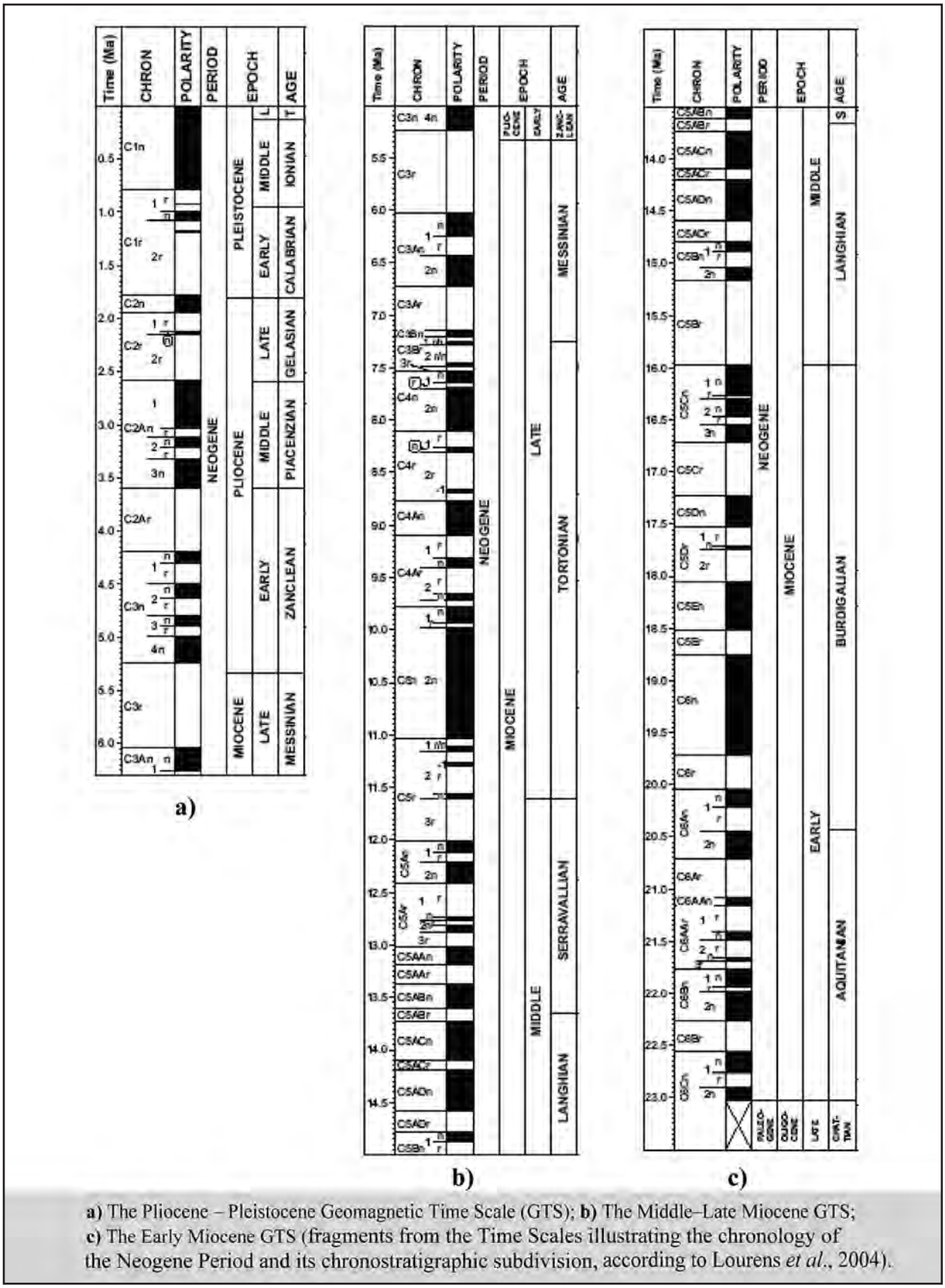
Intervenția proprietăților magnetice ale rocilor, printre factorii care controlează anomaliile magnetice, este complexă, un exemplu interesant – pentru a ne păstra în coordonatele și terminologia în care s-a situat acest comentariu – fiind oferit de abordarea *problemei directe* și a celei *inverse* în tentativa de interpretare a anomaliilor magnetice existente în regiunea Islandei. Aceasta se remarcă prin disponibilitatea oferită pentru observarea și probarea la suprafață a unei porțiuni importante și sigure din crusta oceanică, respectiv din sistemul dorsalelor medio-oceanice (Piper, 1973). Diversitatea și în același timp unicitatea proprietăților magnetice sunt argumentate prin intervenția în analiza *contrastului de magnetizare* – pe lângă intensitatea **NRM** totală (**M**), susceptibilitatea (**k**), respectiv raportul Koenigsberger (**Q**) – a unor detalii asupra componentelor **NRM** [magnetizări termoremanente (**TRM**), remanente chimice (**CRM**) sau vâscoase (**VRM**)] (Rădan, 1998); cauzele anomaliilor sunt puse pe seama unor corpuri magnetizate **normal** sau **invers**, fără a se neglija limitarea lor spațială la adâncimile *izotermei de punct Curie*, controlată de caracteristicile regimului geotermic din regiune. In interpretare, apar hărți de *polaritate magnetică* sau hărți rezultate din corelarea *stratigrafiei magnetice* la *scara de timp geomagnetică* (vezi Fig.1), peste care sunt suprapuse profile aeromagnetice. În consecință, sunt făcute referiri la anomalii magnetice datorate *vulcanismului Matuyama, Gauss* și *Gilbert* sau unor *lave Brunhes* sau *Jaramillo* și, în cadrul unui model considerat mai realist de Piper (1973), intervin în terminologia analizei, direct, *anomalii Matuyama* și *Gauss observate* și *calculate*.

Interferarea acestor *epoci* sau *crone* (*Brunhes*, *Matuyama*, *Gauss*, *Gilbert*; vezi Fig.1), respectiv *evenimente* sau *subcrone* (*Jaramillo*), cu profilele aeromagnetice, în contextul simulării unor modele geofizice-geologice, indică legătura cu cel de-al doilea termen din relația vectorială a *magnetizării in situ*, la care am făcut referiri, respectiv cu ***magnetismul remanent*** (**Mr**), ce induce complexitate în abordarea *problemei directe* și a *problemei inverse* în magnetometrie.

Totodată, aceste ultime considerații facilitează trecerea la cea de a doua parte a comentariului, care privește direct subiectul propus spre abordare în prezentul articol.

2.2. Despre „problema directă – problema inversă/ indirectă" în petromagnetologie și paleomagnetologie; terminologie și concept, adaptare și adoptare

Epocile (*cronele*) și *evenimentele* (*subcronele*) menționate anterior marchează perioade de timp mai lungi, respectiv mai scurte, în care polaritatea câmpului magnetic terestru a înregistrat una dintre cele două *stări*: *normală* sau *inversă*.



a) The Pliocene – Pleistocene Geomagnetic Time Scale (GTS); **b)** The Middle–Late Miocene GTS; **c)** The Early Miocene GTS (fragments from the Time Scales illustrating the chronology of the Neogene Period and its chronostratigraphic subdivision, according to Lourens *et al.*, 2004).

Fig. 1 Un exemplu privind *„Problema directă"* în *Paleomagnetologie*: Scările de timp geomagnetice (**GTS**) pentru Neogen

De fapt, studiul detaliat al istoriei geologice a câmpului geomagnetic reprezintă aspectul fundamental al *„problemei directe"* în ***paleomagnetologie***, așa cum investigarea proprietăților magnetice ale diferitelor tipuri de roci alcătuind crusta terestră este pentru ***petromagnetologie***. Aceasta din urmă poate avea un rol semnificativ în constituirea bazelor fizice ale **paleomagnetismului**, atât timp cât ***petromagnetologia*** se ocupă cu studiul **petromagnetismului** sau al **rock-magnetismului**, cu fenomenele **magnetismului rocilor** deci, și unește, într-o direcție științifică de sine stătătoare, cercetări din domeniile geofizicii, geologiei și fizicii (vezi Pecerski, 1985; Pecerski & Didenko, 1995).

Pentru a rămâne încă în zona unor definiții de bază și a terminologiei – importante, când se abordează subiecte noi –, se poate adopta și pentru ***paleomagnetologie*** – ca *disciplină științifică de sine stătătoare* (Șolpo, 1977; Hramov, 1982, 1987; Pecerski, 1985; Pecerski & Didenko, 1995), apărută la confluența unor ramuri ale *fizicii*, *geofizicii* și *geologiei* – aserțiunea că ea se ocupă cu studiul fenomenelor **paleomagnetismului**, adică al *magnetismului fosil*, al câmpului geomagnetic în timp geologic, cu posibilități de aplicare la scara de timp cosmică (Tarling, 1983). Există numeroase contribuții ce privesc proprietățile magnetice ale rocilor lunare sau ale meteoriților, încât se poate admite că, atât ***petromagnetologia***, cât și ***paleomagnetologia*** au – ca obiect al *problemei directe* – și studiul *magnetismului extraterestru*.

Referitor la terminologie, variantele ***petromagnetologie*** și ***paleomagnetologie*** au fost întâlnite în cărți/monografii din literatura rusă (Șolpo, 1977; Hramov, 1982, 1987; Pecerski & Didenko, 1995), ele fiind introduse și în *Îndreptarul de* ***Petromagnetism și Paleomagnetism*** (*pentru specialiști din domenii conexe ale științei*), elaborat de Pecerski (1985). De remarcat (vezi și Rădan, 1988) că termenul ***paleomagnetologie*** (în lb. rusă, *„paleomagnetologhiia"*) a fost transferat și în literatura de specialitate de limba engleză, prin *„paleomagnetology"*, observație sugerată de cele două ediții ale cărții lui Hramov, publicate în 1982, la *Ed*. *Nedra* (Leningrad/Sankt Petersburg, Rusia), respectiv în 1987, la *Ed. Springer-Verlag* (Berlin-Heidelberg, Germania). Dacă se adaugă și faptul că editorul tehnic al versiunii (cu completări) în limba engleză este profesorul D.H. Tarling (Facultatea de Științe Geologice din Plymouth, Anglia), reputat specialist britanic în paleomagnetism, s-ar putea considera ca fiind atestat conținutul terminologic al acestei observații.

Totuși, termenul *„**paleomagnetologie**"*, cu o structură ce susține definirea unei ramuri științifice de sine stătătoare, nu pare a fi preluat și în alte lucrări de specialitate de limbă engleză, ori în cele de limbă franceză.

Dispunând de fundamentare fizică și metodologii proprii de cercetare, având obiecte de studiu și domenii de aplicare distincte, menținerea și a termenilor *„**petromagnetologie**"* și *„**paleomagnetologie**"* nu apare hazardată (vezi, de exemplu, *petrologie* ș.a.), constituind o extindere conceptuală a celor frecvent întâlniți, ce se referă direct la fenomenele investigate (*petromagnetism*, respectiv *paleomagnetism*). Această opinie este stimulată și prin opțiunea introducerii în titlul prezentului articol a celor doi termeni, deși în continuare nu vor fi insistent utilizați (independent), cu atât mai mult, cu cât în redarea unor aspecte teoretice, referirile la literatură vor conserva termenii adoptați de autorii citați.

După stabilirea, chiar și sumară, a unor nuanțe de terminologie privind cele două domenii/discipline științifice în atenție – ce au ca obiect de studiu general *proprietățile magnetice ale rocilor*, în *context geomagnetic actual*, respectiv în cadru *paleogeomagnetic* (Rădan, 1998) –, în interiorul cărora se dorește transferul (formal) al conceptului, cu calitate de sintagmă – *problema directă și problema inversă* –, se poate menționa că, obișnuit, acesta nu este explicit adoptat în tratatele de **rock-magnetism** și **paleomagnetism**, cum se întâmplă în cele de magnetologie/magnetometrie sau de gravimetrie, respectiv de prospecțiuni geofizice/metodele câmpurilor naturale (de exemplu, Constantinescu, 1959, 1961; Constantinescu *et al*., 1964).

Considerăm că abordarea de până acum, în particular din prima parte, ce a luat în atenție unele aspecte proprii conceptului propriu-zis aplicat în magnetometrie, urmărindu-se cu mai multă insistență intervenția determinantă, și în același timp complexă, a *magnetizării*, în rezolvarea – cu o ambiguitate cât mai limitată – a problemelor respective, a reușit să aducă argumente pentru susținerea și explicarea observației de mai sus.

În cărțile din literatura rusă (Șolpo, 1977; Hramov, 1982; Pecerski & Didenko, 1995), inclusiv în *îndreptarul terminologic* anterior citat (Pecerski, 1985), sintagma la care ne referim este prezentă explicit în ceea ce privește ***paleomagnetologia*** (*„preamaia zadacea"*, respectiv *„obratnaia zadacea paleomagnetologhii"*), cu o nuanță de tranziție spre o variantă implicită, introdusă în ediția în limba engleză (*„paleomagnetology, like any other field in the geosciences, has both direct and indirect applications"*; Hramov, 1987).

Problema directă și *problema inversă* – prin subiectele specificate și dezvoltate – apar în mod implicit în toate tratatele dedicate acestor domenii ale geoștiințelor, o parte fiind deja citate. În unele (de exemplu, Tarling, 1971, 1983), *aplicațiile geomagnetice* și cele *geologice*, abordate în această sistematizare, pot reprezenta *aplicații directe*, respectiv *indirecte* ale ***paleomagnetologiei***/***paleomagnetismului*** și ***petromagnetologiei***/***rock-magnetismului***, sugerând, și conținând de fapt elemente de sprijin pentru *problema directă* și respectiv *problema inversă*, transferate formal în domeniile precizate.

În acest context, studiul *comportării paleocâmpului geomagnetic* în Phanerozoic – ce prelungește în timp (geologic) cunoașterea variațiilor actuale și istorice ale câmpului bazată pe observatoare geomagnetice, sateliți sau arheomagnetism –, analiza *structurii fine a paleocâmpului*, a *variațiilor paleoseculare* ale lui, cu detalieri asupra *variațiilor câmpului magnetic terestru* în cursul ultimului ciclu climatic/120000 ani (de exemplu, Thouveny, 1991), studiul *inversiunilor geomagnetice*, al

comportării paleocâmpului în timpul *tranzițiilor de polaritate* sau al *excursiilor geomagnetice*, determinarea *polilor geomagnetici virtuali* (*VGP*) și a *polilor paleomagnetici* (există numeroase cataloage cu pozițiile acestora) pot constitui elemente ale abordării *„problemei directe"* în ***paleomagnetologie***/***paleomagnetism***. Un exemplu privind determinarea polilor geomagnetici virtuali (*VGP*) și utilizarea caracteristicilor lor la construirea unei scări a polarităților geomagnetice pentru formațiuni pliocene din Bazinul Dacic este redat în Fig. 2, în care este ilustrată, de către autorii olandezi (Van Vugt, 2000, Van Vugt *et al*., 2001), și corelarea la modelul cu zonele de polaritate magnetică elaborat de Rădan și Rădan (1998) pentru întreaga secțiune probată în cariera Lupoaia (vestul Bazinului Dacic).

Și dacă elaborarea *Scării de timp a polarităților geomagnetice* (***GPTS***) reprezintă un produs rezultat din abordarea *„problemei directe"*, constituind un ***model paleogeomagnetic***, utilizarea sa – cu sprijinul informațiilor extrapaleomagnetice – ca *instrument de datare și corelare a formațiunilor geologice*, cu prelungiri în *reconstrucțiile paleoclimatice* și *paleoambientale* – în cadru *magneto*(*bio*)*stratigrafic*, *tephrastratigrafic*, *chemostratigrafic*, *ciclostratigrafic*, *astrocronologic* – poate fi atribuită *„problemei inverse"* a ***paleomagnetologiei***. Pentru ilustrarea evoluției **GPTS**, pe parcursul a peste 3 decenii, de la Cox *et al.* (1963) la Cande, Kent (1995), cititorul poate găsi detalii în Rădan, 1998. Aici, este redat în Fig. 1 un fragment din ultima versiune a **GPTS**, respectiv a *Scării de Timp a Neogenului acordată astronomic* (**ATNTS2004**; Lourens *et al*., 2004). Pentru exemplificarea utilizării **GPTS** la datarea și corelarea formațiunilor geologice, este dat în Fig. 3 cazul Bazinului Dacic analizat de un colectiv condus de un cercetător olandez (Snel *et al*., 2006), în schema interpretativă respectivă fiind luate în considerație și date din lucrarea Rădan & Rădan (1998).

Alături de aceasta – ea este în detaliu exemplificată pe parcursul unei extinse lucrări (Rădan, 1998) –, pot fi menționate încă multe asemenea *aplicații geologice*, cu valoare deci de rezolvări ale *„problemei inverse"*, pe baza caracteristicilor paleocâmpului geomagnetic identificate în înregistrările de înaltă fidelitate detectate în roci.

Fără a insista aici asupra utilizării ***paleomagnetismului*** ca bază fizică pentru *ipoteza derivei continentelor*, cunoscut fiind impactul produs cu cca 4 decenii în urmă – *o revoluție în științele Pământului*, cum aprecia Tuzo Wilson –, cu implicații apoi în dezvoltarea *teoriei tectonicii plăcilor* (de exemplu, McElhinny, 1973), mai trebuie amintită, ca argumentație minimă pentru *„problema inversă"* în ***paleomagnetologie***, soluționarea unor *probleme tectogenetice*, la diferite scări, un caz frecvent rezolvat fiind *mișcările* (*paleo*)*tectonice* care implică *rotația*. În *„Încheierea"* la primul volum al *„Istoriei geofizicii românești"* (2004), M. Visarion evidenția faptul că *„una din cele mai sigure metode pentru calcularea deplasărilor plăcilor este cea bazată pe paleomagnetism"*, vorbind mai departe despre *„caracterul viu al planetei Pământ, care sub aparența unui regim static, suferă permanent modificări, atestate de cercetările geocronologice și paleomagnetice"*.

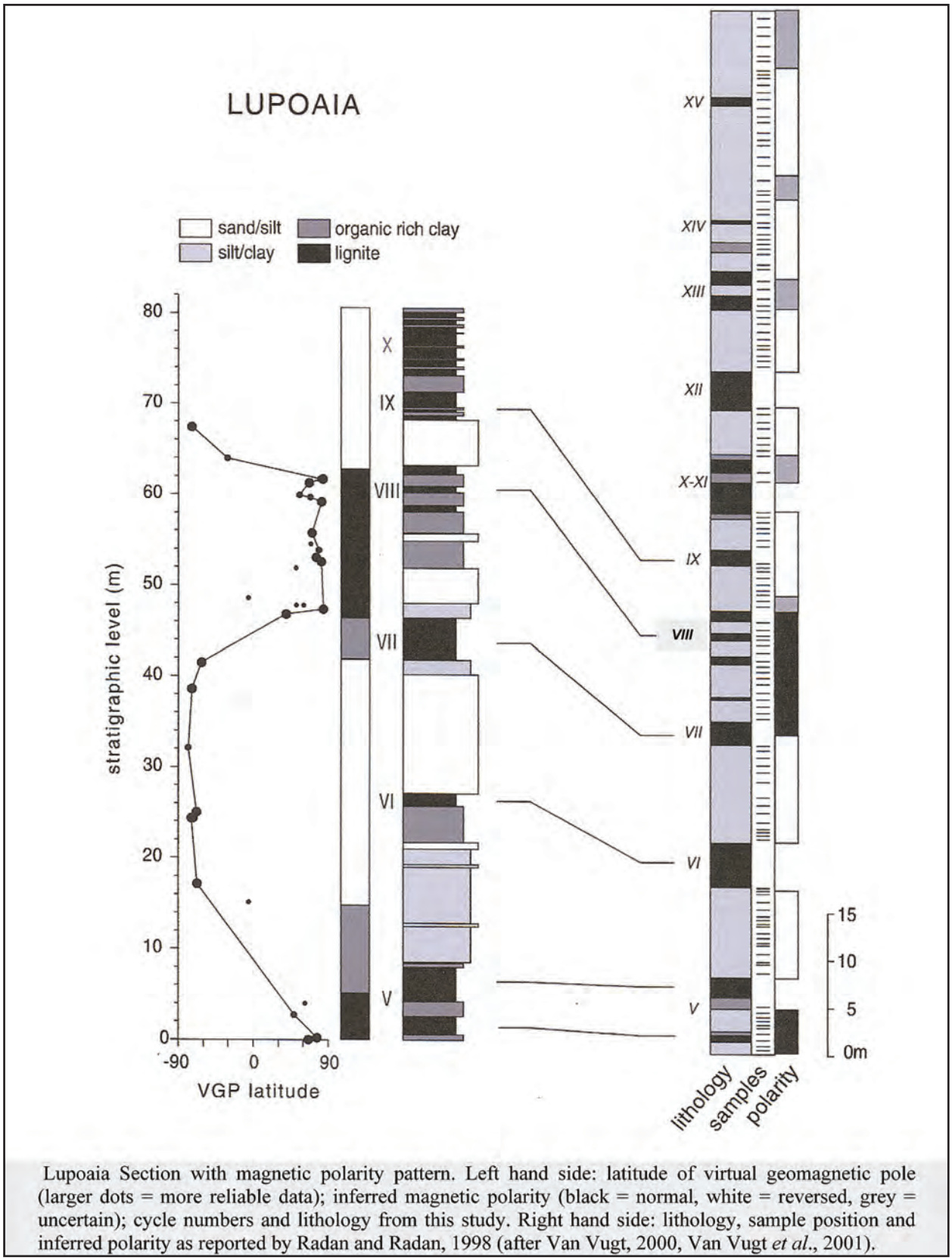
Intervenția unor elemente paleogeomagnetice în *reconstrucțiile continentale paleogeografice* aduce completări pentru susținerea adoptării conceptului în discuție, iar controlul *paleolatitudinilor* asupra unor arii potențial importante pentru zăcămintele minerale, printre care cele de petrol și gaze, poate extinde exemplificarea – încă foarte sumară, în raport cu multitudinea și diversitatea contribuțiilor existente – într-o altă direcție în cadrul *"problemei inverse"* în ***paleomagnetologie***, așadar spre *aplicațiile economice* (Tarling, 1973, 1983; Hramov, 1982, 1987; Irving, 1964; Irving *et al*., 1974).

Utilizarea ***paleomagnetismului*** în areale cu depozite de cărbuni (de exemplu, Rădan, 1998, 2000, 2003; Rădan & Rădan, 1996, 1998, 2007c, 2008; Rădan *et al*., 1996) lărgește și diversifică gama disponibilităților aplicative, cu posibile *semnificații economice* (vezi Planșa 3).

Această din urmă direcție menționată poate fi sprijinită și de folosirea unor parametri paleomagnetici la investigarea *mineralizațiilor hidrotermale* (de exemplu, Hanuš, Krs, 1963). În același cadru, dar în contextul comentării unor aspecte ale *„problemei inverse"* în ***petromagnetologie***, celălalt domeniu în care este dezvoltată cunoașterea proprietăților magnetice ale rocilor, se poate da exemplul în care **caracteristicile petromagnetice** intervin ca indicatori direcți și indirecți în studiul *acumulării mineralelor utile*, în urmărirea unor legături genetice sau paragenetice ale mineralizațiilor feromagnetice cu procesele de formare a diferitelor tipuri de zăcăminte (vezi și Pecerski, 1985).

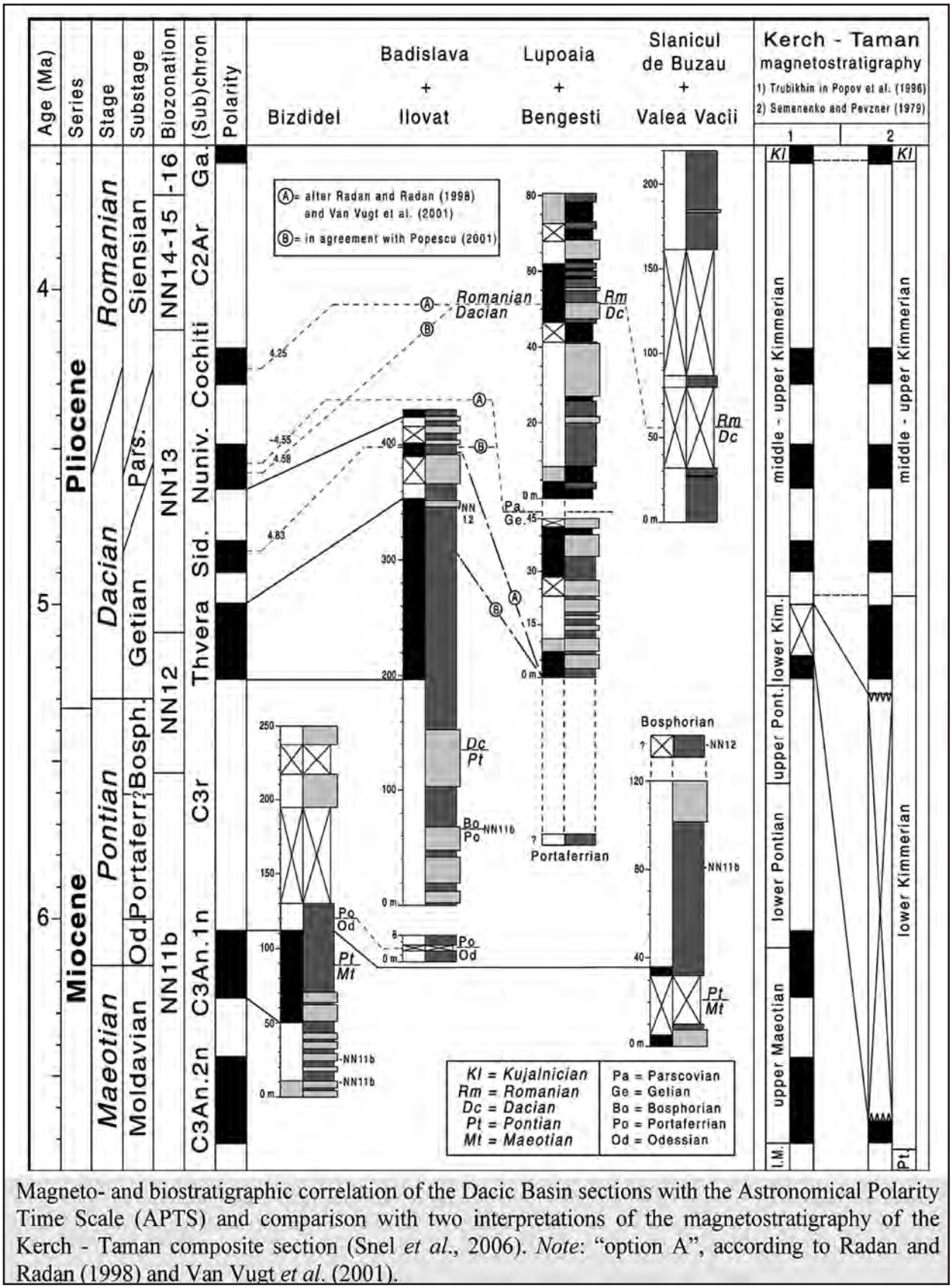
Determinarea caracteristicilor *mineralelor purtătoare* ale *magnetizării remanente*, a *stărilor monodomeniale* și *multidomeniale* și a *tranziției* lor, cunoașterea *mecanismelor fizice* prin care **remanența stabilă** a fost dobândită și a fost reținută în roci pot reprezenta elemente ale *„problemei directe"* în ***petromagnetologie/rock-magnetism***, constituind, în același timp, suport fizic pentru ***paleomagnetologie***, strict necesar, *„although* – cum afirmă O'Reilly (1976) – *the general empirical validity of the palaeomagnetic method cannot be doubted"*.

Pentru cunoașterea însă a proprietăților complexe intrinseci ale mineralelor și a influenței microstructurii asupra proprietăților magnetice, în special a celor ce reflectă stabilitatea remanenței, sunt combinate tehnicile *magnetismului stării solide* și cele ale *petrologiei experimentale*. În acest sens, o direcție importantă, ce poate fi asociată *„problemei directe"* în ***petromagnetologie/rock-magnetism***, este aceea a studierii unor *preparate mineralogice sintetice*, analoge cât mai mult posibil materialelor ce apar natural (realizarea propriu-zisă a preparatelor implicând parcurgerea unei direcții inverse, într-un cadru însă extramagnetic). Studiul complex al **parametrilor rock-magnetici** pentru minerale naturale extrase din roci/minereuri, împreună cu cel executat pe *preparate sintetice* echivalente (de exemplu, Dekkers, 1988), reprezintă baza de informații pentru interpretarea proprietăților magnetice observate ale rocilor și pentru identificarea constituenților lor



Lupoaia Section with magnetic polarity pattern. Left hand side: latitude of virtual geomagnetic pole (larger dots = more reliable data); inferred magnetic polarity (black = normal, white = reversed, grey = uncertain); cycle numbers and lithology from this study. Right hand side: lithology, sample position and inferred polarity as reported by Radan and Radan, 1998 (after Van Vugt, 2000, Van Vugt *et al.*, 2001).

Fig. 2 Un exemplu privind *„Problema directă"* în *Paleomagnetologie*: determinarea polilor geomagnetici virtuali (*VGP*) și utilizarea caracteristicilor lor la construirea scării polarităților geomagnetice pentru o secțiune din vestul Bazinului Dacic (cariera Lupoaia); modelul paleogeomagnetic este apoi folosit, de către autorii citați, la datarea secvențelor de lignit-argilă (în cadru magnetobiostratigrafic) și la corelarea cu secțiuni din Grecia, în context ciclostratigrafic și astrocronologic, cu implicații de ordin paleoclimatic și paleoambiental (*„Problema inversă"* în *Paleomagnetologie*)



Magneto- and biostratigraphic correlation of the Dacic Basin sections with the Astronomical Polarity Time Scale (APTS) and comparison with two interpretations of the magnetostratigraphy of the Kerch - Taman composite section (Snel *et al.*, 2006). *Note*: "option A", according to Radan and Radan (1998) and Van Vugt *et al.* (2001).

Fig. 3 Un exemplu privind *„Problema inversă"* în *Paleomagnetologie*: corelarea magnetobiostratigrafică a unor secțiuni miocene și pliocene din Bazinul Dacic la Scara de timp a polarităților acordată astronomic, cu implicații în datarea formațiunilor geologice și a unor limite cronostratigrafice și cu aplicații la corelarea cu alte secțiuni în cadru inter-regional

magnetici, acestea din urmă având și semnificația unor soluții ce pot fi plasate în ***petromagnetologie*** în cadrul *„problemei inverse"*.

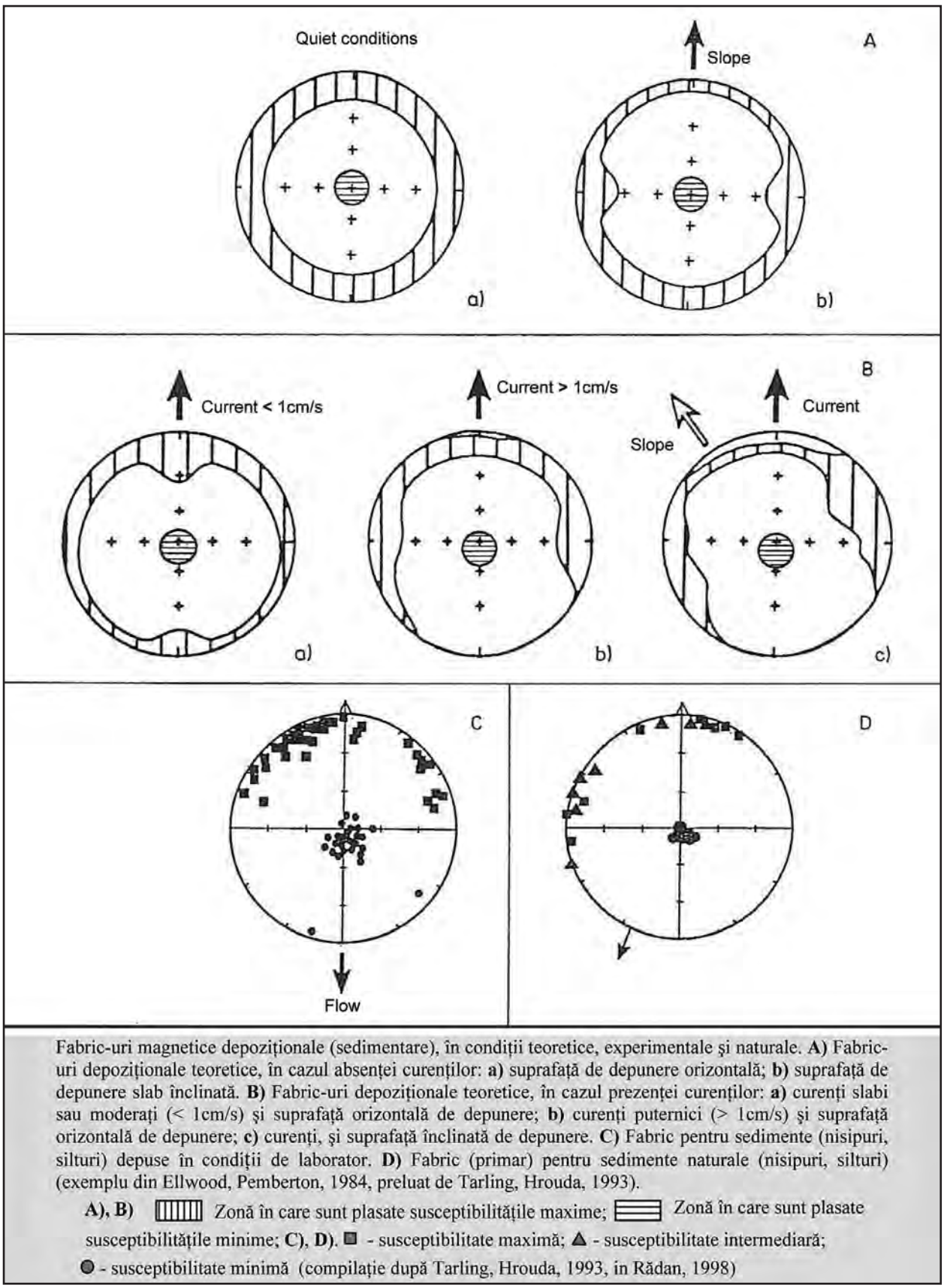
Prin investigarea **anizotropiei susceptibilității magnetice** și determinarea **fabric**-ului **magnetic** pentru sedimente depuse în condiții de laborator, simulându-se diferite regimuri hidrodinamice, au fost stabilite *modele de fabric*-uri *depoziționale* teoretice (Tarling & Hrouda, 1993; vezi și Rădan, 1998), abordare ce poate fi asociată *„problemei directe"* în ***rock-magnetism*** (Fig. 4); ele sunt apoi folosite în rezolvarea *„problemei inverse"*. O situație concretă este ilustrată în cea din urmă lucrare citată, prin interpretarea **fabric**-urilor **magnetice** determinate în *arii cu depozite de cărbuni* din vestul Bazinului Dacic (de asemenea, Rădan *et al*., 2000, 2001; Rădan & Rădan, 2008). În Fig. 5 este prezentat un caz din acest areal (cariera Lupoaia). Direcțiile susceptibilităților magnetice principale determinate pentru argilele probate în secvențele ciclice de lignit-argilă susțin înregistrarea unui *fabric magnetic depozițional neperturbat*, imaginile putând fi asociate modelului teoretic din Fig. 4 (după Tarling & Hrouda, 1993) ce indică *depunerea pe o suprafață orizontală, într-un mediu de sedimentare liniștit*. Interpretarea ce folosește ***fabric****-urile* ***magnetice*** determinate în cariera Lupoaia**,** susținute de *modelul teoretic* (mai multe detalii, în Rădan, 1998), constituie un exemplu de *„***problemă inversă***"* în *Petromagnetologie*.

Exemplele pot continua în numeroase direcții: «*rock-magnetism – magnetism ambiental*»; «*fabric magnetic* și *paleomagnetism*»; «*anizotropie magnetică* și *anomalii magnetice*»; «*biomagnetism – rock-magnetism – paleogeomagnetism*»; «*rock-magnetism – vulcanomagnetism/seismomagnetism – geomagnetism*».

În ceea ce privește prima direcție din enumerarea de mai sus, în care este implicat un nou domeniu, este poate interesant a adăuga câteva elemente. Momentul de început ca *disciplină* – *„**Magnetism ambiental**"* – este asociat anului apariției lucrării lui Thompson *et al*. (1980, in Verosub & Roberts, 1995). Ceea ce merită însă relevat, raportat la subiectul articolului, este că noul domeniu, ce apare astăzi alături de celelalte două, majore – *Rock-Magnetism*/*Petromagnetologie* și *Paleomagnetism*/*Paleomagnetologie* –, ascunde, în termenul deja consacrat – ***Environmental Magnetism*** (***Magnetism ambiental***) – particularitatea apariției sale. Ea este de altfel sintetizată chiar de titlul articolului de referință citat, lucrarea fiind asimilată în literatura internațională ca reprezentând *o primă descriere explicită a magnetismului ambiental ca un domeniu distinct* (Verosub & Roberts, 1995) sau *o primă definire precisă a magnetismului ambiental ca disciplină* (Dekkers, 1997). Așadar, Thompson *et al*. (1980), comentând *aplicațiile ambientale ale măsurătorilor magnetice*, realizează de fapt o abordare a *„**problemei inverse**"* a ***petromagnetologiei***.

Proprietățile magnetice ale rocilor/sedimentelor, prin parametrii magnetici naturali fundamentali și prin alții produși/construiți în laborator, pot fi indicatori ai unor variații ale mărimii granulelor, devenind *parametri cu capabilitate de reflectare* (*„proxy parameters"*) a unor *contexte geoecologice-ambientale*. Printre aplicațiile mai importante, amintim: identificarea provenienței geomaterialului/sedimentului depozitat în medii lacustre și marine și detectarea schimbărilor ecologice; magnetoclimatologia/reconstrucțiile paleoambientale și paleoclimatice; studiile de pedogeneză; biomagnetismul; evaluarea impactului activităților umane asupra mediului/monitorizarea poluării aerului, solului și apei (Oldfield, 1991; Verosub & Roberts, 1995; Dekkers, 1997; Petrovsky & Ellwood, 1999; Evans & Heller, 2003; Rădan *et al*., 1984, 1999, 2004, 2008a,b; Rădan & Rădan, 2004a,b, 2006, 2007a,b,d, vezi și Rădan, 1998, pentru sinteza unor rezultate din România și o listă a articolelor publicate cu subiecte de magnetism ambiental, la nivelul anului apariției lucrării citate). O exemplificare este ilustrată în modelul sinoptic din Planșa 1, cu privire la impactul antropic asupra ecosistemelor din zona vestică a *Depresiunii Meșteru – Fortuna* (situată în aripa nordică a *Deltei Dunării*); influența activităților umane (săparea *Canalului „Mila 36"*, în anii 1982-1983) asupra ambianțelor sedimentare este clar reflectată de *parametrul magneto-ambiental* **susceptibilitate magnetică**. Acesta este un exemplu de abordare a *„problemei inverse"* a *petromagnetologiei*, dar plasat în interiorul noii discipline – **magnetism ambiental** (engl. *Environmental magnetism*).

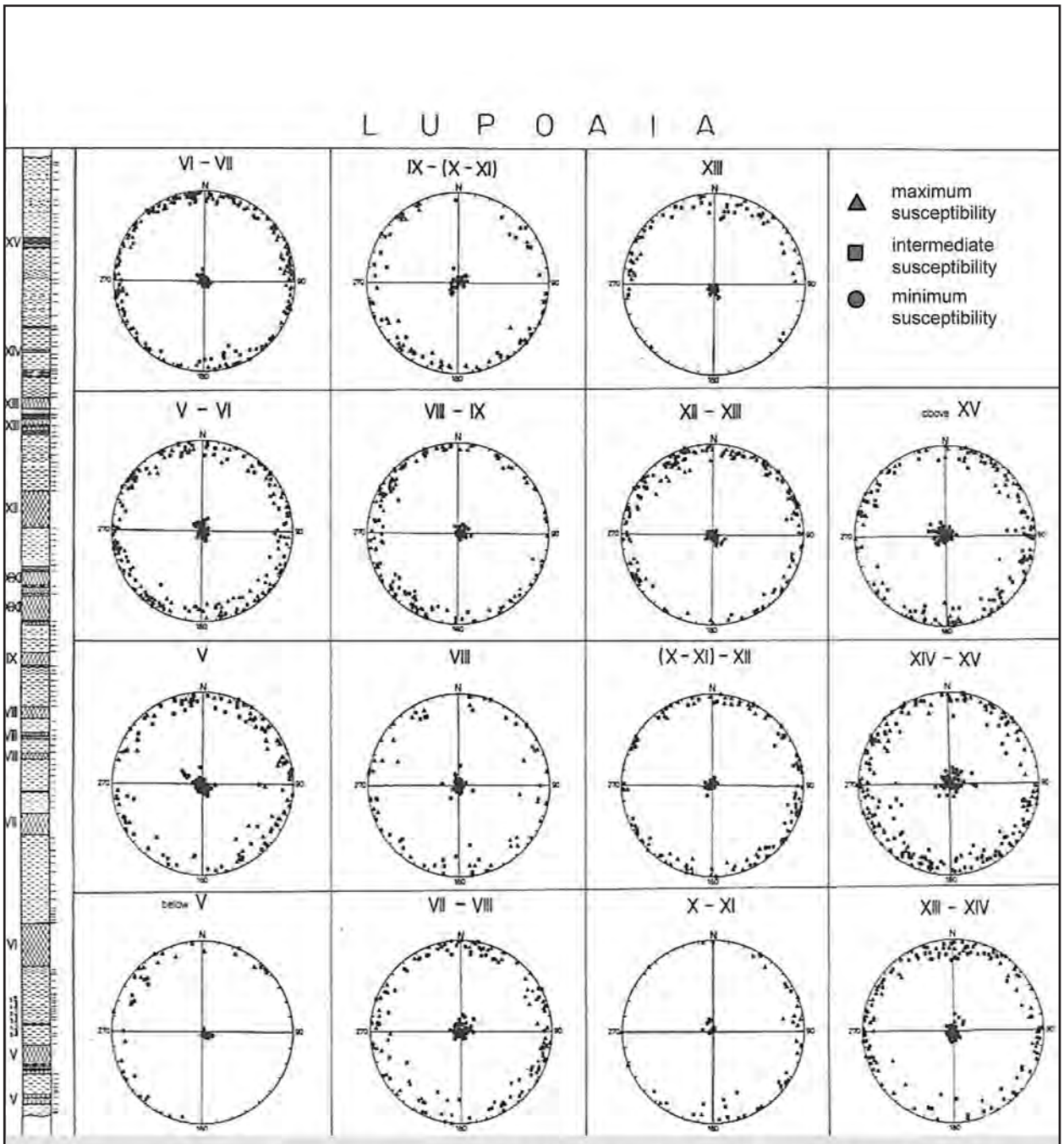
Încă o remarcă merită a fi prezentată, preluând direct o aserțiune aparținând lui Verosub & Roberts (1995). Referindu-se la numeroase contribuții apărute înainte de 1980, aceștia afirmă că: *„many types of studies that are now classified as environmental magnetism have been in existence for some time"*. Este și cazul unei substanțiale bănci de date magneto-susceptibilimetrice acumulate de noi pentru sistemul Dunăre – Delta Dunării, începând din anul 1977 (pentru exemple concrete de *reclasificare interpretativă*, susținând convingător observația autorilor citați mai sus, vezi Rădan *et al*., 1995, 1999, Rădan & Rădan, 2006, 2007d; de asemenea, Rădan & Rădan, 2004a, Rădan *et al*., 2008a). Dintre acestea, două lucrări („review papers"; Rădan & Rădan, 2006, 2007d), cu un pregnant caracter sinoptic, oferă exemplificări inedite ale *reclasificării interpretative* a datelor magneto-susceptibilimetrice existente pentru sedimente recente din *Delta Dunării* (*DD*) și *Complexul lagunar Razelm – Sinoie* (*CLRS*), probate pe parcursul a peste 3 decenii. În prima (Rădan & Rădan, 2006), exemplele susțin cei doi termeni ai conceptului «problema directă – problema inversă», plecând de la ***aplicațiile sedimentologice***, în perioada de început, așadar înainte de 1980 – anul când se acceptă *„the first explicit description of environmental magnetism as a distinct field"* (Verosub & Roberts, 1995), și ajungând la ***aplicațiile ambientale-geoecologice***, dezvoltate îndeosebi în ultimii 15 ani. În cea de-a doua (Rădan & Rădan, 2007c), redată grafic de fapt în Planșa 2, după o serie de elemente metodologice și metrologice, sunt ilustrate – prin intermediul ***arhivei magneto-ambientale*** furnizate de sedimentele recente din *DD* si *CLRS* (eșantionate între 1976-2007) – o multitudine de exemple privind aspectele particulare ce intervin în abordarea subiectului articolului de față atunci când transferul,



Fabric-uri magnetice depoziționale (sedimentare), în condiții teoretice, experimentale şi naturale. **A)** Fabric-uri depoziționale teoretice, în cazul absenței curenților: **a)** suprafață de depunere orizontală; **b)** suprafață de depunere slab înclinată. **B)** Fabric-uri depoziționale teoretice, în cazul prezenței curenților: **a)** curenți slabi sau moderați (< 1cm/s) şi suprafață orizontală de depunere; **b)** curenți puternici (> 1cm/s) şi suprafață orizontală de depunere; **c)** curenți, şi suprafață înclinată de depunere. **C)** Fabric pentru sedimente (nisipuri, silturi) depuse în condiții de laborator. **D)** Fabric (primar) pentru sedimente naturale (nisipuri, silturi) (exemplu din Ellwood, Pemberton, 1984, preluat de Tarling, Hrouda, 1993).

A), B) Zonă în care sunt plasate susceptibilitățile maxime; Zonă în care sunt plasate susceptibilitățile minime; **C), D).** ■ - susceptibilitate maximă; ▲ - susceptibilitate intermediară; ● - susceptibilitate minimă (compilație după Tarling, Hrouda, 1993, in Rădan, 1998)

Fig. 4 Un exemplu privind *„Problema directă"* în *Petromagnetologie*: determinarea fabric-urilor magnetice depoziționale ale unor roci sedimentare/sedimente, în condiții teoretice, experimentale și naturale



Fabric magnetic pentru formațiuni purtătoare de cărbuni (stratele V ÷ XV) din cariera Lupoaia (vestul Bazinului Dacic). Direcțiile susceptibilităților magnetice principale determinate pentru argilele probate în secvențele ciclice de lignit-argilă susțin înregistrarea unui *fabric magnetic depozițional neperturbat*, imaginile putând fi asociate modelului teoretic din Fig. 4 (după Tarling, Hrouda, 1993) ce indică *depunerea pe o suprafață orizontală, într-un mediu de sedimentare liniștit* (Rădan, 1998).

Fig. 5 Un exemplu privind *„Problema directă"* și *„Problema inversă"* în *Petromagnetologie*: determinarea fabric-urilor magnetice în arii cu depozite de cărbuni – *„Problema directă"*; interpretarea lor, folosindu-se și modele teoretice – *„Problema inversă"*

chiar și formal, al conceptului geofizic privește un domeniu în esență interdisciplinar – **Environmental Magnetism** sau **Enviromagnetics** –, el însuși cu o geneză marcată de interferențe ale *aplicațiilor directe* și ale celor *indirecte*/*inverse* ale proprietăților magnetice ale rocilor/sedimentelor.

Fără a mai extinde comentariul, se poate întări afirmația că dezvoltarea și diversificarea disponibilităților de abordare a „***problemei inverse***" în ***Petromagnetologie***/***Rock-Magnetism*** a avut drept consecință asimilarea unei discipline distincte, noi – „**magnetismul ambiental**".

Un alt caz, asupra căruia nu este lipsit de interes a ne opri puțin, este generat de ultima direcție menționată anterior pentru exemplificarea transferului (formal) conceptual al ***problemei inverse*** în ***Petromagnetologie***, și anume «*rock-magnetism – vulcanomagnetism/seismomagnetism – geomagnetism*». Aici, domeniul integrator este cunoscut ca „**tectonomagnetism**" (Nagata, 1969). In acest cadru, s-au făcut tentative de extindere a *dimensiunii temporale* a disponibilităților proprietăților magnetice ale rocilor, în sensul testării capacității de predicție a celor două fenomene naturale implicate, așadar, o testare a abilității de reflectare – nu a unor *contexte trecute* sau *prezente* –, ci a unor eventuale *evenimente viitoare*. Dacă adăugăm acestui scurt comentariu și observația că, în laborator, au fost întreprinse numeroase și variate studii experimentale, împreună cu abordări teoretice, relativ la efectele stresurilor mecanice asupra proprietăților magnetice ale rocilor (de exemplu, Nagata, 1961, 1966, 1969, 1970; Stacey & Johnston, 1974; Stacey & Banerjee, 1974), este oferit, în același cadru – *tectonomagnetic* –, un nou exemplu de abordare a celuilalt termen al conceptului geofizic dorit a fi transferat, în particular privind „***problema directă***" în ***petromagnetologie***.

Pe traseul spre interiorul Pământului, ***proprietățile magnetice ale rocilor*** suportă schimbări în *condiții termobarice* diferite de cele de la suprafață, astfel că, pentru explicarea efectelor observate în anomaliile magnetice, simularea *mediului geologic* de adâncime trebuie să ia în cosideрație *modele petromagnetice*, de asemenea de profunzime. Aceasta stimulează noi tendințe, în contextul general al *proprietăților fizice ale geomaterialelor*, în particular în *petrologia experimentală*. În acest punct intervine o abordare în cadrul *problemei directe* a ***petromagnetologiei***, și anume studiul în laborator, cu echipamente specializate, al *proprietăților magnetice* ale *mineralelor feromagnetice* și ale *rocilor* care le conțin, la *presiuni și temperaturi înalte* (de exemplu, Lebedev & Savenko, 1998).

Magnetizarea rocilor, integrată în matricea mediului geologic, intervine atât în magnetometrie/magnetologie, cât și în rock-magnetism/petromagnetologie și paleomagnetism/paleomagnetologie – întreaga expunere conține argumente în acest sens –, făcând cu atât mai dificilă o încadrare fermă în *problema directă* sau în *problema inversă*.

Nu întâmplător, probabil, Nagata (1961) și Butler (1992) introduc în cărțile lor, intitulate ***Rock-Magnetism***, respectiv ***Paleomagnetism***, (sub)capitole ca *Prospecțiunea magnetică și Rock-magnetismul*, *Rock-magnetismul ca termometru geologic*, *Rock-magnetismul și corelarea geologică*, *Rock-magnetismul și mișcările tectonice*, respectiv *Subiecte speciale în Rock-Magnetism* (printre care *Paleointensitatea* câmpului geomagnetic dedusă *din magnetizarea termoremanentă*).

Toate aceste observații sunt sintetizate, poate, de Șolpo (1977), într-o afirmație a sa din cartea „*Utilizarea magnetismului rocilor pentru rezolvarea problemelor geologice*":

Se poate spune că principiile generale care determină caracterul informațional geologic al fenomenelor magnetismului rocilor pot fi folosite într-o așa diversitate de modalități de cercetare că nu e posibil să încapă în limitele apartenenței formale la prospecțiunea magnetică, investigarea petromagnetică sau paleomagnetică, mai ales că și ultimele sunt datoare să se sprijine pe legitățile magnetismului rocilor.

O tentativă de sistematizare este ilustrată în modelul interpretativ interactiv din Planșa 3, generat de un studiu de caz elaborat pentru proprietățile (paleo)magnetice ale secvențelor ciclice pliocene de lignit–argilă din vestul Bazinului Dacic (Rădan, 1998). Modelul evidențiază diversitatea modalităților de cercetare, dar și complexitatea demersului de a face ca „aplicațiile" și „implicațiile" rezultate să „*încapă în limitele apartenenței formale*" la „rock-magnetism", „magnetometrie", „paleo(geo)magnetism" sau „stratigrafie", „mineralogie", „sedimentologie"; între acestea au fost plasate și domenii interdisciplinare, aflate la confluența *geofizicii* cu *geologia*, la care pot fi încă adăugate *astrocronologia* sau *paleoclimatologia*. Modelul conține o multitudine de exemple privind capabilitățile **(paleo)magnetismului rocilor**, care pot susține discuția privind un transfer (formal) al sintagmei geofizice «***problemă directă*** – ***problemă inversă*** » în *Petromagnetologie* și *Paleomagnetologie*, desigur complexitatea atribuirii lor unuia sau altuia dintre cei doi termeni rămânând în limite apropiate celei tocmai comentate, relativ la *aplicațiile* și *implicațiile* derivate din studiul de caz evocat.

3. REMARCI CONCLUZIVE

Păstrând observațiile de încheiere în cadrul mai sus definit, și într-o măsură exemplificat și ilustrat, este bine a preciza că dorința autorului lucrării de față – probabil indusă de perspectiva geofizicianului – a fost ca, pornind de la câteva succinte mențiuni întâlnite sub formă explicită cu privire la ***paleomagnetologie***, să dezvolte o discuție despre un *transfer* (formal) și o *extindere* a ***esenței*** *problemei directe* și a *problemei inverse* – specifice unor *metode (geofizice) ale câmpurilor naturale* –, în alte două domenii ale geoștiințelor: ***rock-magnetism/petromagnetologie*** și ***paleomagnetism/ paleomagnetologie***.

Nu s-a urmărit o sistematizare completă, dificil de realizat, în particular într-un articol de o extindere prestabilit scurtă, ci mai mult o expunere, constrânsă de adoptarea și/sau adaptarea unui concept împrumutat, a unui μ-eșantion de diversitate, multitudine și complexitate în confruntare cu proble-

matica ***proprietăților (paleo)magnetice ale rocilor***. Citatul și observațiile anterior prezentate susțin opțiunea.

Susceptibilitatea magnetică și *magnetizarea remanentă* sunt nu numai proprietăți magnetice fundamentale, dar constituie și substratul fizic al unor instrumente versatile de investigare.

Asupra unor disponibilități ale principalilor **parametri rock-magnetici/petromagnetici** și **paleomagnetici –** de reflectare a unor *contexte geofizice, geologice* și *geoecologice* – se vor opri și alte articole, în care definirea și relevarea unor proprietăți (paleo)magnetice vor fi interferate cu aspecte de ordin terminologic, metodologic și instrumental.

THE DIRECT/FORWARD PROBLEM AND THE INDIRECT/INVERSE PROBLEM IN PETROMAGNETOLOGY AND PALAEOMAGNETOLOGY; A DISCUSSION, WITH EXEMPLIFICATION IN GEOPHYSICS, GEOLOGY AND GEOECOLOGY

SUMMARY

Starting from the geophysical concept – *direct/forward problem* and *inverse problem* –, common to the methods based on the natural field measuring (*e.g*. magnetic and gravity methods), its (informal) transfer to **Petromagnetology** and **Palaeomagnetology** is attempted.

Some terminology issues, as inferred from the rock magnetic and palaeomagnetic literature, are commented.

The terms "*petromagnetology"* and "*palaeomagnetology"* might be an extension of those frequently met – "*petromagnetism*"/"*rock magnetism*" and "*palaeomagnetism*" respectively, the latter being able to be assigned to the corresponding investigated phenomena. The first terms mentioned (used in the article's title, too) are usually present in the Russian literature.

In this context, however, it is interesting to be remarked the title of the Hramov's book (*i.e*., "*Paleomagnetology"*), published in English by Springer-Verlag (with Prof. D.H. Tarling as Technical Editor).

The most important part of the paper deals with numerous and various examples offered by the rock magnetic and palaeomagnetic literature (several contributions of the present author included), systematised into two main groups: *direct* and *indirect* applications. They suggest and actually contain elements supporting the *direct problem* and the *inverse problem*, respectively, whose (informal) transfer to the two geoscience fields (*i.e*., *Petromagnetology/Rock Magnetism* and *Palaeomagnetology/Palaeomagnetism*) is attempted in the present article.

The *direct problem* and the *inverse problem* exist **implicitly**, through the subjects approached, in all the books devoted to these fields.

In the Russian literature it can be **explicitly** found – as regards the *palaeomagnetology* – the terms "*direct problem"* ("*pryamaya zadacha*") and the *"inverse problem"* ("*obratnaya zadacha*"). Some examples of topics that support these conceptual terms are given by Sholpo (1977), Hramov (1982), Pecherski (1985), Pecherski & Didenko (1995).

In the present paper, the examples are greatly extended on the basis of various articles and books from the English, French, Russian and Romanian palaeomagnetic literature. Besides, the extension regards the *Petromagnetology/Rock Magnetism*; it seems, other authors have not approached this case, *i.e*. from the point of view of an **explicit** systematisation based on the *direct and inverse problem* concept.

The study of the geomagnetic field behaviour in Phanerozoic, and particularly, the investigation of the palaeosecular variations, geomagnetic reversals, polarity transitions, geomagnetic excursions are among the examples given as support elements of the *direct problem* in *Palaeomagnetology*. If the Geomagnetic Polarity Time Scale (*GPTS*) elaboration is a *produce* of the *direct problem* approach in *Palaeomagnetology* – a "*palaeogeomagnetic pattern*" actually –, its use as a dating and correlation tool for geological formations, extended to the palaeoclimatic and palaeoenviromental reconstructions – in a magneto(bio)stratigraphic, tephra-, chemo-, cyclo-stratigraphic and/or astrochronologic framework – could be assigned to the *inverse problem* of the *palaeomagnetology*.

This case is also supported by a series of results obtained in Romania on various deposits (*e.g*. Rădan, 1998, 2000, 2003; Rădan & Rădan, 1996, 1998, 2007c, 2008; Rădan *et al*., 1996), mostly concerning lignite-clay sequences.

As regards the *Petromagnetology*, the determination of the characteristics of the remanent magnetisation-bearing minerals, of singledomain (*SD*) or multidomain (*MD*) states

and of their transition, the knowledge of the physical mechanisms responsible for the stable remanence acquisition and preservation, and so on, could represent elements of the *direct problem* in *Petromagnetology/Rock Magnetism*. At the same time, they constitute a physical support for *Palaeomagnetology*, extremely necessary, '*although*' – as O'Reilly (1976) says – '*the general empirical validity of the palaeomagnetic method cannot be doubted...*'.

The rock magnetic parameters determined on natural minerals extracted from rocks/ores and on the equivalent synthetic materials (*e.g*. prepared crystals of minerals) could be assigned to the *direct problem* of the *Petromagnetology*. Their use for the interpretation of the *observed magnetic properties* of natural rocks, and the identification of their magnetic constituents could be related to the *inverse problem* of the *Petromagnetology*.

The theoretical depositional fabrics established under laboratory conditions (when different hydrodynamic regimes are simulated) (Tarling & Hrouda, 1994) could be merged with the *direct problem* in *Rock Magnetism*. Their use to interpret magnetic fabrics in natural sediments represents an example of *inverse problem* of the *Rock Magnetism/ Petromagnetology*. A concrete situation is illustrated by the interpretation of the magnetic fabrics determined in coal-generating areas (*cf.* Rădan, 1998; Rădan & Rădan, 1996, 2007c, 2008; Rădan *et al*., 1996, 2000, 2001).

In the extended text, other possible cases supporting the topic of this article are mentioned. Among them, a revealing aspect related to the *environmental magnetism* is briefly commented. Thus, it is taken into consideration that it is widely accepted that "the first explicit description of environmental magnetism as a distinct field" is marked by the paper on the "environmental applications of magnetic measurements", published by Thompson *et al*., in *Science*, in 1980 (*cf*. Verosub & Roberts, 1995; also, Dekkers, 1997). It is pointed out that this could stand for an excellent example of how the development and the diversifying of the abilities to approach the *inverse problem* in *Petromagnetology*/*Rock Magnetism* has resulted in acquiring a distinct new discipline – the **environmental magnetism**. The case of *tectonomagnetism* (Nagata, 1969), as an integrated field of rock magnetism- vulcanomagnetism/seismomagnetism-geomagnetism, is also revealed and assigned to the *inverse problem* of *Petromagnetology*/*Rock Magnetism*, whereas the experimental study in the laboratory or the theory of the magnetic properties of rocks under mechanical stresses could be attributed to the *direct problem* of *Petromagnetology*/*Rock Magnetism*. In both cases, the temporal dimension of the abilities of the magnetic properties of rocks to reflect certain geocontexts could be extended towards the future. The former (*i.e*., the *environmental magnetism*) refers to an anticipation ability of effects of a potential pressure on the environment, caused by the human activity (starting from real examples, based on past and/or present anthropogenic influences on the ecosystems, as shown by the magnetic measurements). The latter (*i.e*., the *tectonomagnetism*) concerns a (questionable) prediction aptitude for likely natural events.

Anyway, as the **magnetisation** of the rocks – integrated in the matrix of the *geological medium* – interferes with *Magnetometry/Magnetology, Rock Magnetism/Petromagnetology,* and equally with *Palaeomagnetism/Palaeomagnetology*, it is difficult, sometimes, to make a clear-cut distinction between what to assign to the *direct problem* and what to assign to the *inverse problem*.

Actually, as a concluding remark, the author confesses that it has not been the purpose of this paper a complete systematisation, not likely to be carried out in the frame of a limited article with a preset short length, but a commentary – constrained by the *adoption* and/or the *adaptation* of a *borrowed concept* – of a *μ-specimen* of diversity, multitude and complexity facing the problem of the *(palaeo)magnetic properties of rocks*.

BIBLIOGRAFIE

Botezatu R., 1982 - Modele geofizice ale alcătuirii geologice a României, Ed. Academiei RSR, București, 205p.

Botezatu R., 1987 - Bazele interpretării geologice a informațiilor geofizice, Ed. Tehnică, București, 366p.

Butler R.F., 1992 - Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes, Blackwell, Oxford, 225p. (versiune Internet).

Collinson D.W., 1983 - Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism. Techniques and instrumentation, Chapman and Hall, London, 503p.

Constantinescu L., 1974 - Mesaje ale Pământului în descifrări actuale, Ed. Științifică, București, 188p.

Constantinescu L., Botezatu R., Calotă C., Șteflea Vl., Romanescu Dr., Paucă M., Gohn E., 1964 - Prospecțiuni geofizice, vol.**I**, Modelele câmpurilor naturale, Ed. Tehnică, București, 528p.

Dekkers M., 1988 - Some rockmagnetic parameters for natural goethite, pyrrothite and fine-grained hematite, Geologica Ultraiectina, Utrecht, **51**, 231p.

Dunlop D.J., 1974 - Thermal enhancement of magnetic susceptibility, J. Geophys., **40**, 439-451.

Evans M.E., Heller F., 2003 - Environmental Magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics, Academic Press, Elsevier Science, USA, 299p.

Gavăt I., Botezatu R., Visarion M., 1973 - Interpretarea geologică a prospecțiunilor geofizice, Ed. Academiei RSR, București, 574p.

Hanuš V., Krs M., 1963 - Palaeomagnetic dating of hydrothermal mineralization on example of Spissko-Gemerské Rudohorie area - Czechoslovakia, Rozpravy Cesk. Akad. Ved., **73**, 14, 75p.

Hramov A.N. (ed.), 1982 - Paleomagnitologhiia, Nedra, Leningrad, 312p.

Hramov A.N., 1987 - Paleomagnetology, Springer - Verlag, Berlin – Heidelberg, 308p.

Hrouda F., 1982 - Magnetic anisotropy of rocks and its application in Geology and Geophysics, Geophys. Surv., **5**, 37-82.

Irving E., 1964 - Paleomagnetism and Its Application to Geological and Geophysical Problems, Wiley & Sons, New York, 399p.

Irving E., North F.K., Couillard R., 1974 - Oil, climate, and tectonics, Can. J. Earth Sci., **11**, 1, 1-17.

Janák F., 1967 - The effect of the anisotropy on the direction of the vector of isothermal remanent magnetic polarization, Studia geoph. et geod., **11**, 419-429.

Janák F., 1972 - Magnetic susceptibility anisotropy of various rock types and its significance for Geophysics and Geology, Geophys. Prosp., **XX**, 2, 375-384.

Janák F., 1973 - A brief outline of the magnetic susceptibility anisotropy of various rock types, Studia geoph. et geod., **17**, 123-130.

Lourens L.J., Hilgen F.J., Laskar J., Shackleton N.J., Wilson D., 2004 - The Neogene period, in Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Smith, A.G. (Eds.), A Geologic Time Scale 2004, Cambridge University Press, 409–440.

Lebedev T.S., Savenko B. Ia., 1998 - A new method of calculation depth distribution of rock magnetization, Annales Geophysicae, **16**, Suppl.I, Part I, C199 (abstract).

McElhinny M.W., 1973 - Palaeomagnetism and plate tectonics, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 358p.

Nagata T., 1961 - Rock Magnetism, Maruzen Co. Ltd., Tokyo, 350p.

Nagata T., 1966 - Magnetic susceptibility of compressed rocks, J. Geomag. Geoelectr., **18**, 1, 73-80.

Nagata T., 1969 - Tectonomagnetism, I.A.G.A. Bull., **27**, 12-43.

Nagata T., 1970 - Basic magnetic properties of rocks under the effects of mechanical stresses, Tectonophysics, **9**, 2/3, 167-195.

Nagata T., Johnston M.J.S., 1972 - Theory of piezomagnetic effect in titanomagnetite-bearing rocks, Pure Appl. Geophys., **97**, 146-155.

O'Reilly W., 1976 - Magnetic minerals in the crust of the Earth, Rep. Prog. Phys. **39**, 857-908.

Pecerski D.M., 1985 - Petromagnetizm i paleomagnetizm. Spravocinoe posobie dlea speţialistov iz smejnîh oblastei nauki, Nauka, Moskva, 126p.

Pecerski D.M., Dudenko A.N., 1995 - Paleoaziatskii okean (petromagnitnaia, paleomagnitnaia informaţiia o ego litosfere), Inst. Planet. Gheofiz., Moskva, 297p.

Petrovsky E., Ellwood B.B., 1999 - Magnetic monitoring of air-, land- and water pollution, in Quaternary Climates, Environments and Magnetism (eds. Maher B.A. and Thompson R.), Cambridge University Press, Cambridge, 279-322.

Piper J.D.A., 1973 - Interpretation of some magnetic anomalies over Iceland, Tectonophysics, **16**, 163-187.

Rădan S. C., 1988 - Book review - «Paleomagnetology» (autor: A.N. Hramov, editor tehnic: D.H. Tarling), St. Tehn. Ec., Seria D, **15**, București, 223-224.

Rădan S.C., 1998 - Contribuții la studiul proprietăților magnetice ale rocilor în context geofizic și geologic, Teză de doctorat, Universitatea din București, Biblioteca Centrală Universitară, 332p.

Rădan S.C., 2000 - Magnetostratigraphic constraints on the coal bed codification; errors found, Proceed. Rom. Acad., Series B, **2**, 3, Ed. Acad. Române, București, 239-243.

Rădan S.C., 2003 - Changes induced by temperature in the magnetic recording medium in areas with coal deposits; support from porcelanites, Proceed. Rom. Acad., Series B, **5**, 1-2, Ed. Acad. Române, București, 51-59.

Rădan S.C., Rădan M., 1996 - Magnetostratigraphy as a technique of nomination and correlation of coal beds; two examples from western Dacic Basin (Romania), Geologica Carpathica, **47**, 3, Slovak Acad. Press Ltd., Bratislava, 174-176.

Rădan S.C., Rădan M., 1998 - Studiul structurii câmpului geomagnetic în Terțiar, în contextul elaborării scărilor magnetostratigrafice. I - Pliocenul; Study of the geomagnetic field structure in Tertiary in the context of magnetostratigraphic scale elaboration. I - The Pliocene, An. Inst. Geol. al României, **70**, 215-231.

Rădan S.C., Rădan S., 2004a - Elaborarea unei metode magnetoambientale de caracterizare a sistemelor sedimentare în domenii acoperite de apă. Experimentare în Delta Dunării și Complexul lagunar Razelm (Razim) - Sinoie, Proiect „CERES", Raport de cercetare, **IV**, Arhiva I.G.R., 307p.

Rădan S.C., Rădan S., 2004b - State of the sedimentary environments of the Matița – Merhei Depression (Danube Delta, Romania) as inferred from magnetic susceptibility data, Proceed. Rom. Acad., Series B, 2004, **3**, Ed. Acad. Române, București, 171-179.

Rădan S.C., Rădan S., 2006 - 30 years of magnetic susceptibility measurements on the Danube Delta lake sediments (Romania, 1976-2006). Sedimentologic applications to Environmental Magnetism, Travaux Géophysiques, **XXXVIII**, Geophysical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, 94-95.

Rădan S.C., Rădan S., 2007a **–** A magnetic susceptibility scale for lake sediments; inferences from the Danube Delta and the Razim – Sinoie lagoonal Complex (Romania), GEO-ECO-MARINA, **13**, București-Constanța, 61-74.

Rădan S.C., Rădan S., 2007b - The magnetic signature of present environmental changes in lake sediments induced by hydrotechnical works; a case study from the Danube Delta (Romania), the XXIVth IUGG General Assemby, "Earth: Our changing planet", July 2 – 13, 2007, Abstracts, IAGA, Inter-Association Symposia and Workshops, published by Umbria Sci. Meet. Ass. (USMA), Perugia, Italy, December, 2007, Abstract 2616, 156.

Rădan S.C., Rădan S., 2007c **-** Remagnetisation as evidence of a natural thermal event in the history of the lignite-clay sequences: magnetic signals from porcelanites (Dacian Basin, Romania), the XXIVth IUGG General Assemby, July 2 – 13, 2007, Perugia, Italy.

Rădan S.C., Rădan S., 2007d - Modern Sediments as Enviromagnetic Archives. A Case Study: Danube Delta and Northwestern Black Sea, *EOS* Transactions, American Geophysical Union, 88(52), Fall Meet. Suppl., San Francisco, USA, Abstract GP53B-1220.

Rădan S.C., Rădan S. (2008) – Magnetic properties of the Pliocene sedimentary sequences in the western Dacic Basin (Romania): A case study from the lignite-clay doublets, Contributions to Geophysics and Geodesy, 38, Special Issue, Geophys. Inst. Slovak Acad. Sci., Bratislava, Slovakia, 111-115.

Rădan S.C., Ghenea C., Rădan M., 1984 - Quaternary deposits in South Doubrudja - Geological and palaeomagnetic characteristics. Guidebook for the KAPG field trip (Sept. 24-Oct. 4, 1984), Inst. Geol. Geophys., Bucharest, 18p.; Cetverticinîe otlojeniia iujnoi Dobrudji - Gheologhiceskie i paleomagnitnîe haracteristiki, Putevoditel *KAPG* ekskursii (24 sekt. - 4 okt., 1984), 16p.

Rădan S., Pavel A., Jugaru L., Bălan S., Grosu D., Rădan S.C., Milu C., 2008a – Emisii naturale de gaze cu efect de seră în zonele umede din România, cu privire specială supra Deltei Dunării și zonei litorale a Mării Negre (GASERO), **VI**, Proiect "CEEX", Arhiva I.G.R., București, 182p.

Rădan S.C., Rădan M., Rădan S., Mihăilescu N., 1995b - Magnetism ambiental în lacurile satelite ale complexului lagunar Razelm-Sinoe: L. Histria și L. Nuntași, Analele științ. Inst. Cerc. Proiect. «Delta Dunării», **IV/***2*, Tulcea, 29-34.

Rădan S.C., Rădan M., Rădan S., Andreescu I., Vanghelie I., 1996 - Studiul magnetostratigrafic și mineralogic al formațiunilor dacian-romaniene din zona Mehedinți, în vederea sinonimizării stratelor de lignit cu cele din sectorul Motru; Magnetostratigraphic and mineralogical study of Dacian-Romanian formations from Mehedinți area: towards the synonymous nomination of lignite beds related to the Motru zone, An. Inst. Geol. al României, **69**, Partea I, București, 324-331.

Rădan S.C., Rădan S., Rădan M., 1999 - Environmental magnetic signatures recovered from lake sediments in the Danube Delta (Romania), Geo-Eco-Marina, **4**, National Inst. Mar. Geol. Geo-ecol., București – Constanța, 43-48.

Rădan S.C., Rădan S., Rădan M., 2000 - Studiul integrat rock-magnetic și termo-mineralogic al unor porțelanite din zona Jilț (Bazinul Dacic), St. Cerc. Geol., **45**, Ed. Acad. Române, București, 71-94.

Rădan S.C., Rădan S., Rădan M., 2001 - Studiul integrat rock-magnetic, termo-mineralogic și geochimic al unor porțelanite din zona Lupoaia (Bazinul Dacic), St. Cerc. Geol., **46**, Ed. Acad. Române, 111-141.

Rădan S.C., Rădan S., Oaie Gh., Szobotka Șt., 2004 - Magnetic susceptibility as a sensitive proxy parameter for differentiating deltaic (lacustrine and fluvial) sedimentary environments; inferences from the Danube Delta (Romania), Contributions to Geophysics and Geodesy, **34**, Special Issue, Geophys. Inst. Slovak Acad. Sci., Bratislava, Slovakia, 117-119.

Rădan S.C., Rădan S., Cazacu C., Milu C., 2008b – Magnetic susceptibility and lithological characterisation of the lake sediments from the southeastern Romania wetlands; environmental significances, Contributions to Geophysics and Geodesy, 38, Special Issue, Geophys. Inst. Slovak Acad. Sci., Bratislava, Slovakia, 107-110.

Snel E., Mărunțeanu M., Macaleț R., Meulenkamp J.E., van Vugt N., 2006 - Late Miocene to Early Pliocene chronostratigraphic framework for the Dacic Basin, Romania, Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., **238**, 107-124.

Stacey F.D., Banerjee S.K., 1974 - The physical principles of rock magnetism, Elsevier, Amsterdam, 195p.

Şolpo L.E., 1977 - Ispolzovanie magnetizma gornîh porod dlea reșenia gheologhiceskih zadaci, Nedra, Leningrad, 184p.

Tarling D.H., 1971 - Principles and Applications of Palaeomagnetism, Chapman and Hall, London, 164p.

Tarling D.H., 1983 - Palaeomagnetism. Principles and Applications in Geology, Geophysics and Archaeology, Chapman and Hall, London, 379p.

Tarling D.H., Hrouda F., 1993, The Magnetic Anisotropy of Rocks, Chapman and Hall, London, 217p. (preprint).

Thouveny N., 1991 - Variations du champ magnétique terrestre au cours du dernier cycle climatique (depuis 120 000 ans), Doc. C.E.R.L.A.T., mém. **3**, Lac du Bouchet (II), Marseille, 349p.

Van Vugt N., 2000 - Orbital forcing in late Neogene lacustrine Mediterranean. A magnetostratigraphic and cyclostratigraphic study, PhD Thesis, Utrecht University, Geologica Ultraiectina, 189, The Netherlands, 167p.

Van Vugt N., Langereis C.G., Hilgen F.J., 2001 - Orbital forcing in Pliocene - Pleistocene Mediterranean lacustrine deposits: dominant expression of eccentricity versus precession, Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., Elsevier, 172, 193-205.

Verosub K.L., Roberts A.P., 1995 - Environmental magnetism: Past, present, future, J. Geophys. Res., **100**, 82, 2175-2192.

Visarion M., 2004 - Istoria geofizicii românești, Vol. I, Ed. Vergiliu, București, 517p.