

NOTĂ PRELIMINARĂ ASUPRA UNOR VARIAȚII ANOMALE ALE TEMPERATURII APEI FREATICE, DETECTATE ÎN APROPIEREA OBSERVATORULUI GEODINAMIC CĂLDĂRUȘANI

DOREL ZUGRĂVESCU, HORIA MITROFAN, MIREL ENE

*Institutul de Geodinamică „Sabba S. Ștefănescu” al Academiei Române
Str. Jean-Louis Calderon 19–21, 020032 București, România*

1. INTRODUCERE

Zona Faliei Intramoessice constituie una din ariile seismice distincte de pe teritoriul României. Cutremurele care au loc aici sunt rare și slabe. Dintre cele produse pe parcursul secolului al XX-lea (Radulian *et al.*, 2000), doar unul a depășit o magnitudine de 5,0 (4 ianuarie 1960, $M_w = 5,4$). Legată însă de același aliniament tectonic, o activitate seismică mai intensă se înregistrează în zona Șabla, de la țărmul bulgar al Mării Negre: 8 cutremure cu $M_w \geq 5,0$ au avut loc aici pe parcursul secolului al XX-lea. Cel mai puternic dintre ele ($M_w = 7,2$) s-a înregistrat în anul 1901.

Activitatea tectonică care se manifestă în zilele noastre pe aliniamentul Faliei Intramoessice ar putea fi și cauza unor anomalii episodice ale temperaturii apei subterane; astfel de situații au mai fost citate anterior pentru alte zone seismice de pe glob: Grecia: (Asteriadis, Livieratos, 1989), Japonia (Kitagawa *et al.*, 1996), Italia (Quattrocchi *et al.*, 2003). O asemenea anomalie termică a fost semnalată pe traseul Faliei Intramoessice în ianuarie–februarie 2003, în cursul unei perioade de intensificare – începând din noiembrie 2002 – a activității seismice din sectorul românesc al acestei linii tectonice (informații de pe site-ul www.infp.ro, gestionat și actualizat periodic de Institutul Național de Fizica Pământului și Seismologie, București). „Reacția” termică menționată a fost înregistrată într-un vechi puț de apă din zona schitului Cocioc, la cca 800 m SV de Observatorul Geodinamic Căldărușani (fig. 1).

2. DATE PRIVIND SECVENȚA SEISMICĂ DIN 24 NOIEMBRIE 2002 – 7 APRILIE 2003

Toate cutremurele din secvență (tabelul 1) au fost – în concordanță cu regimul general al seismicității din zonă – superficiale: cea mai mare adâncime de focar care a putut fi determinată pe baza datelor instrumentale ($16,6 \pm 13,5$ km) a fost cea a evenimentului din 3 februarie 2003, al cărui epicentru s-a situat la cca 55 km SE de Cocioc.

Tabelul 1

Principalele caracteristici ale evenimentelor secvenței seismice desfășurate în lungul Faliei Intramoesice între 24 nov. 2002 și 7 apr. 2003

Data	Long. E	Lat. N	Adâncime (km)	Magnitudine (Mw)
24 Nov.02	25,73	44,96	12,2	2,7
3 Feb.03	26,52	44,24	16,6	2,6
19 Feb.03	26,28	44,60	50*	2,4
7 Mar.03	26,54	44,18	1,2	2,8
10 Mar.03	26,52	44,18	5,0*	2,9
7 Apr.03	26,55	44,30	7,4	2,6

*Valori estimate, întrucât datele experimentale nu au permis realizarea unor determinări mai precise.

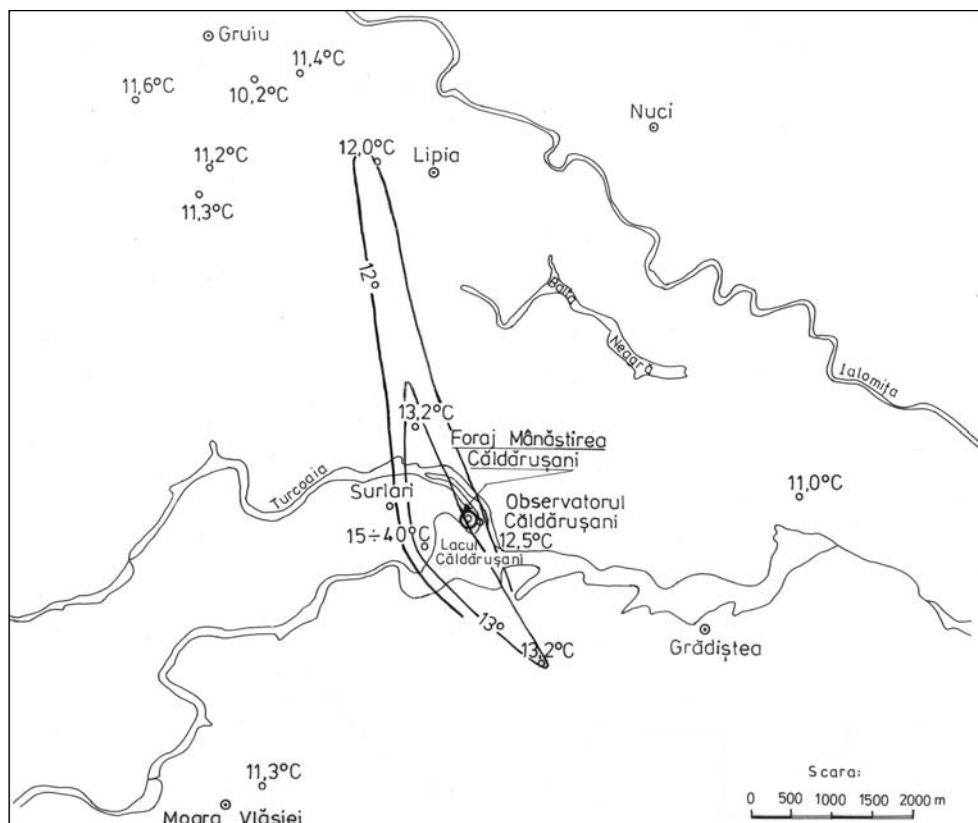


Fig. 1 – Amplasamentul punctelor din apropiere de Cocioc în care s-au efectuat măsurători de temperatură a apei subterane în ianuarie–februarie 2003. Izotermele orientative trasate la nivelul acviferului freatic sugerează extinderea anomaliei termice de-a lungul unui plan de fractură orientat NV–SE, care ar putea fi asociat Faliei Intramoesice.

Se observă că pe parcursul secvenței (tabelul 1, fig. 2), de la un prim șoc (24 noiembrie 2002, $M_w = 2,7$), produs la nord-vest de Căldărușani, activitatea seismică a migrat spre sud-est, unde s-au grupat epicentrele celor mai multe evenimente produse ulterior, până în 7 aprilie 2003 (M_w cuprinse între 2,4 și 2,9). Cel mai apropiat de locația anomaliei termice de la Cocioc (cca 10 km distanță orizontală) a fost epicentrul cutremurului din 19 februarie 2003, de $M_w = 2,4$.

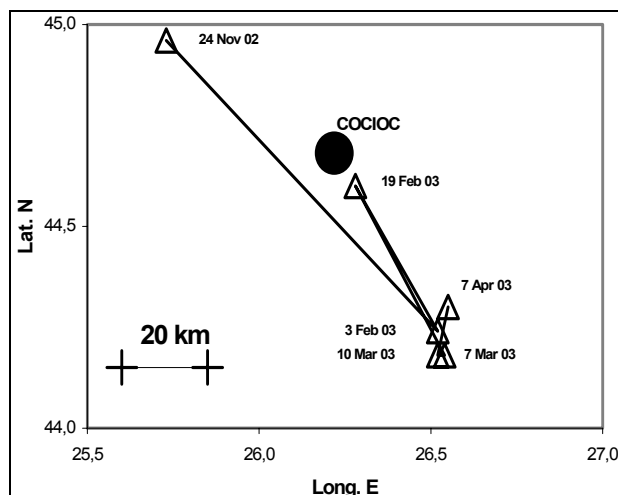


Fig. 2 – Localizarea epicentrelor secvenței seismice (triunghiuri) care a avut loc în lungul Faliei Intramoesice, în zona Căldărușani, între 24 noiembrie 2001 și 7 aprilie 2003. Cercul plin indică amplasamentul puțului de la Cocioc în care s-au detectat variațiile anormale de temperatură.

3. ANOMALIA TERMICĂ DETECTATĂ

Puțul de la Cocioc, în care a fost semnalată anomalia termică, a putut fi sondat pe o adâncime de cca 17 m. Nu s-a putut stabili, însă, dacă adâncimea sa reală este sau nu mai mare. Situația anomală (temperatură de 38°C a apei din puț) a fost detectată, accidental, la 13 ianuarie 2003. Pe parcursul monitorizării termometrice care a urmat (și care s-a întins până în data de 3 martie 2003), temperatura apei din puțul de la Cocioc a prezentat o evoluție specifică (fig. 3): de la valoarea ridicată existentă la momentul semnalării anomaliei, s-a instalat o tendință de declin până la valori de 18°C (înregistrate în intervalul 23–26 ianuarie 2003). A urmat o nouă creștere până la un maxim absolut de $40,3^{\circ}\text{C}$ (atins la 3 februarie 2003), apoi iarăși o scădere. În acest interval de timp s-au mai efectuat măsurători de temperatură și în alte puțuri din apropiere (până la cca 7 km distanță, fig. 1). Niciunul din aceste puțuri nu a prezentat însă valori de temperatură comparabile cu cele de la Cocioc. Ușor crescute (cu $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ peste „fondul” local de cca 11°C) au fost doar valorile determinate pe un aliniament NV–SE, între satele Lipia și Grădiștea.

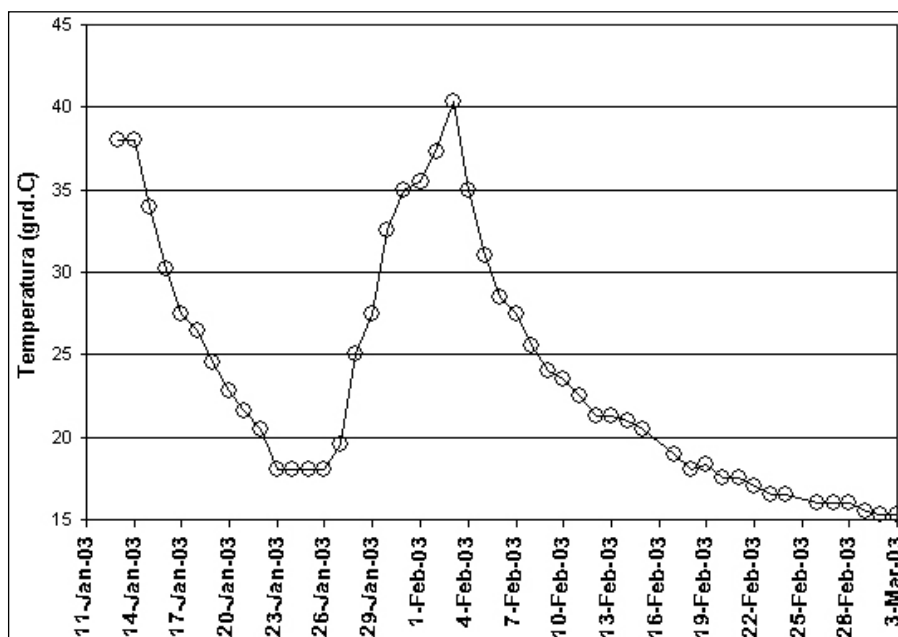


Fig. 3 – Evoluția temperaturii apei din puțul de la Cocioc în perioada 13 ianuarie – 3 martie 2003.

4. INFORMAȚII DEDUSE DIN COMPOZIȚIA CHIMICĂ A APEI PUȚULUI DE LA COCIOAC ȘI A ALTOR APE SUBTERANE DIN ZONĂ

În perioada manifestării anomaliei termice, s-au prelevat și probe de apă pentru analize chimice (tabelul 2). Este vorba de o serie de probe recoltate din puțul de la Cocioc succesiv în timp (17 ian., 20 ian., 7 feb., 10 feb., 12 feb., 14 feb., 19 feb., 21 feb., 24 feb. și 26 feb. 2003), precum și de alte patru probe de apă subterană, prelevate din alte surse, fiecare în câte o ocazie distinctă: puț de la Observatorul Surlari (17 ian. 2003), puț de la Observatorul Căldărușani (20 ian. 2003), puț din satul Grădiștea (7 feb. 2003), foraj adânc (peste 100 m – conform informațiilor verbale culese la fața locului) din incinta mănăstirii Căldărușani (10 feb. 2003).

Tabelul 2

Caracteristici fizico-chimice ale probelor de apă prelevate din puțul monitorizat la Cocioc și din forajul de adâncime din incinta mănăstirii Căldărușani

Data	Sursa	Cl (ppm)	HCO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	NH ₄ (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO ₃ (ppm)	I (ppm)	Br (ppm)	fenoli (ppm)	Temp. apa (°C)	Temp. K-Mg (°C)	Temp. Na-K (°C)	MI
17 Ian.03	Cocioc	21,9	640,9	70,9	122,5	2,4	43,6	71,7	0	0	—	—	—	—	27,5	23,2	128,8	1,431
20 Ian.03	Cocioc	22,6	646,9	70,3	124,7	3,7	42,5	72,4	0	0	—	—	—	—	22,8	31,1	150,9	1,373
7 Feb.03	Cocioc	21,9	665,1	58	128,7	1,6	40,4	72,3	0,4	0	0	0,12	0	0	27,5	17,0	107,1	1,528
10 Feb.03	Cocioc	21,9	671,1	55	127,7	1,2	42,1	74,3	0,49	0,21	0,7	0,16	0	0	23,5	11,9	94,8	1,565
12 Feb.03	Cocioc	21,2	677,1	55	129,9	1,3	43,2	71,4	0,32	0,62	1	0,1	0	0	21,3	13,0	97,5	1,556
14 Feb.03	Cocioc	21,9	665,1	51,6	130,1	2	42,6	71,6	0	1,1	1,6	0,12	0	0	21,0	20,3	116,9	1,490
19 Feb.03	Cocioc	22,6	671,1	52,7	128,9	1,6	42,7	71	0	0,62	1,2	0,11	0	0	18,3	16,5	107,0	1,521
21 Feb.03	Cocioc	21,9	665,1	53,3	128,6	1,5	42,1	69,1	0,09	0,44	1,1	0,23	0	0	17,5	15,6	104,2	1,532
24 Feb.03	Cocioc	22,5	671,1	54,6	128,3	1,4	42,3	69	0,07	0,02	1,7	0,12	0	0	16,5	14,4	101,3	1,542
26 Feb.03	Cocioc	21,9	671,1	50,4	129,2	1,6	43,4	69,2	0,07	0	1,2	0,25	0	0	16,0	16,4	106,9	1,520
10 Feb.03	Foraj incintă mănăstire	22,6	459,5	32,7	165,4	2	9	17,2	0,52	0,02	0	0,06	0	0	12,7	34,1	105,8	1,807

Comparativ cu tipul chimic al apelor de la Surlari, Căldărușani și Grădiștea – care este cel uzual pentru apele freatice, respectiv bicarbonat-calcic ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) – tipul apei de la Cocioc este complet diferit, respectiv, bicarbonat-sodic (NaHCO_3). El este, însă, întru totul similar tipului apei recoltate din forajul aflat în incinta mănăstirii Căldărușani, foraj care deschide un strat acvifer plasat la adâncime mare (probabil peste 100 m). În zonă, respectivul tip hidrochimic (bicarbonat-sodic) a mai fost semnalat doar în cazul câtorva foraje de explorare pentru hidrocarburi care au probat colectoare detritice (nisipuri-pietrișuri) de vârstă daciană. Asemenea colectoare se întâlnesc în această arie la nivele relativ profunde (adâncimi între 100 și 1 000 m). În schimb, apa tuturor colectoarelor aflate mai jos (respectiv, în depozitele sarmațiene, cretacice, jurasice, triasice și paleozoice) este exclusiv (Bandrabur *et al.*, 1979) de tip clorosodic (NaCl).

Date fiind concentrațiile de Ca, Mg, NO_2 și NO_3 , înregistrate la Cocioc – mai mari decât cele din forajul din incinta mănăstirii Căldărușani –, se poate aprecia că apa de la Cocioc a rezultat prin amestec între ape superficiale (bogate în cei patru compuși indicați) și o apă similară celei din forajul adânc.

Tot de ape cu origine superficială este de presupus că se leagă și originea ionului sulfat (SO_4^-), având în vedere că în forajul adânc de la mănăstirea Căldărușani și acesta se întâlnește în concentrații sensibil mai mici decât în apa de la Cocioc. În sprijinul acestei ipoteze vine și situația semnalată de Bandrabur *et al.* (1979) în cazul colectorului de vârstă cretacic inferioară din aceeași structură regională (Platforma Moesică): în zona în care respectivul acvifer suferă un aport de ape meteorice, concentrațiile ionului SO_4^- sunt mai ridicate. Acest ion pare să provină, în contextele menționate, din oxidarea (cu atât mai avansată cu cât se petrece în condiții mai apropiate de suprafață) a hidrogenului sulfurat (H_2S).

Pe parcursul manifestării anomaliei termice, ionul sulfat (SO_4^-) a fost – în afara ionului potasiu (K^+), care va fi discutat ceva mai jos – singurul component chimic la care s-a putut detecta și o variație în timp. Tendința generală de evoluție pare să fi fost oarecum concordantă cu cea a temperaturii (fig. 4). Nu se poate face însă o analiză riguroasă a paralelismului dintre respectivele evoluții, deoarece eșantionarea compoziției chimice s-a făcut mult mai rar decât cea pentru temperatură.

Întrucât – după cum am menționat deja – una din originile probabile ale sulfatului o constituie oxidarea hidrogenului sulfurat (H_2S), este posibil ca evoluția observată a ionului sulfat să fie datorată unor afluxuri episodice de H_2S , substanță semnalată în mod frecvent în acviferele de adâncime din zonă. Asemenea afluxuri trebuie să le fi însoțit pe cele de ape fierbinți, cele care reprezintă cauza cea mai probabilă a anomaliei de temperatură.

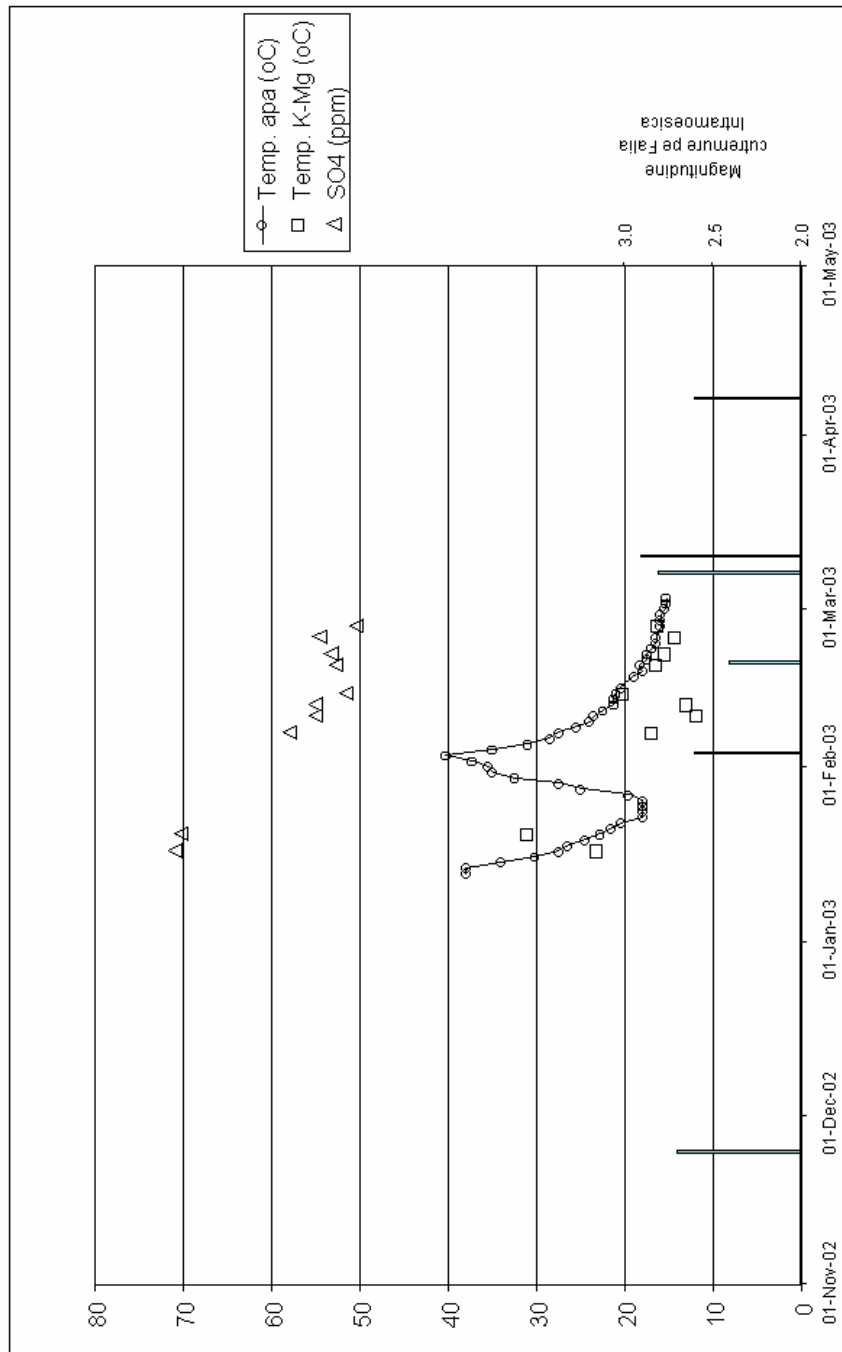


Fig. 4 – Evoluția unor parametri fizico-chimici în apa puțului de la Cocioc, în perioada secvenței seismice din 24 noiembrie 2002 – 7 aprilie 2003 de pe Falia Intramoestica.

5. INFORMAȚII DEDUSE PE BAZA GEO-INDICATORILOR CHIMICI NA-K-MG

Aplicând schema propusă de Giggenbach (1988), se poate presupune că la adâncimea cea mai de sus din scoarță, unde o apă subterană se găsește încă în condiții practic stagnante, se realizează un „echilibru complet”, cvasi-ideal, între compoziția chimică a soluției hidrotermale respective și cea a rocii înconjurătoare. Pe parcursul ascensiunii ulterioare către suprafață, apa subterană își reduce continuu temperatura, însă ca răspuns la acest proces intervine doar o foarte lentă reajustare a raportului concentrațiilor ionilor dizolvați Na^+/K^+ . Această particularitate face ca respectivul raport să constituie un parametru adecvat pentru a estima temperatura ($T_{\text{Na-K}}$) la care a avut loc „echilibrul complet”. În schimb, perechea de ioni dizolvați $\text{K}^+ - \text{Mg}^{++}$ pare să constituie un sistem care se „readaptează” mult mai repede, prin urmare la temperaturi mai coborâte. Temperaturile de echilibrare calculate pe baza acestui raport ($T_{\text{K-Mg}}$) sunt de aceea mai apropiate de cele efectiv măsurate în sursele de apă subterană.

Luându-se în considerare ansamblul proprietăților sus-menționate, perechea de ioni $\text{K}^+ - \text{Mg}^{++}$ a fost folosită în combinație cu perechea mai „inertă” de ioni $\text{Na}^+ - \text{K}^+$, pentru a se cuantifica în ce măsură compoziția chimică a unui fluid se abate de la ultimul „echilibru complet” atins de sistemul apă-rocă. În acest scop, Giggenbach (1988) a definit un așa-numit „indice de maturitate” (MI). Valorile de referință pentru MI sunt 2,66 – corespunzătoare unui fluid complet echilibrat cu roca sa înconjurătoare, și 2,00 – valoare sub care fluidele sunt considerate „imature”, aceasta însemnând că ele nu mai sunt întru totul adecvate pentru evaluări bazate pe metoda în cauză.

Termenul „imatur” indică de fapt un caracter agresiv al respectivelor ape, datorită căruia raporturile ionilor de interes nu mai sunt controlate de echilibrul fluid-rocă. Așadar, valori scăzute ale parametrului MI pot indica o apă agresivă, acidă. Pe de altă parte, scăderea valorilor de MI poate fi datorată și participării, în amestecul cu un aflux din profunzime, a unei fracții crescute de apă superficială (bogată în ionul Mg^{++}).

În ceea ce privește evoluția în timp a apei de la Cocioc, se constată (tabelul 2) o variație semnificativă a ionului K^+ , care ar putea fi legată direct de variația temperaturii apei. Acest gen de conexiune este tocmai cel care stă la baza metodei geindicatorilor chimici Na-K-Mg. În cazul de față (tabelul 2), valorile MI calculate sunt mai mici de 2,00, deci temperaturile maxime ($T_{\text{Na-K}}$) calculate pentru nivelul de proveniență a apei nu sunt foarte concludente (cele mai semnificative ar putea fi valorile de cca 100°C, determinate în condițiile celor mai ridicate valori de MI). În schimb, se poate considera că valorile temperaturii K-Mg ($T_{\text{K-Mg}}$) reflectă, într-o oarecare măsură, temperaturi existente *in situ*. În acest sens, este interesant de evidențiat (tabelul 2, fig. 4) că în perioada ulterioară datei de 14 februarie, valorile de temperatură calculate pe baza geotermometrului K-Mg sunt foarte asemănătoare cu cele măsurate efectiv în puț. Se observă că aceasta se petrece în perioada de atenuare a anomaliei termice, deci, de revenire spre o situație normală.

Spre deosebire de această perioadă „terminală”, un comportament atipic se constată în perioada în care anomalia se manifestă cu intensitate (tabelul 2, fig. 4): temperatura indicată de geotermometrul K–Mg este de regulă mai coborâtă (cu peste 10°C) decât temperatura efectiv măsurată în apă. Fenomenul poate fi asociat cu valorile foarte scăzute pe care le prezintă, în aceeași perioadă, parametrul „indice de maturitate” (MI). Ulterior, pe măsură ce anomalia se estompează și valorile acestuia din urmă prezintă tendința de a crește spre pragul de 2,00, corespunzător „apelor mature”.

6. CORELAREA EVOLUȚIEI UNOR PARAMETRI FIZICO-CHIMICI DETERMINAȚI CU EVENIMENTELE SEISMICE ALE SECVENȚEI PRODUSE ÎN LUNGUL FALIEI INTRAMOESICE

Se constată (fig. 4) că încă dinainte de producerea celui de al doilea șoc din secvență (3 februarie 2003, $M_w = 2,6$), situația termică anomală era deja instalată. Acest fapt este indicat de valorile ridicate pe care le prezintă atât temperatura efectiv măsurată a apei din puț, cât și temperaturile K–Mg calculate. În ceea ce privește temperatura K–Mg, maximul acesteia a intervenit mai târziu decât cel al temperaturii măsurate efectiv, care probabil că a prezentat și valori sensibil mai ridicate înaintea începerii observațiilor. Din aceste constatări s-ar putea deduce că începutul anomaliilor înregistrate ar putea fi legat de cutremurul din 24 noiembrie 2002 ($M_w = 2,7$). De remarcat că șocului seismic din 19 februarie 2003 ($M_w = 2,4$), care a avut loc cel mai aproape de punctul de hidro-observație de la Cocioc, nu îi este asociată vreă anomalie distinctă (fig. 4). Dimpotrivă, producerea acestui ultim seism nu pare să fi afectat deloc tendința de revenire la normal a parametrilor „sensibili”.

7. DISCUȚII ȘI INTERPRETARE

Similitudinea dintre tipul hidrochimic al apelor din depozitele daciene și tipul apei din puțul de la Cocioc pare să fie semnificativă, dar greu de explicat, având în vedere că:

- adâncimea puțului (conform sondajelor efectuate în 2003) este de doar 17 m;
- chiar dacă adâncimea lui inițială ar fi fost mai mare, ea nu putea depăși probabil câteva zeci de metri, dat fiind că vechimea lucrării pare să fie de peste un secol (pe ghizdul puțului este vizibilă o inscripție cu litere chirilice);
- nici în imediata apropiere a puțului și nici până la cca 5 km depărtare, documentațiile referitoare la explorările pentru hidrocarburi nu semnaleză existența vreunei sonde adânci, care prin deteriorarea în timp a tubajului sau cimentării să fi putut contamina acviferul superficial cu ape de la nivelul depozitelor daciene.

Trebuie, aşadar, admisă existenţa unei căi naturale, prin care acviferul profund, localizat în depozitele daciene, să comunice cu acviferul superficial deschis de puţul de la Cocioc. Doar pe o astfel de „conductă” ar putea sosi ape cu temperatură specifică unei adâncimi de cel puţin 1 000 m (precizăm că într-o sondă aflată la câţiva kilometri distanţă, pe malul lacului Snagov, s-au măsurat 46°C la 1 100 m adâncime – Mitrofan, Tudor, 1992). Şi din perspectiva caracterului hidrochimic, adâncimea de cca 1 000 m pare destul de probabilă: ea corespunde bazei secvenţei de roci detritice (colectoare) daciene (Paraschiv, 1975, 1979), care ar putea fi saturate cu ape de tip NaHCO_3 , spre deosebire de întreaga stivă sedimentară de dedesubtul lor, saturată exclusiv cu ape de tip NaCl (Bandrabur *et al.*, 1979).

Pe de altă parte, o adâncime de origine de cca 1 000 m ar presupune ca pe parcursul ascensiunii spre suprafaţă răcirea apei să fi fost neglijabilă, fapt ce ar implica o curgere foarte rapidă. Presupunând o ascensiune mai lentă – care ar determina o răcire mai accentuată – ar trebui să se admită şi o adâncime de origine corespunzător mai mare. În acelaşi timp, pare improbabil ca temperatura de origine a apei de la Cocioc să fi fost mai mare de cca 100°C, valoare indicată de cele mai credibile determinări de temperatură Na-K (cele pentru care MI are cele mai ridicate valori). Având în vedere că, tot în sonda sus-amintită de la Snagov, adâncimea la care s-a înregistrat o temperatură de aproape 100°C este de aproximativ 3 000 m (Mitrofan, Tudor, 1992) se poate presupune că aceasta este profunzimea maximă de unde ar putea proveni şi apa puţului de la Cocioc. În acest caz trebuie să se admită că apele cu caracter chimic cloro-sodic (NaCl), aflate la asemenea adâncimi mari, se amestecă, spre suprafaţă, cu cantităţi ridicate de ape de tip bicarbonat-calcic ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), pentru a rezulta apa de tip bicarbonat-sodic (NaHCO_3) întâlnită în puţul de la Cocioc.

Din ansamblul datelor prezentate reiese că este improbabil ca evoluţiile observate să fie datorate unor cauze antropice şi cu atât mai puţin unora hidrometeorologice. Ar putea fi însă invocate fluctuaţii ale presiunilor de strat, datorate unor deformări mecanice produse prin procese geodinamice. Dar şi în ceea ce priveşte regimul eforturilor tectonice din această zonă este dificil de formulat o concluzie (Radulian *et al.*, 2000), chiar dacă toate soluţiile de plan de falie disponibile pentru seismele locale concordă cu regimul extensional evidenţiat în cea mai mare parte a avansului Carpaţilor, numărul unor astfel de determinări rămâne totuşi scăzut. Pentru unul din seismele mai vechi ($M_w = 3,2$) s-a evidenţiat şi o importantă componentă de decroşare senestră, având planul nodal orientat $\text{N}30^\circ\text{V}$, paralel cu Falia Intramoiesică.

Nu poate fi, totuşi, exclusă existenţa în zonă a unei fracturi funcţionând în regim de „falie-valvă” (Sibson, 1992). În urma deformărilor crustale asociate evenimentelor seismice, se deschid în cadrul unei astfel de fracturi căi de comunicare pe verticală, care în perioadele aseismice se etanşează prin depunere de minerale. În acest fel ar fi posibil ca, episodic, în acviferul freatic deschis de puţul de la Cocioc să ajungă apă cu compoziţie chimică şi temperatură specifice unei adâncimi ridicate –

de cel puțin cca 1 000 m. Pe de altă parte, faptul că nu s-a înregistrat o extindere laterală importantă a anomaliei de temperatură (fig. 1) pare să arate că ascensiunea din profunzime a apei fierbinți are loc în principal doar printr-o „conductă” liniară, inclusă în planul fracturii, și nu pe o suprafață foarte mare a respectivului plan.

CONCLUZII

În zona Observatorului Geodinamic Căldărușani, pe traseul Faliei Intramoessice, a fost detectat un episod de creștere anomală (până la cca 40°C) a temperaturii apei dintr-un puț de mică adâncime (17 m).

Anomalia s-a manifestat în cursul unei secvențe seismice cu durată de peste 4 luni, în timpul căreia, pe sectorul românesc al Faliei Intramoessice, s-au înregistrat șase cutremure superficiale (focare plasate mai sus de 30 km adâncime), având epicentrele concentrate în apropierea zonei Căldărușani–Cocioc (10–60 km distanță orizontală de puț în cauză) și prezentând magnitudini (Mw) cuprinse între 2,4 și 2,9.

O posibilă explicație a anomaliei termice observate ar putea-o reprezenta existența unei fracturi funcționând în regim de „falie-valvă”, care în perioadele aseismice se etanșează prin depunere de minerale, dar în urma deformărilor crustale asociate evenimentelor seismice se „decolmatează”. În acest fel ar fi posibil ca, episodic, în acviferul freatic deschis de puț de la Cocioc să ajungă apă cu compoziție chimică și temperatură specifice unei adâncimi de cel puțin 1 000 m.

Primit în redacție: 24 ianuarie 2005

Acceptat pentru publicare: 14 aprilie 2005

BIBLIOGRAFIE

- ASTERIADIS, G., LIVIERATOS, E. (1989), *Pre-seismic responses of underground water level and temperature concerning a 4.8 magnitude earthquake in Greece on October 20, 1988*. Tectonophysics, **170**, 165–169.
- BANDRABUR, T., CRĂCIUN, P., PALADE, GH. (1979), *Particularités hydrogéologiques des structures aquifères mésozoïques et miocènes de la Plate-forme Moesienne (Roumanie)*, Hydrogeochemistry of mineralized waters. IAH Conference, Cieplce Spa, Poland, 75–82.
- GIGGENBACH, W.F. (1988), *Geothermal solute equilibria. Derivation of Na–K–Mg–Ca geothermometers*, Geochim. Cosmochim. Acta, **52**, 2749–2765.
- KITAGAWA, Y., KOIZUMI, N., TSUKUDA, T. (1996), *Comparison of postseismic groundwater temperature changes with earthquake-induced volumetric strain release: Yudani hot spring, Japan*, Geophys. Res. Lett., **23** (22), 3147–3150.
- MITROFAN, H., TUDOR, M. (1992), *Considérations sur le régime thermique du réservoir géothermal Malm-Barrémien de Bucarest*. Buletinul Asociației Hidrogeologilor din România, **1**, 25–29.
- PARASCHIV, D. (1975), *Geologia zăcămintelor de hidrocarburi din România*. St. tehn. econ., Inst. Geol. Geof., Seria A, **10**, 3–363.

- PARASCHIV, D. (1979), *Platforma Moesică și zăcămintele ei de hidrocarburi*. Ed. Acad. R.S.R., București, 195 p.
- QUATTROCCHI, F., FAVARA, R., CAPASSO, G., PIZZINO, L., BENCINI, R., CINTI, D., GALLI, G., GRASSA, F., FRANCOFONTE, S., VOLPICIELLI, G. (2003), *Thermal anomalies and fluid geochemistry framework in occurrence of the 2000–2001 Nizza Monferrate seismic sequence (northern Italy): Episodic changes in the fault zone heat flow or chemical mixing phenomena?* Natural Hazards and Earth System Sciences, **4**, 269–277.
- RADULIAN, M., MĂNDRESCU, N., PANZA, G.F., POPESCU, E., UTALE, A. (2000), *Characterization of Seismogenic Zones of Romania*. Pure Appl. Geophys., **157**, 55–77.
- SIBSON, R.H. (1992), *Implications of fault valve behavior for rupture nucleation and recurrence*. Tectonophysics, **170**, 283–293.

**PRELIMINARY NOTE ON SOME ANOMALOUS VARIATIONS
OF THE PHREATIC GROUNDWATER TEMPERATURE
IN THE NEIGHBORHOOD
OF CĂLDĂRUȘANI GEODYNAMIC OBSERVATORY**

DOREL ZUGRĂVESCU, HORIA MITROFAN, MIREL ENE

(ABSTRACT)

Groundwater in a shallow (17 m deep) well located close to the Moesian Fault alignment (in the neighborhood of Căldărușani Geodynamic Observatory) underwent episodes of anomalous heating (up to about 40°C). The thermal anomaly was contemporaneous with the seismic sequence (Mw ranging between 2.4 and 2.9) that occurred on the Moesian Fault between November 2002 – April 2003. Groundwater of the concerned well was of sodium-bicarbonate type – different from the calcium-bicarbonate type of all shallow groundwater wells in its neighborhood. Both the rise in temperature and the conspicuous chemical character suggest deep origin inflows (inferred to derive from a depth that should range between about 1 and 3 km below ground). Seismically triggered fault-valve behavior is assumed to be responsible for the recorded hydro-thermo-chemical anomaly.

Cuvinte cheie: cutremur, Falia Intramoesică, anomalie termică, geoindicatorii Na–K–Mg, falie-valvă.