

Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén

Geochemical fingerprints of climatic changes in Central and Eastern Hungary

FÜGEDI ÜBUL, SZURKOS GÁBOR és VERMES JÁNOS

Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

Tárgyszavak: arzén, dolomit, éghajlatváltozás, hideg éghajlat, ivóvíz, karbonátasványok, pleisztocén, redoxi-potenciál, talajvíz, vashidroxidok

Összefoglalás

Magyarország valamennyi településén sikerült a vezetékes ivóvíz arzén-koncentrációját 50 µg/l alá szorítani. A regionális dúsulás természetes eredetű: a pleisztocénben a Kárpát-medence egyfajta regionális geokémiai csapdaként működött, majd az éghajlat változásával ez a csapda „kinyílt”, és a benne zárt arzéntartalom felszabadult. A folyamat döntő tényezője a redoxi-viszonyok változása volt. A száraz és hideg éghajlat másik geokémiai következményként a szél dolomitport fújta a Dunántúli-középhegységből a Duna-Tisza közére. Ezért itt a szikesedést mészakumuláció kíséri, míg a Tiszántúlon, ahová a dolomitporból nem jutott, ez elmarad. A redukció még nem ért véget; a vizoldható arzén utánpótlása folyamatos.

Key words: arsenic, boreal environment, carbonates, climate change, dolomite, drinking water, Eh, ground water, iron hydroxides, Pleistocene

Abstract

The arsenic concentration of conduit water was successfully pressed down under 50 µg/l in every settlement of Hungary. The regional enrichment has a natural origin: in the Pleistocene the Carpathian Basin acted as a kind of a regional geochemical trap, then – with the changes in climate – this trap “opened” and the included arsenic content was discharged. A determinant factor of this process is the change in the redox conditions. Another geochemical consequence of the dry and cold climate is that wind blew dolomite dust from the Transdanubian Range to the Danube-Tisza Interfluve. Thus, here the salinisation is accompanied by lime accumulation, while in the Trans-Tisza area, to where no dolomite dust was transported, it does not occur.

Arzénes ivóvíz Magyarországon

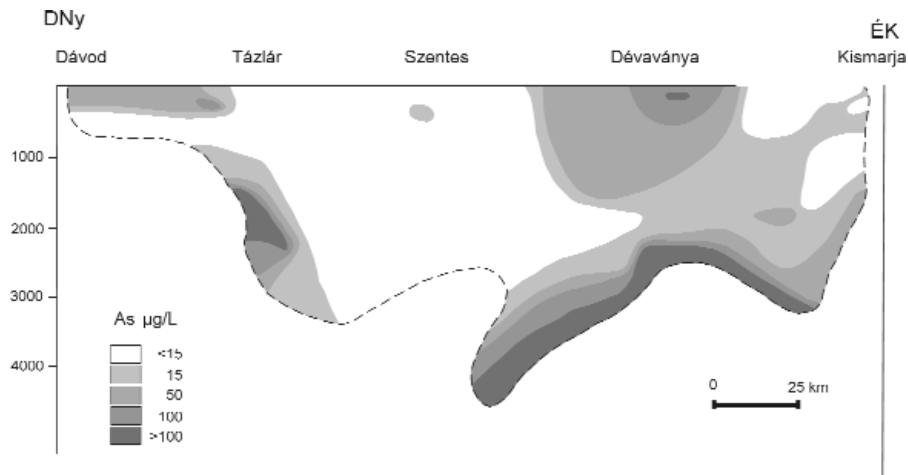
1981 áprilisában ismerték fel, hogy az ivóvízként hasznosított rétegvizek arzéntartalma Magyarország számos településén — főleg a Nagyalföld déli és keleti részén — az akkor érvényes egészségügyi határérték (50 µg/l) többszöröse is lehet. Mintegy 600 000 ember ivott ilyen vizet. Több évtized alatt részben arzénmentesítő eljárásokkal, részben az arzénmentes területekről csővezetéken szállított víz hozzákeverésével gyakorlatilag mindenütt sikerült az ivóvíz arzéntartalmát a magyar határérték alá csökkenteni. Időközben azonban beléptünk az Európai Unióba, és ezért az ivóvíz megengedhető arzéntartalmát kénytelenek vagyunk 10 µg/l-ben maximálni.

Ahhoz, hogy javíthassuk az arzénmentes vizek fel-tárásának és termelésbe vonásának esélyeit, alapvető az

arzéndúsulások genetikájának ismerete. A vizsgálatok igazolták ugyan, hogy a regionális dúsulás természetes eredetű; kialakulásának idejét és mechanizmusát azonban a témával foglalkozó szerzők rendkívül változatos módokon képzelték el.

A jelenséget először leíró közegészségügyi szakemberek (CSANÁDY et al. 1985) úgy vélték, hogy az arzén az Erdélyi-érchegység lepusztult és a medencébe hordott, érces kőzeteiből jut a vízbe, de nem találtak magyarázatot arra, miért van az, hogy egyes helyeken kioldódik, másutt viszont nem.

ERDÉLYI (1990, 1991) szerint az arzén fő forrásai a medence peremén és a Magyar-középhegységben több helyütt húzódó, szigetív típusú (eocén, illetve miocén korú) andezitek. Úgy vélte, minél több andezit volt a Pannon-medence egyes részmedencéinek lehordási terü-



1. ábra. A felszín alatt vizek arzéntartalma ($\mu\text{g/l}$) a Dávod-Kismarja szelvényben (TÓTH et al. 1985 után)

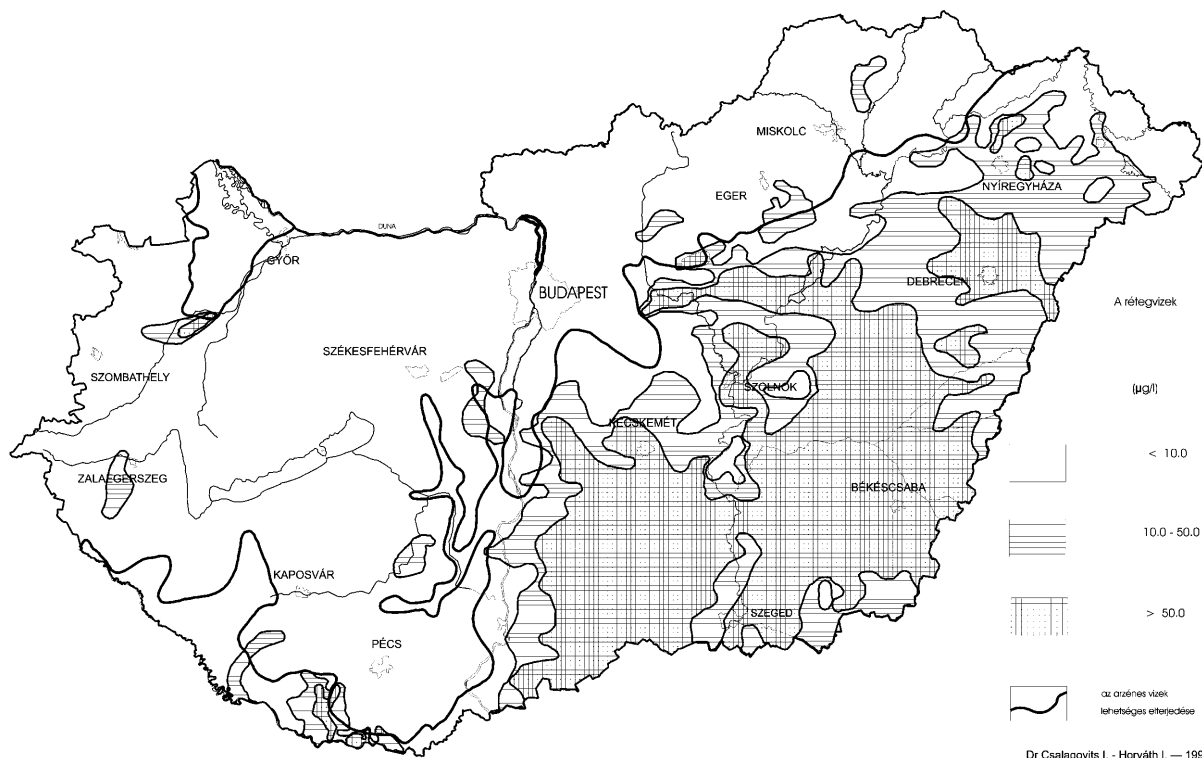
Figure 1. Arsenic content ($\mu\text{g/l}$) of artesian waters in the Dávod-Kismarja section of the Great Hungarian Plain (after TÓTH et al. 1985)

letein, annál több most ezen részmedencék rétegvizeiben az arzén. Ő is lehetségesnek tartotta, hogy az arzén egy részét az Erdélyi-érchegységben beszivárgó vízzel kerül a medencébe.

SZEDERKÉNYI (1990) a medencealjzat karbonátos kőzeteinek metamorfózisából származtatta a rétegvizek arzéntartalmát, és úgy vélte, hogy az a mélytörések mentén áramlik fel. A feláramlási hipotéziseket TÓTH et al. (1985) cáfolták meg, amikor kimutatták, hogy a fiatal üledékek

rétegvizeiben az arzén két szintben dúsul: egyrészt közvetlenül az aljzat fölött (ez lehet metamorfogén), másrészt a felszín közelében. A kettő között, közepes mélységben a víz (többnyire) gyakorlatilag arzénmentes (1. ábra).

CSALAGOVITS (1999) szerint az arzén a fiatal, holocén–pleisztocén folyóvízi üledékekben a vasoxi-hidroxidok felületén kötődött meg, és azért szabadul fel, mert ezek eltemetődve a talajvízszint alá, tehát redukzív körülmények közé kerültek. Felfigyelt a jégkorszaki üledékek és az



2. ábra. A vizsgált településeken mért legnagyobb arzéntartalom és az 50 m-nél vastagabb negyedidőszaki üledékek elterjedése (CSALAGOVITS 1996 után)

Figure 2. Pleistocene layer thickness and arsenic content of artesian waters (after CSALAGOVITS 1996)



3. ábra. Magyarország ártéri üledékeinek arzéntartalma (ÓDOR et al. 1998 után)
 Figure 3. Arsenic in the overbank sediments of Hungary (after ÓDOR et al. 1998)

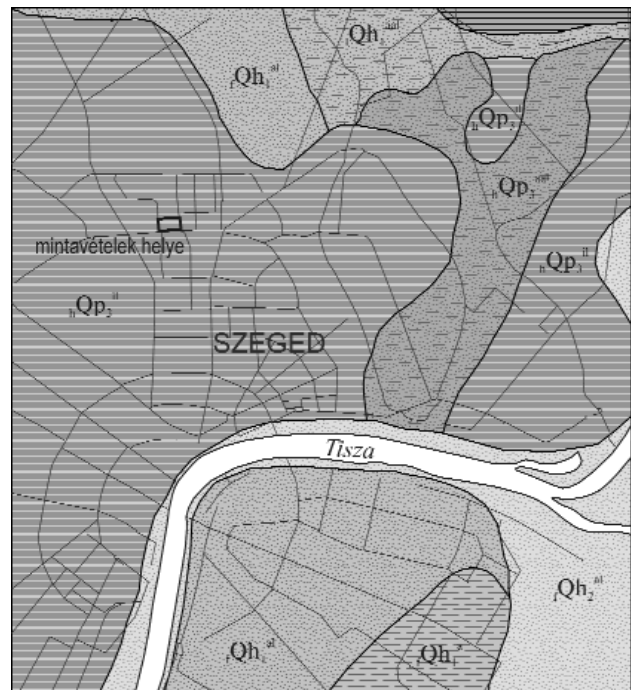
arzénos vizek elterjedésének kapcsolatára: utóbbiak zöm-mel ott várhatók, ahol a pleisztocén rétegek vastagsága 50 m-nél több (2. ábra).

VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS (2002) szerint az arzén fémorganikus komplexekben mobilizálódik. Kimutatták, hogy az arzén és a többi, vízben oldott komponens együttmozgásának nincsenek regionális, az egész medencére érvényes szabályai; az elemtársulás áramlási rendszerként más és más.

Ennek látványos példájaként a Gödöllői-dombság környékének pleisztocén üledékeiben a víz arzéntartalma normális (3. ábra). A domsorról lefolyó és a peremen beszivárgó többlet víz ezekből az üledékekből már kiöblítette az arzént. Hasonló, bár kisebb területű „kimosódásokat” más hegységperemeken is megfigyelhetünk.

Arzén a fiatal üledékekben

Magyarország geokémiai atlaszának (ÓDOR et al. 1997) összeállítása során figyeltünk fel arra a — CSALAGOVITS (1999) hipotézisét alátámasztó — jelenségre, hogy az arzén koncentrációja több száz km^2 -es, összefüggő területeken a talajban és a felszín közeli, laza üledékekben is jóval nagyobb az Európában szokásosnál — nem csak az értelepek környékén, hanem a medence kellős közepén is (3. ábra). Hasonló eredményekre jutottak a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani



4. ábra. A szegedi mintavételei terület

Qh_2^{al} = folyóvízi kőzetliszt, Qh^{al} = tavi agyagos kőzetliszt, Qh^a = öntésagyag,
 Qh_1^{al} = folyóvízi kőzetliszt, Qp_3^{al} = agyagos kőzetliszt (agyagos lősz),
 Qp^i = infúziós lősz

Figure 4. Area of investigations in Szeged

Qh_2^{al} = fluvial siltstone, Qh^{al} = lacustrine argillaceous siltstone, Qh^a = alluvial clay
 Qh_1^{al} = fluvial siltstone, Qp_3^{al} = argillaceous siltstone (argillaceous loess),
 Qp^i = infusion loess

Kutatóintézete (MTA Taki) és a Budapest Fővárosi Növényegészségügyi és Talajvédelmi Állomás (BFNTÁ) kutatói (NÉMETH et al. 1997, VÁRALLYAI et al. 2003) is. A felszíni dúsulások zöme a Duna–Tisza közének déli részén található. Ezek környezeti veszélyének megítéléséhez leginkább azt kell meghatároznunk, hogy az arzén mennyire mobilis a felszín közelében. Az analógia elve alapján ez a mélyebb helyzetű dúsulások kialakulásának tisztázását is elősegítheti.

Mintáinkat a dél-alföldi anomália peremén, Szegeden gyűjtöttük. A Makkosházi körülről északra a felszínen a Duna–Tisza közti hátságrol áthalmozott, fiatal folyóvízi üledékek települnek (4. ábra). Ezekből királyvízzel és salétromsavval is a beavatkozási határérték feletti arzénkoncentrációkat oldhatunk ki, desztillált vízzel azonban csak e mennyiségek töredéke mobilizálható (1. táblázat). A mintaterületen tehát az arzén a talajban és alatta is oxidált, ásványosan kötött állapotban van jelen: nem mozgékony, a környezetet nem veszélyezteti.

Meszes-dolomitos talajok Közép-Magyarországon

Magyarország geokémiai atlaszát (ÓDOR et al. 1998) végiglapozva láthatjuk, hogy az ország középső részének fő geokémiai jellegzetessége nem az arzén felhalmozódása, hanem a talajok nagy mésztartalma. Ez a jelenség kiválóan látszik a talajvédelmi információs monitoring (TIM) rendszer elemzéseiből is (NÉMETH et al. 1997). A „meszes” talajok (2. geokémiai nagytáj) elterjedése Komáromtól Szegedig folyamatos. E tojásdad alakzat (5. ábra),

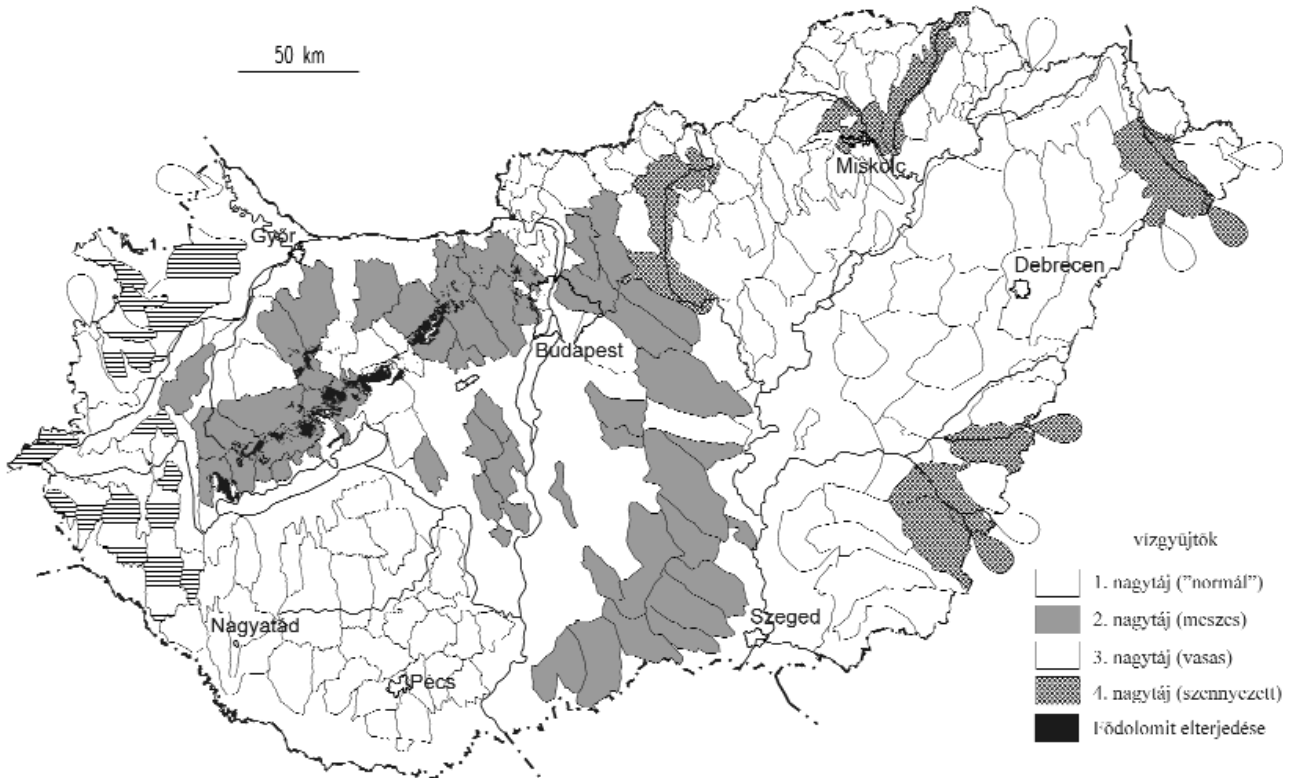
hossztengelye gyanúsán közel áll az uralkodó, északnyugati szélirányéhoz. A felszín közeli, laza üledékekre jellemző, hogy erőteljesen felhalmozódik a kationok közül a Ca (vele a Sr) és a Mg (vele a Ba) — az anionok közül pedig a karbonát (vele a szulfát és a foszfát). Ezekből a talajokból minden más ion kiszorul; mikrotápelem-ellátottságuk kirívóan rossz.

A Duna–Tisza közti homoktípusokat a különböző szerzők más és más földtani folyamatokból származtatják: volt, aki egykor erre kanyargott Duna-ágak allúvi-umából, és volt, aki eolikus úton. Ez utóbbi nézet szerint a Duna mostani völgyében lerakott ártéri üledéket kapta fel és fújta ide a szél. Látszólag mindkét elmélet adós marad a mészanyag eredetének magyarázatával, holott többen (KREYBIG 1944, PÉCSI 1967, 1969) felhívták a figyelmet arra, hogy a Duna üledékeiben rendszeresen találunk karbonátszemcséket, a Tiszáéban viszont nem. MOLNÁR (1980) megállapította, hogy a Duna–Tisza közén nem csak a homokban, de a löszben is sok (nem ritkán 20–30%) a karbonátásvány. Ennek forrásaként (az áthalmozó mechanizmus tisztázása nélkül) a dunai homokban rendszeresen előforduló mészkő- és dolomitkavicsokat, valamint ősmaradványokat (Nummulites, Foraminifera) jelölte meg — e homokok karbonáttartalma azonban mindössze 5–10%. KUTI et al. (2003) egyértelművé tette, hogy a Duna–Tisza közti hátságon a szikesedést — a talajvíz ingadozási zónájában — kísérő mészakkumulációhoz szükséges kalcium és a magnézium törmelékes mész- és dolomitszemcsékből oldódik ki. Mind a kalcit, mind a dolomit kristályos; a szemcsék a felszíni viszonyok között korrodálódnak (KUTI et al. 1999). A Tiszántúlon, ahol nem találunk törmelékes kar-

1. táblázat. Az arzén koncentrációja a szegedi terület talaj és talajvíz mintáiban

Table 1. As concentration of the soil and groundwater samples at the investigated site, Szeged

Talajminta – Soil sample			
Száma, mélysége <i>Number and depth</i>	2. F, 2,0–2,5 m		3. F, 2,0–2,5 m
As-koncentráció, királyvizes kioldás <i>As concentration, dissolution by nitrohydrochloric acid</i>	55 mg/kg		55 mg/kg
Ellenőrző mintavétel: száma, mélysége <i>Number and depth of controll sample</i>	2/AF, 2,0–2,5 m		3/AF, 2,0–2,5 m
As-koncentráció, salétromsavas kioldás <i>As concentration, dissolution by nitric acid</i>	16,4 mg/kg		27,7 mg/kg
As-koncentráció, 1:10 deszt. vizes kioldás <i>As concentration, dissolution by 1:10 distilled water</i>	<0,01		<0,01
As	„B”	15 mg/kg	15 mg/kg
	„C1”	20 mg/kg	20 mg/kg
	„C2”	40 mg/kg	40 mg/kg
Talajvízminta – Groundwater sample			
Száma <i>Number</i>	1. F	3. F	5. F
As-koncentráció <i>As concentration</i>	0,004 mg/l	0,0035 mg/l	0,0035 mg/l
As háttérkoncentráció értéke <i>Value of As background concentration</i>	„A”	0,005 mg/l	0,005 mg/l



5. ábra. Magyarország geokémiai nagytájai és a földolomit elterjedése

Figure 5. Geochemical provinces of Hungary and the spreading area of the Hauptdolomit

1 – province ("normal"), 2 – province ("carbonatic"), 3 – province ("ironic"), 4 – province ("polluted"), Black rectangle: spreading area of the Hauptdolomit

bonátszemcséket, a szikesedést nem kíséri mészakumuláció (KUTI et al. 2002) — az arzénos rétegvizek azonban mindkét, geokémiailag oly különbözőnek tűnő környezetben előfordulnak.

A Dunántúli-középhegység tekintélyes részét felépítő felső-triász földolomit felszíni elterjedése (5. ábra) jó közelítéssel megegyezik a meszes talajok krumpliformájának kistengelyével. E kőzet fő jellemzője, hogy egyes változatai porlanak: a dolomitkristályokat cementáló kalcit viszonylag könnyen mállik, a kőzet maradéka pedig murvává, majd porrá esik szét. E folyamat a pleisztocénban erősödött fel, és fő oka a fagy volt (SCHEUER 1969). Az eljegesedések idején növénytakaró (és ezzel talaj) hiányában a dolomitport könnyedén elhordta a szél, és az belekeveredett az ülepedő löszbe, illetve homokba. A melegebb időszakokban (mint például most) a növényzet és a finomabb törmelék lemosó csapadék az efféle kipurzást teljesen meggátolja.

A hideg, száraz éghajlat különlegessége, hogy a felszín közelében együtt fordulhat elő a szélhordta karbonátos és a helyben képződő limonitos fázis: nincs elég víz a karbonátásványok beoldásához. Jelen éghajlati viszonyaink mellett, mint ezt a Bodroglközben vizsgálódva (BARTHA et al. 1987) megállapítottuk, a háromfázisú zónában e két fázis legfeljebb váltakozva jelenhet meg: a homokosabb rétegekben, ahol a szemcsék kiszáradnak, a vashidroxidok, a finomabb szemű üledékekben pedig,

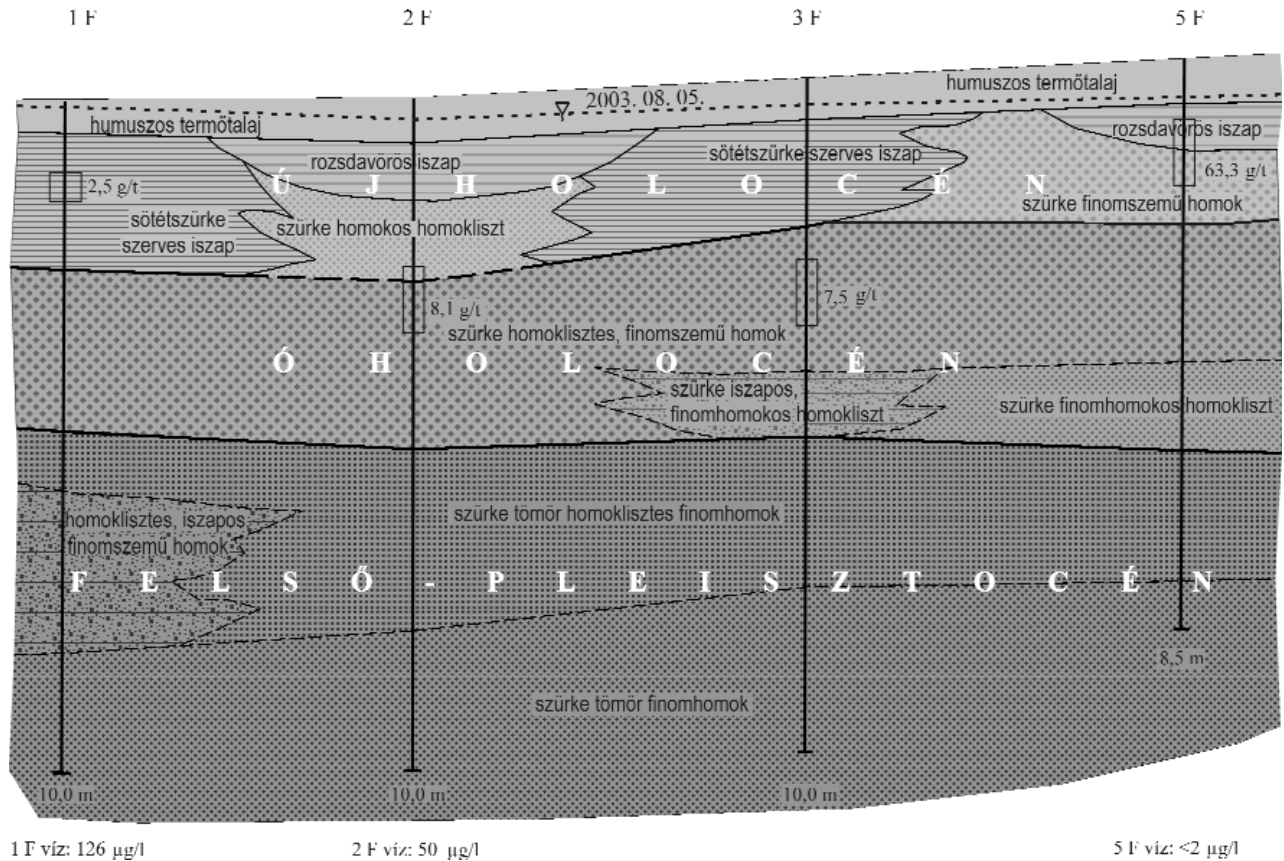
ahol a kapilláris víz redukív környezetet teremt, a karbonátásványok válhatnak ki.

Éghajlat és Eh

Az arzén szempontjából az eljegesedés geokémiai jelentősége a redoxi-állapot drasztikus átalakítása. A glaciális időszakokban a víz általában fagyott. Csökken a növényzet, és a biológiai rováására tért nyer a fizikai mállás, amit felerősít a fázisállapot gyakori változása. A jégkristályok között a pórusokban mindenhol találunk levegőt. Mivel a gyéresebb növényzet miatt a szerves anyag is kevesebb, a közeg egyértelműen oxidatív.

A változó vegyértékű elemek oxidált állapotukban jóval kevésbé mobilisak, mint redukált alakban. Közülük a leggyakoribb, a vas (vele a mangán és a kobalt) ilyenkor kicsapódik, és az oxi-hidroxidokon — mint ezt CSALAGOVITS (1994) megállapította — megkötődnek, apránként felhalmozódnak az As(V)-ionok.

A homokos üledékekben a talajvíz szintje fölötti, háromfázisú zónában az így lekötött arzén a felmelegedés után is megőrződhet, mint ezt Magyarország geokémiai atlaszának arzéntérképén láthatjuk. Ez az állapot lehetővé teszi számunkra, hogy a jelenkori, a redoxi-viszonyokat megváltoztató folyamatokból következtethessünk a mélyebb szinteken végbement átalakulásokra. A redukív



6. ábra. A nagyatádi mintaterület földtani szelvénye

Figure 6. Geological-geochemical cross-section of the Nagyatád investigation area

környezet kialakulásának hatásait Nagyatád környékén vizsgáltuk.

50 µg/l fölött van, ahol már minden szürke, ott 2 µg/l alatt.

Felszínközeli redukció napjainkban

A Rinya vízgyűjtőjén az arzén háttérkoncentrációja 30 g/t. A mélyebb helyzetű laposok gyakorta elmocsarasodnak. Így, ha feltételezésünk igaz, az egykor volt oxidatív állapot nyomait őrző (vörös színű) rétegekben a háttérnél több, a redukált (szürke) üledékekben annál kevesebb arzént kell találnunk. Szelvényünkben (6. ábra) az iszap egykori, vörös színét már csak kisebb lencsék őrzik, a rétegsor uralkodóan szürke. Ahogy az üledék kifakul, úgy tűnik el belőle az arzén: a vörös lencsében 50 g/t fölött, a szürke iszapokban 10 g/t alatt fordul elő. A redukció jelentősen befolyásolja a talajvíz összetételét is; ahol a rétegsorban van még vörös üledék (tehát nem minden arzén oldódott ki), a talajvíz arzéntartalma

Éghajlatváltozások geokémiai nyomai

Megállapíthatjuk, hogy az éghajlat változása lényegesen befolyásolja a földtani folyamatokat. A mérsékelt éghajlat felmelegedésének fő hatása a talajvíz savasodása; ennek eredményeként képződik a terra rossa, laterit, bauxit stb. A száraz hideg viszont nem annyira a pH-t, mint inkább a redoxi-viszonyokat tolja el, és a felszín közelében erősen oxidatív körülményeket alakít ki. Újabb felmelegedés hatására a kicsapódott oxo-hidroxidok lebomlanak, a rajtuk megkötött elemek mobilizálódnak. A száraz hidegben stabil karbonátszemcsék kioldódnak, és anyaguk zömmel a talajvíz ingadozási zónájába halmozódik át.

Irodalom — References

- BARTHA A., FÜGEDI P. U., KUTI L. 1987: Fiatal, laza üledékek mikrotápelem vizsgálata a Bodrogtóközben. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1985. évről*, pp. 165–186.
- CSALAGOVITS, I. 1999: Arsenic-bearing artesian waters of Hungary. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1992–1993/II.* pp. 85–92.
- CSANÁDY M., BOZSAI G., DEÁK ZS. 1985: Arzén előfordulása alföldi rétegvizekben. — *Egészségtudomány* 29, pp. 240–249.
- ERDÉLYI M. 1990: A tiszántúli arzénos rétegvíz hidrogeológiája. In: Szederkényi T. (red.) 1990: Az arzéntartalom származása és alakulásának kérdései Békés megye vízmű kútjaiban. — *Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának Kiadványai*, Szeged, pp. 71–86.
- ERDÉLYI M. 1991: A tiszántúli arzénos rétegvíz hidrogeológiája. — *Földrajzi Értesítő* 1991 (3–4): 231–251.
- KREYBIG L. 1944: Magyar tájak talajismereti és termelési technikai leírása. — I. rész, A Tiszántúl. 221 p.
- KUTI L., GEREI L., ZENTAY T., VATAI J. 1999: Az ásványi összetétel szerepe a bugaci és fülöpi mintaterületek homoktalajaiban. — *Agrokémia és talajtan* 45 (1999), No. 3–4, pp. 249–259.
- KUTI L., ZENTAY T., KERÉK B. 2002: A bugaci és a fülöpi mintaterület felszinközeli üledékeinek kalcium-karbonát tartalma. — *MÁFI ÉJ 1997–1998-ról* (2002), pp. 107–117.
- KUTI L., TÓTH T., KALMÁR J., KOVÁCS-PÁLFFY P. 2003: Szikes talajok ásványi összetétele és recens ásványképződés Apajpusztán és Zabszék térségében. — *Agrokémia és talajtan* 52 (2003) 3–4, pp. 275–292.
- MOLNÁR B. 1980: Hiperszalin tavi dolomitképződés a Duna–Tisza közén. — *Földtani Közöny* 110, pp. 45–64.
- NÉMETH T., SZABÓ J., PÁSZTOR L., BAKACSI ZS., ÓDOR L., HORVÁTH I., FÜGEDI U. MARTH P., SZALAI L.: A magyarországi talajok alapterheltségi szintjének leírása, a talajok környezeti hátterértékeinek (az emberi tevékenységekkel közvetlenül nem érintett talajok minőségi értékeinek) megadása. — *Kézirat*, Budapest, 1997. 46 p. <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/annotaciok/csop2/nemeth.htm>
- ÓDOR, L., HORVÁTH, I., FÜGEDI, U. 1997: Low-density geochemical mapping in Hungary. — *Journal of Geochemical Exploration* 60 (1997), pp. 55–66.
- ÓDOR L., HORVÁTH I., FÜGEDI U. 1998: Magyarország geokémiai atlasza. — <http://www.mafi.hu/microsites/geokem/Fomenu.htm>
- PÉCSI M. (szerk.) 1967: *A Dunai Alföld*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 218.
- PÉCSI M. (szerk.) 1969: *A Tiszai Alföld*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 248.
- SCHUEER GY. 1969: Talajfagyjelenségek dolomitfelszíneken. — *Földrajzi Értesítő* 18 (2), pp. 177–191.
- SZEDERKÉNYI T. 1990: A DK-tiszántúli rétegvizek arzéntartalmának mélységi (medencealjzati) eredetéről. — In: Szederkényi T. (red.) 1990: Az arzéntartalom származása és alakulásának kérdései Békés megye vízmű kútjaiban. *Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának Kiadványai*, Szeged.
- TÓTH GY., EGERER F., NAMESÁNSZKY K. 1985: Magyarország Vízgeokémiai Atlasza. (Hydrogeochemical Atlas of Hungary.) M=1:1 000 000. — MÁFI kiadvány. *Kézirat*.
- VÁRALLYAI L., KOVÁCS B., PROKISCH J., SZEGVÁRI I. 2003: TIM minták vizsgálata statisztikai módszerekkel. — <http://www.date.hu/acta-agraria/2003-10/varallyai.pdf>
- VARSÁNYI, I., Ó. KOVÁCS, L. 2002: Factors influencing the As content of subsurface water in the Pannonian Basin, Hungary. — In: BOCANEGRA, E., MARTÍNEZ, D., MASSONE, H. (eds.): *Proc. Groundwater and Human Development Congress 2002, mar del Plata, Argentina*, pp. 1533–1541. CD-ROM, ISBN 987-544-063-9.