



XI. KÁRPÁT-MEDENCEI KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KONFERENCIA

Tanulmánykötet

2015. május 6-9. Pécs



Szerkesztette:

Csicsek Gábor

Kiss Ibolya

ISBN 978-963-642-873-0

Kiadó: Szentágothai János Szakkollégium
dr. Hatvani Zsolt

Nyomda: B-Group Kft.
Felelős vezető: Borbély Zsolt

Toxikus és esszenciális mikroelemek háttér értéktartományai

FÜGEDI UBUL, TOLMÁCS DANIELLA,
BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet,
1143 Budapest Stefánia út 14.,
fugedi.ubul@mfgi.hu, tolmacs.daniella@mfgi.hu, szeiler.rita@mfgi.hu

Background Levels of Toxic and Essential Elements in the Geochemical Regions of Hungary

Abstract

The area of Hungary is geochemically heterogeneous: the four geochemical regions were formed by superficial processes (erosion-accumulation, wind) during the Pleistocene. The factor, which determines the composition of stream sediments and soils the most, is the grain size: the finer-grained soil-forming sediments contain more clay minerals than the coarser-grained sands, in which, however, the quartz content is higher. Thus, with the exception of silicon, finer-grained sediments contain more of every element. The so-called main geochemical region of Hungary comprises those parts of the country, where this tendency is not oppressed by any specific process. Specific processes are responsible for the birth of the other three geochemical regions.

1. Among others, the rivers of West Hungary deposited also the weathered material of the basic and ultrabasic rocks of the Eastern Alps, thus here the quantity of the iron and its accompanying elements is higher.
 2. In the middle part of the country the wind blew the dust of the carbonate rocks of the Transdanubian Mountains into the fluvial and eolian sediments; the material of the carbonate crystals are reaccumulated in the carbonate accumulation horizons of the groundwater fluctuation zone, by this, displacing other nutrient elements.
 3. On the floodplains of rivers originating from the heavy mineral industry centres and mining areas of Transylvania and Slovakia the main and accompanying elements of the medium and low temperature hydrothermal mineralisation are accumulated.
- As a consequence of the above described reasons, no unique background levels can be determined for the area of Hungary: a concentration value that is anomalously large in one geochemical region might be totally common in another.

Keywords

soil-forming sediments, geochemical anomalies, carbonatization, minor elements, background level

Áttekintő geokémiai felvételek Magyarországon

Magyarországon a területi geokémiai felvételek fő célja a kezdetektől (Kubovics, 1956) több mint harminc éven át az érckutatás volt, a szilárd minták vizsgálatának módszere pedig — Gedeon Arzén mátrai munkái (Gedeon, 1964) kivételével — a

teljes elemtartalom meghatározását célzó optikai emissziós szinképelemzés (OES); többnyire talajmintákból. A környezetileg releváns elemek mozgékony mennyiségeit csak egyes agrogeológiai mintaterületeken határozták meg — először az 1980-as évek közepén, a Bodroghözben (Bartha et al., 1987). Az első, négy elemre (Ag, As, Sb, Au) használható eredményeket adó, egy teljes középtájat lefedő geokémiai felvétel a Zempléni-hegység kutatása volt 1989-ben (Hartikainen et al., 1992). Az egyes részterületek jellemzésére leginkább alkalmas mintavételi közegnek a mederüledék finom frakciója (stream sediment) bizonyult. Ezért az országos geokémiai felvételek (Magyarország geokémiai atlasza: Ódor et al., 1996; hegy- és dombvidékek: Fügedi et al., 2007) tervezésénél a nagy vízgyűjtőket ártéri-, a kisebbeket mederüledékekkel jellemeztük.

Eközben a Magyar Állami Földtani Intézet az 1980-as évek végén bekapcsolódott az európai országok földtani szervezeteinek együttműködésébe (akkor még WEGS, később FOREGS, jelenleg EuroGeoSurveys). Itt Európa Geokémiai Atlaszának tervezéséhez már a mi tapasztalatainkat is felhasználták. Az atlaszban (Salminen et al., 2005) az ártéri- és mederüledékek ($< 100 \text{ km}^2$ — mederüledék, $> 100 \text{ km}^2$ — ártéri) mellett talaj-, humusz- és felszíni vízvizsgálatok is szerepelnek. A FOREGS atlasz eredményei sajátjainkkal jól integrálhatóknak bizonyultak.

Már első összehasonlításokból (Ódor et al., 1997) kiderült, hogy Magyarország területe geokémiailag heterogén. A regionális különbségek okainak tisztázása, az anomális értékek ellenőrzése érdekében számos részterületet, illetve vízfolyást sűrítve újramintáztunk (Marth et al., 1998; Fügedi et al., 2010 stb.). Ezek egyes eredményei még publikálatlanok. A Zempléni-hegység magraktárban őrzött mederüledék-mintáit 2013-ban újraelemeztettük, egyúttal kiegészítő mintákat gyűjtöttünk.

Az így kiegészített adatbázisból szerkesztjük Magyarország geokémiai atlaszának új változatát, aminek monoelemes térképei mostanra készültek el.

Mintatípusok, mintavételi közegek

Mind az országos, mind a hegy- és dombvidéki felvételnél törekedtünk arra, hogy a mintázott vízgyűjtők — az ún. cellák — mérete hasonló legyen: az ártéri üledékekkel jellemzett celláké kb. 300 km^2 , a mederüledékekkel jellemzetteké kb. 4 km^2 . Azokon a helyeken (alapvetően az egyes tájegységek peremein) ahol csak kisebb vízgyűjtőket tudtunk kijelölni, az ezek kifolyási pontjairól gyűjtött minták anyagát a vizsgálat előtt összekevertük, így ún. összetett mintákat hoztunk létre.

Európa geokémiai atlaszában jól láthatjuk, hogy a meder- és ártéri üledékek koncentrációi között nincs szisztematikus különbség. Alap adatbázisunkban ezek együtt szerepelnek, de ettől a minták vízgyűjtő területei roppant változatos méretűek lettek. A változékonyság homogenitását szűrővel biztosítjuk: az országos atlasz új térkép-sorozatához igyekeztünk a legalább 100 km^2 -es vízgyűjtőjű mintákat leválogatni (a területi lefedettség javítása érdekében néhány, kisebb engedménnyel). Az országos adatbázis összeállításához használt felvételeket a beválogatott minták számával az 1. táblázatban összesítettük.

Épp így, mind a Zempléni-hegység felvétele (Hartikainen et al., 1992), mind Európa geokémiai atlasza (Salminen et al., 2005) igazolta, hogy a talaj- és a különféle horda-

lékminták várható értékei között sincs szisztematikus különbség. Jelentősen különbözik viszont ezek változékonysága: a talajmintáké jóval nagyobb, mint a mederüledéké, ezeké pedig nagyobb, mint az ártériké.

1. táblázat. Az országos adatbázis forrásai

Felvétel, a mintavétel ideje (publikáció, illetve jelentés)	Mintázott közeg	Mintasza am atlaszban	Mintasza am analízisben
M.o. g/k atlasza, 1991–1993 (Ódor et al., 1997)	ártéri üledék	178	183
FOREGS, Európa geokémiai atlasza, 1997–2001 (Salminen et al., 2005)	ártéri üledék + mederüledék	14 + 10	28
hiánypótló, 2014 (Török et al., 2015)	mederüledék	43	111
Sajó–Hernád, 1998 (Marth et al., 1998)	ártéri üledék	6	—
Zemplén, 1989, 2013 (Török & Fügedi, 2014)	mederüledék	22	217
Zagyva, 2010 (publikálatlan)	ártéri üledék	34	40
Gyöngyös-p., 2007 (Boros, 2008)	ártéri üledék	3	—
Hegy- és dombvidéki, 1994–2006 (Fügedi et al., 2007)	mederüledék	4	1433

A teljes változékonyság összetevői között meg kell különböztetnünk a regionális és lokális jellegűeket. Amint ezt Peh & Miko (2001) kimutatta, a törmelékesen áthalmozódó elemek koncentrációi az egyes közettípusokat harántoló mederhosszakkal arányosak, az oldatban mozgó elemek mennyiségei pedig a képződmények területi elterjedésével. Mindkét esetre igaz azonban, hogy minél nagyobb a vízgyűjtő, annál kisebb a hordalék regionális (kőzettani eredetű) és annál nagyobb a lokális változékonysága. Fentiekből következően a talajminták természetes koncentrációi hordalék mintákkal csak félig-meddig becsülhetők: a várható értékek jól, de a talajminták koncentrációinak természetes ingadozása az így megadhatónál lényegesen nagyobb.

A mederüledék minták változékonyságának lényeges tényezője az időjárás. Csapadékos időszakban, amikor a folyók, patakok megáradnak, mederüledék egyáltalán nem gyűjthető, mert a számunkra érdekes frakciókat a víz ilyenkor lebegtetve szállítja. Az apadó vízből először a legdurvább szemcsék ülepednek ki, majd az egyre finomabbak. Áradás után a mederüledék gradált, méghozzá úgy, hogy a finom frakciók mindeképpen bekerülnek a mintába, a mélyebben lerakódott durvábbak (a közéjük keveredett nehézsúlyúakkal) viszont csak esetlegesen, a meder morfológiájától és a mintavétel egyéb körülményeitől függően. Középvíznél a folyamatosan változó sodrás az üledéket átforgatja, ezért a „normál” mederüledék rosszul osztályozott, a sodrás árnyékaiban megbúvó torlatos zsebekkel.

Analitikai módszerek

A hordalékot szobahőmérsékleten szárítottuk, majd törés nélkül, szárazon szitáltuk (eleinte 0,125, majd 0,063 mm lyukbőségű teflon szitán). Az áthullott anyagot

golyósmalomban átforgatva homogenizáltuk, ezután vettük ki belőle a feltárandó mennyiséget. A minták maradékát légmentesen zárt műanyag flakonokban őrizzük.

Az atlasz első változatának (Ódor et al., 1997) minden mintáját két laboratóriumban elemezték: MÁFI (forró királyvizes feltárás), BFNTÁ ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2\text{-HClO}_4$ feltárás) — a Hg, As, Sb-t atomabszorpciósan, a többi ICP-OES-sel. A két laboratórium eredményei jól egyeztek, összevonhatónak bizonyultak.

A további mintákat már csak a MÁFI laboratóriumában vizsgálták; több változás után az 1990-es évek közepétől hideg királyvizes feltárás után, ICP-OES-sel.

Az adatok statisztikai feldolgozása és térképi ábrázolása

Előkészítő műveletként a kimutatási határ alatti elemzések negatív számértékeit pozitív számokkal, ún. „szakértői becsléssel” helyettesítettük. A „negatív” elemzések várható értékének becsléséhez a hisztogramokat használtuk, illetve azon elemeknél, amelyek kimutatási határa időközben javult, az „eredeti” kimutatási határ alatti értékek számarányait.

Háttér

A háttér mibenléte, heterogenitása és meghatározása, a háttér és az anomáliák különválasztása a geokémia örök alapproblémái közé tartozik. A háttér az EU-s és így a magyar jog is különböző megfogalmazásokban a szabályozni kívánt komponens valamiféle „természetes” (ember által nem befolyásolt) koncentrációjának tekinti, aminek meghatározására olykor meglehetősen változatos statisztikai módszereket (Reimann et al., 2005), máskor (mint a magyar jogban is) úgynevezett szakértői becsléseket alkalmaznak. Saját tapasztalataink (Fügedi, 2004) szerint a háttér meghatározásának leghatékonyabb módszere az ún. korrelálatlan háttér leválogatása. Olyankor, amikor ez nem lehetséges (pl. az elemzések és elemlistáik heterogenitása miatt), a háttér az anomáliáktól a hisztogramok gyakorisági minimumaiban választjuk el.

Sokáig tartotta magát az a nézet, hogy a főalkotók többé-kevésbé normál, a nyomelemek viszont lognormál eloszlásúak. A kizárólag szimmetrikus és pozitív ferdeségű eloszlásokból álló rendszer logikai képtelenségének (pl. ha egy kétkomponensű rendszerben az egyik alkotó eloszlása pozitív ferdeségű, a másiknak negatívnak kell lennie) feloldására, a probléma elkenésére olyan, romantikus elgondolásokat vezettek be, mint hogy „sok lognormál eloszlás összege normál eloszlású” — valójában ilyenkor az összegzett eloszlások várható értékeinek eloszlása lehet normális. A ferde eloszlások okait Szmírnov et al. (1979) tisztázták, kimutatva, hogy az elemzési eredmények eloszlásai mindig a földtani eloszlások és a „laboratóriumi eloszlás”, azaz az analitikában használt műszer mérési hibaeloszlásának eredői, márpedig minden szinképanalitikai módszer véletlen hibája lognormál eloszlású. Azokban az esetekben,

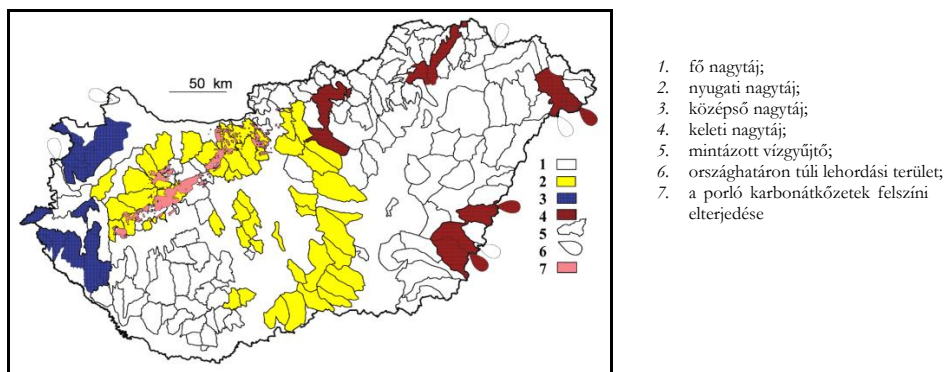
- amikor a földtani eloszlás változékonysága lényegesen nagyobb az elemzés hibájánál, az eredményekben (kevésbé torzítva) azt látjuk viszont,
- amikor pedig az elemzés hibája jóval nagyobb a földtani változékonyságnál, az eredmények eloszlása (jóformán) lognormális,

- a köztes esetekben, amikor a kétféle hiba nagyságrendileg összevethető, szabálytalan, kevert eloszlásokkal kell megküzdünk.

Típusosan ilyenek (a felsorolt négy elem kivételével) a mi elemzéseink, amelyek közül a kedvezőtlen kimutatósi határúakat a kis koncentrációk tartományában még a kimutatósi határ közelében törvényszerűen jelentkező metrikus hiba is terheli. Az aszimmetrikus jelleg másik oka a háttér heterogenitása. Általános tapasztalatunk, hogy normál eloszlás egyáltalán nincs; a szimmetrikust is csak a Fe, a Ba, a Co és a Zn hisztogramja közelíti — ha elhagyjuk a kiugró értékeket és figyelembe vesszük a háttér heterogenitását, tehát azt, hogy Magyarország geokémiai nagytájain ezen elemek várható értékei nem csekély mértékben különböznek.

Főkomponens és faktor

Azt, hogy a földtanban kivételesen ritkák a Gauss-típusú eloszlások, tehát a parametrikus statisztikák (pl. átlag, szórás) közvetlenül nem alkalmazhatók, már Steiner (1990) kimutatta. A háttér heterogenitását a vizsgálat léptékétől függően más és más tényezők okozzák (Fügedi et al., 2006). A statisztikai hatékonyság javítása érdekében a várható értékek becsléseiként a mediánokat fogadjuk el (Steiner, 1997), a háttérrel többféle módszer összevetésével választjuk el az anomáliáktól (Fügedi, 2004). Az adott léptékben releváns földtani hatásokat, eltérő specifikációjú területeket rangkorrelációkon alapuló főkomponens-, illetve faktoranalízissel különítjük el (Fügedi et al., 2012).



1. ábra. Magyarország geokémiai nagytájai
(Ódor et al., 1997 nyomán, javításokkal és kiegészítésekkel)

Sajnálatos, de természetes, hogy az integrált, eredetileg eltérő célokat szolgáló geokémiai felvételek elemkészlete is eltérő, ezért a közös adatbázisba összevont minták közös faktoranalízisére nincs lehetőség. Az egyes felvételek külön-külön faktorolhatók, és ezek az analízisek egymáshoz rendkívül hasonló eredményeket adnak (Török et al., 2015) — értelemszerűen az eltérő elemkészletből adódó különbségekkel. Közös térképi ábrázolásukat még nem sikerült megoldanunk, ezért a nagytájakat még az atlasz első változatának térképével mutatjuk be (1. ábra)

A többdimenziós módszerekkel végzett statisztikai feldolgozást a földtani folyamatok speciális jellege teszi szükségessé. Az értelmezés elvi alapja az, hogy minden folyamat valamiféle egyensúlyi állapot kialakítására törekszik, de mivel a földtani folyamatok egyrészt rendkívül lassúak, másrészt a mintázott közegre egy időben több folyamat is hat, ezt az egyensúlyt gyakorlatilag soha, egyetlen folyamat sem éri el. Minden folyamat a rá jellemző elemeket mozgatja meg, némely folyamatok elemcsoportjai között azonban jelentősek lehetnek az átfedések. Tapasztalataink szerint az egyes faktorok, főkomponensek jól megfeleltethetők az adott kutatásban releváns földtani folyamatoknak, súlyaik (a teljes változékonyság velük magyarázható részei) azonban nemcsak tényleges földtani szerepüktől függenek, hanem a vizsgált elemek listájától is.

A többdimenziós statisztikai módszereket Gauss-típusú változók vizsgálatára dolgozták ki — a főkomponens- és faktoranalízist eredetileg az intelligenciahányadosok elemzésére (Gould, 2000). Az eloszlások normálistól eltérő jellege az eredményeket előre beláthatatlan módon befolyásolja. E torzítások egy része csökkenthető az eloszlások uniformizálásával. A rangsorolás például minden, viszonylag kevés kötést tartalmazó eloszlást egyenletessé alakít, de nem teljesen szünteti meg a hibákat, ráadásul az azonos értékek új problémákat okoznak (Fügedi, 1999). A látszólagos eredmények (a gép mindig számol valamit) ellenőrzésére két módszer kínálkozik:

1. részpopulációk leválogatása, külön-külön ellenőrzése és az eredmények egybevetése;
2. különböző mintavételi közegek eredményeinek összehasonlítása.

A részpopulációk az 1. táblázatban láthatók, az ellenőrző közeg pedig a talaj volt. Erre az ellenőrzésre a GEMAS összeurópai programjában (Reimann et al., 2014) nyílt lehetőségünk. A két vizsgálatosor eredményei jól egyeznek (Fügedi et al., in press).

Megjelenítés

Amint az 1. ábrán is látható, az atlasz első változatában minden mintához vízgyűjtő területet rendeltünk, és eredményeket mozaiktérképeken jelenítettük meg. Mivel hazánk alapvetően alvízi ország, a befolyó vizek mellől az országhatárhoz közel gyűjtött minták (külföldi) vízgyűjtő területeit nem valós helyzetükkel mutattuk be, hanem egy-egy cseppecskével szimbolizáltuk. Ez a megoldás félrevezetően mutatta be a nagyobb, gátak közé szorított folyók ártereit: úgy, mintha azok hordalékai valamilyen, a közvetlen környezetükben elterülő vízgyűjtőről, és nem a felső folyásukról lehordott anyag többszöri áthalmazásából származnának.

Az atlasz új változatában az ilyen minták elemtartalmait egy harmadik típusú jellel szalagosan ábrázoljuk — a szalag az elemzett mintától folyásirányban fölfelé a következő mintáig tart.

Az érvényes jogban (6/2009.) „toxikusnak” minősített elemek: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Ba, Hg, Pb, Ag. Ezek közül ón-elemzéseink nincsenek és Hg-meghatározásunk sincs elég. A többi 13 „toxikus” elem ábrázolásánál arra törekedtünk, hogy a környezetjogi szempontból „normális” értéktartományt (amiben a koncentrációk még nem érik el az előírt határértéket, de az adott elem mennyisége a

legtöbb növény fejlődéséhez elegendő) a sárga színnel jelenítsük meg. Az ez alatti (zölddel jelölt) koncentrációsávban a lokális változékonyság miatt már feltételezhető, hogy az adott elemből helyenként túl kevés van; a fölötté lévő (narancsszínnel jelölt) foltok egyes részein pedig a határérték fölötti mennyiségben fordulhat elő. A kék foltok területének több mint felén hiánytünetek alakulhatnak ki, a pirosak területének több mint felén pedig a határérték fölötti koncentrációkra számíthatunk. A lila foltok a kiugró koncentrációkat jelzik. Emiatt az egyes térképek színösszeállításra rendkívül különböző lett: van közöttük csaknem egyszínű kék (az itt be sem mutatott kobalté) és van szélsőségesen tarka (például az arzéné).

Eredmények

Faktorváltozók és elemcsoportok

A hordalékok (meder- és ártéri üledékek) elemtartalmait a leginkább üledékföldtani jellegük (szemcseösszetételük) határozza meg. Minden feldolgozásban az ezt leíró faktor a legjelentősebb. Ennek elemösszetétele rendkívül sajátos: benne a szilícium kivételével gyakorlatilag minden elem pozitívan korrelál egymással — és negatívan a szilíciummal (valamint a szelénnel?). E faktor súlya értelemszerűen a több önálló, egymástól diszkréten elkülönülő populációból álló, 2014-es mintacsomagban a legkisebb (16,4 %) és Európa geokémiai atlaszában homogén módon tervezett és rövid idő alatt, egy száraz periódusban begyűjtött mintákban a legnagyobb (52,4 %) — e két szélső esettől eltekintve 21–31 % közötti. Ez a szedimentológiai hatás minden vízfolyásban, minden geokémiai nagytájon érvényesül; lényege, hogy a mikroelemeket koncentráló fázisok (agyagásványok, szerves anyag) finomszeműek, a mállás végtermékében, a kvarchomokban viszont mozgékony elemek gyakorlatilag nem maradnak.

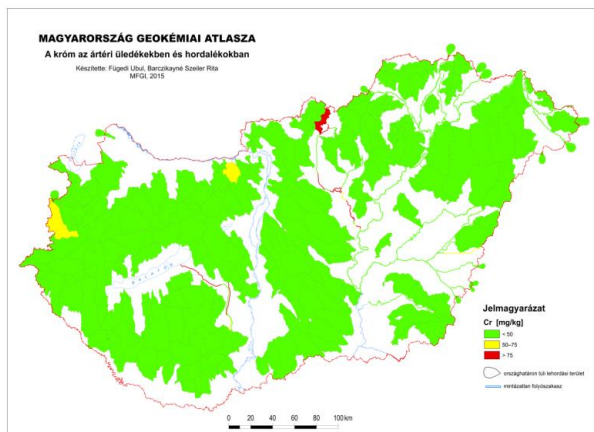
A geokémiai nagytájakat is a faktoranalízis alapján jelöltük ki, méghozzá azért, mert egyes elemek az ország egyes, mások más részein halmozódnak fel: Magyarország területe geokémiaiilag nem egységes. A fontosabb (a második–negyedik faktorban szereplő) elemcsoportok:

1. Ca-Mg-Sr — súlya 10–20 %;
2. Fe-Mn-Co-Cr-V-As (Ni) — súlya 8–22 %;
3. Ag-Au-Cu-Pb-Cd (Zn, Ni) — súlya 8–16 %.

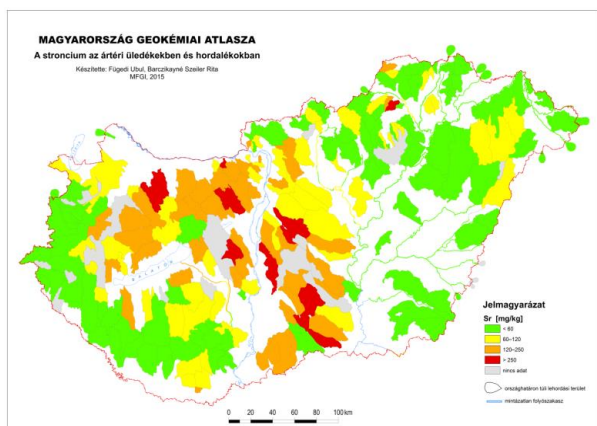
Az első, a legerőteljesebb természeti hatásokat leíró faktorokban a torzítások hatása értelemszerűen csekély; ahogy azonban a faktorok sajátértékei csökkennek, bennük a földtani valóság helyett egyre inkább „a számok játéka” jut szerephez. Jól mutatja ezt, hogy azokban a feldolgozásokban, amelyek elemistájában a molibdén és a szelén is szerepel, az ötödik faktor általában ezek látszólagos együttmozgását írja le — valójában arról van szó, hogy mindkét elemből sok a kimutatási határ alatti eredmény (azonos érték): ez a faktor nem földtani folyamatot jelez, hanem a már említett kötési torzítást. Az ötödik faktortól az eredmények nem használhatók.

A Ca-Mg-Sr felhalmozódási területe hazánk középső geokémiai nagytája, a Fe-Mn-Co-Cr-V-As (Ni) csoporté a nyugati és az Ag-Au-Cu-Pb-Cd (Zn, Ni) csoporté a keleti nagytáj. Ezeken a nagytájakon a rájuk jellemző faktorváltozó értéke konzekvensen > 1 , a többié pedig < 1 (általában negatív).

Ezek mellett a monoelemes térképeken további jellemző tendenciákat is felfedezhetünk, így például a Zagyva árterén a salgótarjáni kohászati salakjaival áthalmazott feketefémek halmozódnak fel (2. ábra). Az ilyen típusú hatók azonban csak regionális-lokális analízisekben kerülhetnek az első négy faktorba; országos jelentőségük nincs.

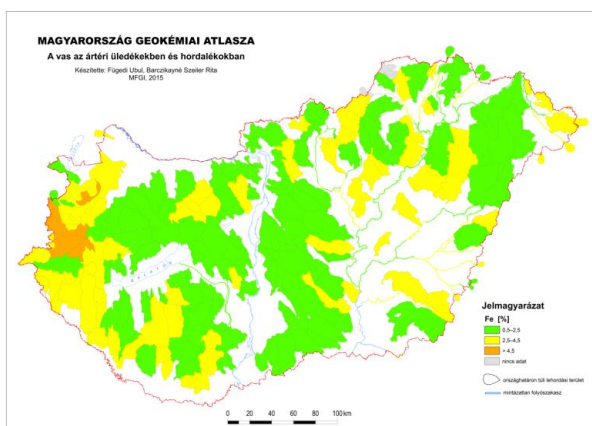


2. ábra. Cr (mg/kg) az ártéri- és mederüledékekben

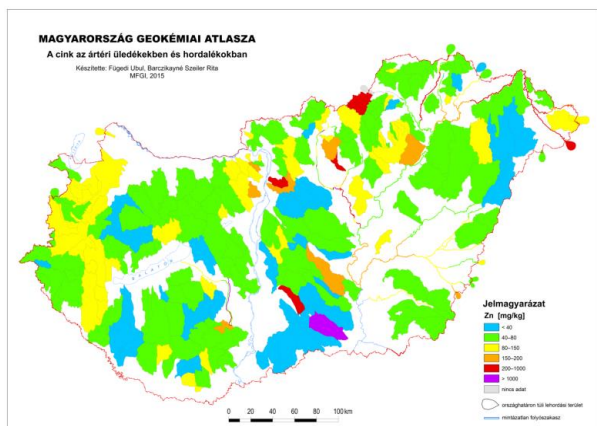


3. ábra. Sr (mg/kg) az ártéri- és mederüledékekben

2. Fe-Mn-Co-Cr-V-As (Ni) kationcsoport nagy koncentrációi zömmel a nyugati határszélhez közel (a nyugati nagytájon) fordulnak elő (4. ábra).



4. ábra. Fe (%) az ártéri- és mederüledékekben



5. ábra. Zn (mg/kg) az ártéri- és mederüledékekben

A jogilag toxikus elemek háttérértékei

A 6/2009. együttes rendeletben toxikusnak minősített elemeket, szennyezettségi határértékeiket és a hordalékmintákból meghatározható tényleges háttér értéktartományaikat a 2. táblázatban összesítettük.

2. táblázat: A jogilag toxikus elemek határ- és háttérértékei (mg/kg) Magyarországon

X	klark*	háttér -tól	háttér -ig	B	BB
Cr	140**	2,7	50	75	200
Co	30	1	33	30	100
Ni	90	2	80	40	400
Cu	68	3,8	250	75	300
Zn	79	10	250	200	2000
As	2,1	< 1	60	15	60
Se	0,05	< 0,2	3	1	10 ¹ /20 ²
Mo	0,11	< 1	2,5	7	?
Cd	0,15	< 0,2	1	1	?
Ba	340	15	200	250	400
Pb	10	< 1	60	100	200
Ag	0,08	< 0,2	1,5***	2	5

— átlagos koncentráció (teljes elemtartalom!) a kontinentális kéregben (Webelements, 2015) ;
 ** — általában a földkéregben 350 mg/kg (ISTH, 2015);
 *** — a keleti nagytájon 3 mg/kg;
 B — szennyezettségi határérték (6/2009);
 BB — javasolt új határérték;
 1 — meszes talajokban;
 2 — savanyú talajokban;
 ? — adathiány miatt nem értékelhető.

Következtetések

Az elemek át- és felhalmozódásának törvényszerűségei

Ahhoz, hogy a hordalékban valamely elemből sokat találjunk, két feltétel együttesére van szükség: ellátásra és geokémiai csapdára. Az ellátás a vízgyűjtő terület jellegétől függ (földtani felépítés, szennyező források, területhasználat stb.), a geokémiai csapda pedig ebben az értelemben az elemkoncentrátor fázisok kiülepedéséhez kedvező morfológiai feltételeket jelent. Ezt a második feltételt fejezi ki az első faktor, ami éppen ezért általános érvényű. A lehordási területek különbségeit a 2–4. faktorok jelenítik meg; éppen ezért ezek jelölik ki a geokémiai nagytájakat.

Tematikus vizsgálatokkal tisztáztuk, hogy geokémiai nagytájainkat a pleisztocénben alakították ki a felszíni folyamatok (az erózió-akkumuláció és a szél).

1. A Ca-Mg-Sr kationcsoport (a CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} anionokkal) a karbonátasványok elemeit fogja össze. Amint ezt Kuti et al. (1997) mikroszkópos vizsgálatokkal megállapították, a Kárpát-medence középső részén az üledékekben kétfajta karbonátot találunk: kristályos, korrodálódó kalcit- és dolomitszemcséket leginkább a felszínhez közel és amorf (kolloid, illetve mikrokristályos) mész-, illetve dolomitkiválásokat a talajvíz ingadozási zónájában (beleértve a szikes tavak fenekét is). Csillag et al. (2010) kimutatták, hogy a pleisztocénban erőteljes volt a Dunántúli-középhegység felső triász karbonátos kőzeteinek deflációja. A főleg a földolomit, diploporás dolomit és dachsteini mészkő porló változataiból kifújtt, kristályos karbonátasványokat a szél a fluvialis és eolikus (lössz, kisebb részt futóhomok) üledékekbe keverve rakta le. Ennek megfelelően a közép-magyarországi talajmeszesedés területe olyan tojásra emlékeztet, amelynek kistengelyében ezeket a lepusztuló kőzetekeket találjuk, nagytengelye pedig az uralkodó szélirányban nyúlik. A karbonát-kristályok anyagát a leszálló csapadékvíz oldja ki, és a mész a talajvíz ingadozási zónájában halmozódik fel. A szemcseközi pórusokat apránként kitöltő karbonátasványok a talajképző üledékből kizsorítanak minden más tápelemet: a középső nagytáj meszes homoktalajai súlyosan nyomelemhiányosak (lásd ebben a kötetben Tolmács et al.).

2. A Fe-Mn-Co-Cr-V-As (Ni) csoportba a feketefémek (a vas és rokonai) tartoznak, valamint az arzén. Együttes megjelenésük szépen példázza, hogy az elemcsoportok kialakításában egyszerre vesznek részt a lepusztulási és az akkumulatív területek viszonyai. A feketefémek közös jellemzője, hogy a bázikus magmatitokban sokkal több van belőlük, mint az intermedierekben vagy pláne a savanyúakban — arzénből viszont ez utóbbiakban van több. Az, hogy a feketefémek nagyobb mennyiségben Nyugat-Magyarországon fordulnak elő, annak köszönhető, hogy a folyóvizeink vízgyűjtő területei közül a Keleti Alpokban fordulnak elő nagyobb mennyiségben bázikus-ultrabázikus magmatitok. Az viszont, hogy az arzén velük együtt jelenik meg, már felhalmozódásuk sajátosságainak eredménye.

A csoport fő eleme, a vas két-, illetve három vegyértékű kation. Redukált állapotában (ferrovas) többnyire jól oldódik, ferrivassá oxidálódva azonban vasoxi-hidroxidok formájában kicsapódik a talaj-, illetve felszíni vizekből. A mangán és a kobalt a vashoz hasonlóan változó vegyértékű, ennek megfelelően oxi-hidroxidjaik a vassal közösek (a króm Cr^{VI} -tá oxidálódásához szélsőséges viszonyok kellenek). A ferrivas vegyületei élénkvörösek (oxid), illetve sárgák (hidroxid). Közös csapadékuk a limonit (köznelvi nevén: rozsdá), aminek ásványtani összetétele térben és időben egyaránt gyorsan változik: szárazabb időszakokban inkább oxidos, a nedvesebbekben hidroxidos, hosszas elöntés hatására részlegesen redukálódik, a vasbaktériumok viszont oxidálják (Kercsmár & Thiele, 2015). A biogén oxidáció eredményeként keletkező, alapvetően nagyon rosszul kristályosodó ferrihidritnek hatalmas a fajlagos felülete — Rzepa Bajda & Ratajczak (2009) szerint elérheti a 100–200 m²/g-ot. Ez nemcsak a rokon kationok kiválását könnyíti meg, de az alkáli földfémekét, valamint az arsenát és vanadát anionokét is. A feketefémek ezután beépülnek a limonit kristályrácsába

(rajtuk kívül a Fe^{2+} anion részleges helyettesítésére a Zn is képes). A feketefémek és az arzén együttes felhalmozódása tehát oxidatív környezetet jelez.

E csoport érdekessége, hogy fő eleme, a vas kevésbé karakteresen jelenik meg benne, mint kísérői — a vas ugyanis számos más formában (vascsillámok, vasfoszfátok, szerves vasvegyületek stb. — Győri, 1984) is felhalmozódhat a talajban, kísérő elemei azonban ha egyszer beépültek a limonitba, ott is maradnak, amíg az teljesen el nem bomlik.

3. Az előző pontban leírthoz hasonló kettősséget jelez az Ag-Au-Cu-Pb-Cd (Zn, Ni) elemtársulás: ennek elemei a nikkell kivételével az intermedier magmatizmus alacsony-, illetve középhőmérsékletű hidrotermáiból kiváló nemes-, illetve színesfémek, a nikkell viszont tipikus feketefém. Többségi jellegüknek megfelelően nagy koncentrációkat az Erdély és a Felvidék bányavidékei felől beömlő folyóink árterein, a nem összefüggő területű keleti nagytájon találjuk elő (5. ábra). Hasonlóan befolyásolják a hordalékok összetételét egyes nehézipari központjaink (Kazincbarcika, Ózd, Gyöngyösoroszi).

A nikkell és a csoport többi elemének rokonságát is az ülepedés körülményei teremtik meg — a nikkell ugyanis a csoport többi, két vegyértékű kationjához hasonlóan előszeretettel alkot szerves vegyületeket — sok élőlény számára esszenciális, biogén felhalmozódása a humuszos talajszintben erőteljes.

Az egyes geokémiai nagytájak drasztikusan különböző elemspecifikációjából következően Magyarország területére egységes háttér értéktartományok nem adhatók meg: ami az egyik nagytájon anomálishan nagy koncentráció, egy másikon teljesen közönséges lehet.

Javaslat a szennyezettségi határértékek módosítására

A környezetvédelmi jog a talajokban a megengedhető „teljes” elemtartalmat szabályozza, de anélkül, hogy meghatározná, mit is tekint annak. Grammatikailag a „teljes” elemtartalom az adott közegben előforduló „teljes” mennyiség, függetlenül az adott komponens megjelenési formájától — ezt szabályozni azonban helytelen lenne, mert a hipergén körülmények között teljesen immobilis elemtartalmakat is magában foglalja. Éppen ezért a környezetvédelemmel foglalkozó szakemberek egyfajta hallgatólagos konszenzussal a tömény ásványi savakkal kivonatolható mennyiségeket fogadják el „teljes” koncentrációknak. A kétféle „teljes” az esetek többségében nem különbözik jelentősen: a savas kivonatoló szerek jóformán csak a közetalkotó ásványok kristályrácsában lekötött elemtartalmakat nem mobilizálják. A két kivétel a króm és a bárium: előbbi főleg a spinellidekben, utóbbi a baritban fordul elő. E két elem „grammatikailag teljes” mennyisége akár a „környezet-földtanilag teljes” mennyiség többszöröse is lehet. E dolgozatban nem lépünk ki a konszenzusból, és (teljes) elemtartalom alatt mindvégig a savoldható mennyiségeket értjük.

Az iménti kitérőt azért ítéltük szükségesnek, mert a mostanra összegyűlt adattömegből egyértelmű, hogy szinte valamennyi, jogilag toxikusnak minősített elem savoldható koncentrációinak háttere is messze túlterjed az együttes rendeletben (6/2009) megszabott határértékeken. Éppen ezért a határértékek rendszerének teljes

revízióját tartjuk szükségesnek. Ezt elemenként indokoljuk. Az indoklás helytállóságának megítéléséhez mindenképp célszerű figyelembe venni azt a tényt, hogy a talaj összetételének természetes változékonysága a hordalékmintákénál lényegesen nagyobb — éppen ez a tény teszi a hordalékokat nagyobb területek jellemzésére alkalmas közegekké.

1. A magyar jogban a **króm** szennyezettségi határértéke 75 mg/kg — ez a kontinentális kéreg szokásos krómtartalmának a fele(!). Mintáinkban koncentrációinak mintegy 90 %-a 2,7 és 50 mg/kg közötti; legnagyobb kiugró értéke 1247 mg/kg. Az országos térképen minden, a „B” értéknél nagyobb koncentrációja humán eredetű: kommunális (Sió, Sárvíz) vagy nehézipari (Zagyva) — környezeti szempontból azonban ezek jelentéktelenek. Mivel bár kis területeken, de Magyarországon is előfordulnak bázikus, illetve ultrabázikus kőzetek (Horváth & Ódor, 1984), célszerűnek tűnik szennyezettségi határértékét 200 mg/kg-ra emelni.

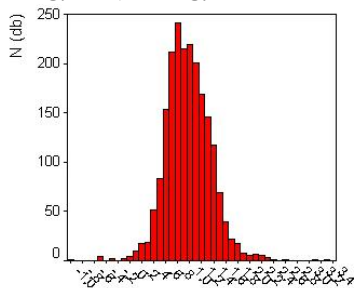
2. A **kobalt** fontos esszenciális elem. Túlzottan felszaporodva — miként minden más anyag — toxikussá válik, de egészségügyi problémákat csak a táplálékkal bevitt, illetve porral belélegzett kobalt okozhat (Takács, 2001) — a talaj túl nagy kobalttartalma miatti egészségkárosodásokról nem tudunk. Magyarországon a szennyezettségi (felső) határértéke — egyfajta jogi abszurdként — 30 mg/kg: annyi, mint a földkéreg átlaga. Korábban a „B” érték a szintén képtelenül kis 50 mg/kg volt, de ezt 2009-ben még csökkentették is! Biológiai jelentőségét és eloszlási képét együtt figyelembe véve célszerűnek tűnik a „B” szennyezettségi határértéket 100 mg/kg-ra növelni.

3. A **nikkel** átlagos gyakorisága a felső kéregben 90 mg/kg (Webelements, 2015). A heveny Ni-mérgezés ritka, csak ipari üzemekben fordul elő. A hosszas Ni-terhelés ártalmas, egyebek közt rákkeltő, ezért a különböző közegekben megengedhető mennyiségeit rendszerint szabályozzák. A magyarországi talajokban szennyezettségi határértéke 40 mg/kg — mint láthatjuk, ez a földkéregben szokásos mennyiségének kevesebb, mint a fele.

A sok nikkelt tartalmazó kőzetek málladékból ugyan oldatba, illetve a hordalékba kerül, de gyors megkötődése miatt a talajokban szokásos mennyisége többnyire rendkívül széles tartományban (3–1000 mg/kg) változik (Takács, 2001). A Keleti Alpok bázikus-ultrabázikus magmatitjaiból a vízrendszerbe kerülő nikkel tehát még Ausztriában kiülepszik, így a Ni nyugati nagytájunkon a többi feketefémnél kevésbé halmozódik fel. Éppen ezért mintáinkban értéktartománya rendkívül szűk, eloszlási görbéje közel szimmetrikus. Koncentrációi a kiugró értékek kivételével a < 80 mg/kg tartományban (jóval a felső kéreg átlaga alatt) maradnak, és legnagyobb dúsulása is éppen csak a kontinentális kéreg átlagának négyszerese. A korábban említettekkel összhangban 40 mg/kg fölötti koncentrációi kétféle helyzetben fordulnak elő: a nyugati geokémiai nagytájon és a Zagyvában. A talajokra előírt 40 mg/kg-os határértéket semmi: se földtani, se egészségügy megfontolás nem indokolja, és nem indokolhatja. A lokálisan hazánkban is előforduló ultrabázitok miatt a határérték legalább 200, de inkább 400 mg/kg-ra emelése ajánlatos.

4. A **réz** az ókor óta ismert és bányászott színesfém. A magmás kőzetek közül a legtöbb rézet a bázikus összetételűek tartalmazzák, de érceit jellemzően (mint például Recsken) az andezit-vulkanizmust lezáró utóvulkáni folyamatok alakítják ki. Átlagos

gyakorisága a felső kéregben 68 mg/kg (Webelements, 2015). Szennyezettségi határértéke a magyar jogban (6/2009) csaknem ugyanennyi: 75 mg/kg — annak ellenére, hogy talajok nagy réztartalma okozta egészségkárosodásról nincs magyar adat.



6. ábra. Réz a hordalékokban és ártéri üledékekben

Mintáinkban a réz eloszlása közel lognormális (6. ábra). Anomáliái jellemzően a keleti nagytájon, a belföldi színesércbányák (Recsk–Parád, Gyöngyös-oroszi) és nehézipari központok (Budapest, Salgótarján) alatt tűnnek fel; a szőlészet hatása ebben a lépésben nem látható. Biológiai fontosságát is figyelembe véve célszerűnek tűnik a talajok réztartalmának szennyezettségi határértékét 300 mg/kg-ra (a felső kéreg átlagának 3,5-szeresére) emelni.

5. A **cink** a leggyakoribb színesfém; átlagos gyakorisága a felső kéregben 79 mg/kg (Webelements, 2015). Szennyezetlen, természetes talajokban szokásos mennyisége 10–300 mg/kg (Takács, 2001). Napi 0,5–1 g cink bevitelét az emberi szervezet még zökkenőmentesen elviseli; a fölös mennyiség mintegy $\frac{3}{4}$ -e a széklettel, $\frac{1}{4}$ -e a vizelettel ürül ki. E fölött toxikussá válik, de ilyesmi a gyakorlatban jóformán csak a forró cink fémvel dolgozó munkások (színesfémkohászok, hegesztők stb.) között fordul elő — és még ez esetekben sem megnyugtatóan tisztázott, hogy maga a cink szaporodik-e toxikussá, vagy a vele törvényszerűen társuló kadmium koncentrációja éri-e el a kritikus mennyiséget.

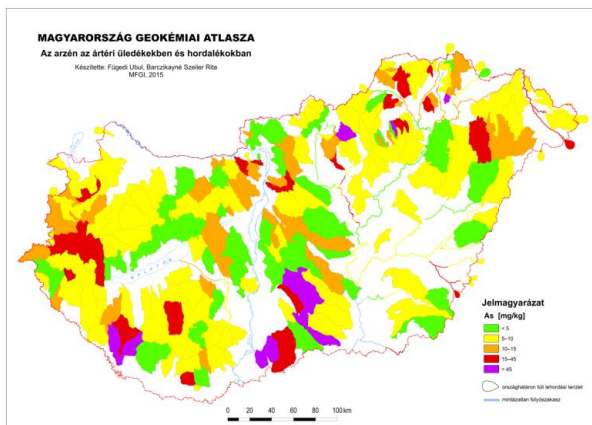
Magyarországi talajokban (6/2009) szennyezettségi határértéke 200 mg/kg. Mintáinkban eloszlása a többi színesfémétől eltérően csaknem szimmetrikus, de hosszú, a pozitív értékek felé elhúzódozó „farokkal”. Ez a háttér heterogenitásának következménye. A nagy koncentrációk tartományában második gyakorisági maximum azért nem látszik, mert a keleti geokémiai nagytájról kevés mintánk van, és azok koncentrációi széles tartományban szóródnak attól függően, hogy az ártereken az erdélyi bányameddő milyen arányban keveredik a természetes hordalékkal. Változatos felhasználási módjai okán nagy koncentrációi szórványosan bárhol feltűnhetnek, jellemzően azonban háromféle környezetben fordulnak elő:

- a keleti nagytájon;
- a Mátra alatti vízfolyásokban;
- Budapest környékén.

Rendkívül pozitív élettani szerepe miatt célszerűnek tűnik határértékét legalább 2000 mg/kg-ra növelni.

6. Mivel Magyarország legismertebb földtani eredetű környezeti problémájának okozója az **arzén** (7. ábra), viselkedése hazai viszonyaink között részletesen tanulmányozott. Forrásait és szállítását részletesen ismerteti Varsányi és Ó. Kovács (2005), felszíni felhalmozódását Csalagovits (1999), élettani kockázatait Csanády et al. (1985). Hasonképpen kötetekre rúg a Bangladesbhen, hasonló földtani körülmények között kialakult, ugyancsak artézi víz okozta arzénmérgezések irodalma.

Mintáinkban az arzén eloszlása majdnem pontosan lognormális; csak a kimutatási határ okozta negatív és az anomális pozitív kilógó értékek miatt tűnik annál csúcsosabbnak. A koncentráció-logaritmuskok hisztogramján 60 mg/kg-nál feltűnő anomália-küszöb fölött 23 minta van:



7. ábra. As (mg/kg) az ártéri- és mederüledékekben

- 3 az országos felvétel egyik, még ellenőrzésre váró eredményeként hazánk déli határai mentén látszó arzénfelhalmozódásból;
- 2 a Ny-Mátra teléres polimetallikus ércesedésének alacsony hőmérsékletű szegélyzónájából (Asztagkő–Üstőkő: Csongrádi, 1984);
- 17 a Zempléni-hegység alacsony hőmérsékletű, hidrotermális nemesfém-ércesedését jelzi,
- és mindössze egy (a Déli-Bükkben) tisztázatlan helyzetű (közelében két, ugyan-csak tisztázatlanul anomális ezüstkonzentrációval).

Ebből megállapíthatjuk, hogy szinte valamennyi, erősen anomális arzénkoncentráció egyértelműen természetes eredetű.

Az arzén szennyezettségi határértéke (6/2009) 15 mg/kg; ez a realitástól teljesen elrugaskodott, elfogadhatatlanul kis érték. Amint azt már Csalagovits (1999) megállapította, a Kárpát-medence arid éghajlatú részeinek felszíni-felszínközeli üledékeiben a jégkorszak óta folyamatosan halmozódik fel az arzén. Mi sem jelzi ezt jobban, mint hogy az integrált adatbázisban szereplő 2049 értékünk közül 198 (csaknem 10 %) 15 mg/kg-nál nagyobb. Rendkívül célszerű volna a szennyezettségi határértéket legalább a hordalékok anomáliaküszöbére, 60 mg/kg-ra emelni.

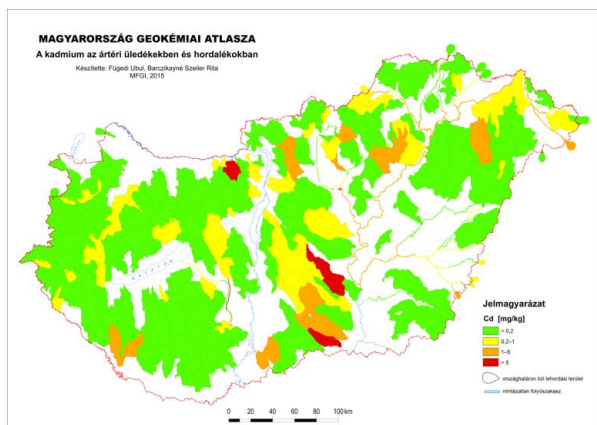
7. A **szelén** átlagos koncentrációja a felső kéregben 0,05 mg/kg (Webelements, 2015). Anionképző; a lúgos talajokban vízzoldható szelenát-; a savanyúakban a vas- és alumínium-oxi-hidroxidokhoz kötött, nagyon kevésbé mozgékony szelenit ionként van jelen. Ebből adódóan a lúgos talajok nagyjából 0,005, a savanyúak azonban már hozzávetőleg 2 mg/kg Se-tartalom alatt szelénhiányosak (Takács, 2001). Ezt a hazai szabályozás (6/2009) egyáltalán nem veszi figyelembe, és a szelénre, mint toxikus elemre 1 mg/kg szennyezettségi(!) határértéket állapít meg.

Már meglevő, kevés elemzésünk közül is egyértelmű, hogy hazánk nagy része szelénhiányos; a jelenlegi jogi szabályozás a maga sajátos eszközeivel ezt a deficitet még fokozná is. Célszerűnek tűnik a talajok szeléntartalmára kétféle „B” szennyezettségi határértéket bevezetni: külön a meszes (min. 5 % karbonáttartalmú) és külön a sava-

nyú talajokra — előbbiekben legalább 10 mg/kg, utóbbiakban legalább 20 mg/kg indokolt.

8. A **molibdén** az arzénhez és a vanádiumhoz hasonlóan anionképző; a talajban főleg molibdenát (MoO_4^{2-}) formában van jelen. Ez a foszfáthoz hasonlóan a talaj adszorpciós komplexumán kötődik meg. Felvehetőségét a talaj mésztartalmának növelése javítja. A magyar jogban (6/2009) szennyezettségi határértéke 7 mg/kg. A hordalékmintákban eloszlása szélsőségesen aszimmetrikus kevés nagy és nagyon sok < 0,6 mg/kg értékkel. 2,5 mg/kg fölötti koncentrációk a Sárvíz vízgyűjtőjén jelennek meg, szépen jelezve a Velencei dombság molibdenites ásványosodásának szóródási udvarát.

9. A **kadmium** (8. ábra) a természeti rendszerekben kizárólag a cinkkel fordul elő. Éppen ez toxicitásának alapja: elfoglalja a valamennyi élőlényben alapvető enzimaktivátor cink helyét, de ezekben a vegyületekben többnyire nem látja el a cink funkcióit (Takács, 2001). Mintáinkban a kadmium az egyik olyan elem, amelynek hisztogramját határozott gyakorisági minimumok tagolják. A kedvezőtlen kimutatási határból adódó metrikus hibákat is figyelembe véve háttérének felső határa kb.

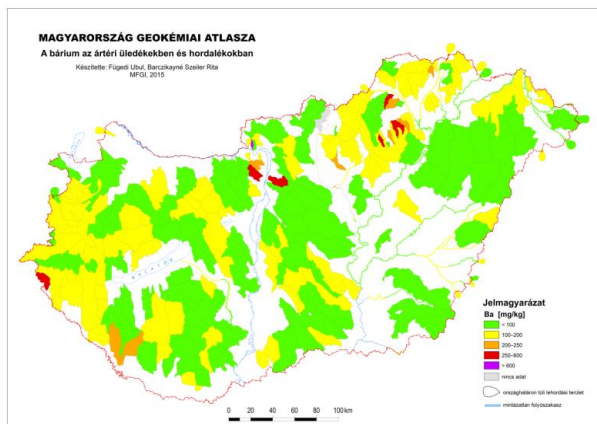


8. ábra. Cd (mg/kg) az ártéri- és mederiüledékekben

1 mg/kg, ami éppen meg-
egyeznek a szennyezettségi
határértékkel. 2049 Cd-
elemzésünkől 75 (keve-
sebb, mint 4 %) nagyobb
ennél — ezeket zömmel a
keleti geokémiai nagytájon
és hazai ércbányák, illetve
-feldolgozó üzemek alól
gyűjtöttük. A Dél-Alföldön
az arzénnal együtt fordul
elő — amint az arzénnál
írtuk, e meglepő jelenség
oka még tisztázandó.

10. A **bárium** (9. ábra) felszíni- és talajvizekben jól oldódó sója a bárium-klorid: BaCl_2 (Takács, 2001). Karbonátjának oldékonysága lényegesen rosszabb, a bárium-szulfát pedig gyakorlatilag oldhatatlan — tehát ha a talajvíz szulfátos, a bárium egyáltalán nem mozgékony. A kristályos barit a királyvízben sem oldódik. A talajvíz ingadozási zónájában kiváló, komplex, sok kationt és sok aniont együtt tartalmazó csapadékot azonban a híg ásványi savak jól föltájják, így a nagy Ba-koncentrációk többnyire efféle kiválásokat jeleznek. A hisztogram inflexiók pontja alapján a háttér felső határa nagyjából 200 mg/t; anomáliáknak a 300 mg/t fölöttieket tekinthetjük. Ezek a nagy értékek a Dunazug-hegységtől a Zempléni hegységig meglehetősen szór-
tan fordulnak elő, jelezve, hogy a Ba lepusztulásának fő forrásai a miocén vulkanitok; főleg az utóvulkáni tevékenység termékei — ennek megfelelően nagy koncentrációk

sorjáznak (csökkenő trenddel) a gyöngyösoroszi ércbánya alatt. Alighanem ipari szennyezésre utaló értékek tűnnek fel Budapest és Kazincbarcika környékén.



9. ábra. Ba (mg/kg) az ártéri- és mederüledékekben

a talajokban legalább 400 mg/kg-ra emelni.

11. Az **ólom** a legnagyobb tömegszámú színesfém. Elemi állapotában a természetben nem fordul elő; legfontosabb ásványa a galenit (PbS). Leginkább a cinkkel és ezüsttel (rézzel és nemesfémekkel) közös, ún. polimetallikus lelőhelyeken bányásszák. Átlagos koncentrációja a földkéregben 10 mg/kg (Webelements, 2015). Pozitív élet-tani szerepéről nem tudunk: egyértelműen toxikus nehézfém, számos vegyülete bizonyítottan rákkeltő is. Átlagos mennyisége az emberi szervezetben 1,7 mg/kg (Láng, 2002); ennek mintegy 90 %-a a vázrendszerbe épül be (Szilágyi, 2010).

Az ólom a legkevésbé mozgékony színesfém, ezért a növények — akárcsak az arzént — kevésbé veszik fel. A duzzadó agyagásványok rétegek közi terében elsősorban ioncserével kötődik meg (Németh & Sipos, 2010). Szennyezettségi határértéke a magyarországi talajokban 100 mg/kg (6/2009), miközben irodalmi adatok (Takács, 2001) szerint a talajok szokásos ólomtartalma 2–200 mg/kg. Mintáinkban eloszlása a többi színesféméhez hasonlóan erős jobbos ferdeséget mutat. A nagy értékek a színesfém-érceket (Nagybörzsöny, Gyöngyösoroszi), azok feldolgozó üzemait (Erdélyben, Kasán és Ózdon), valamint az egykori dúsítókat (Apc, Zagyvaróna) jelzik.

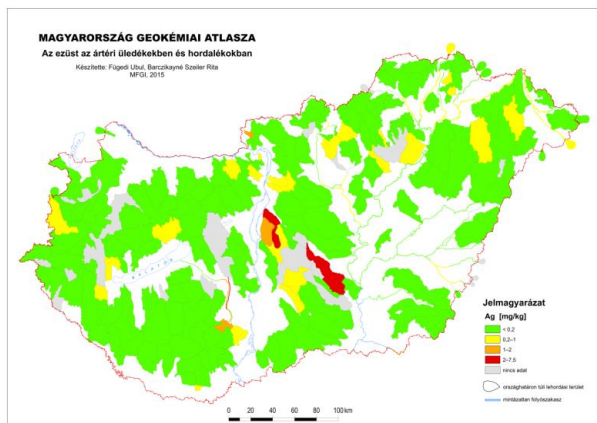
A koncentrációk nagy többsége 60 mg/kg alatt marad, de az eloszlás erős aszimmetriája egyértelműen arra utal, hogy a (lényegesen változékonyabb) talajokban már a háttérértékek közt is előfordulhatnak 100 mg/kg fölötti értékek. Célszerűnek tűnik az ólom szennyezettségi határértékét 200 mg/kg-ra emelni.

12. Az **ezüst** a leggyakoribb nemesfém; átlagos mennyisége a kontinentális kéregben 0,08 mg/kg (Webelements, 2015). Mintáinkban eloszlása ennek megfelelően szélsőségesen ferde; az összes érték több mint háromnegyede a kimutatási határ (jó esetben 0,2 mg/kg) alatt marad. Háttér értéktartománya Magyarország legnagyobb részén mintegy 1,5 mg/kg-ig terjed; keleti nagytájunkon ennek nagyjából a duplájára

Négy nagy értéket a déli Bükkben találunk — a délbükki anomáliákra korábban nem figyeltünk fel, ezeket ellenőrizni kell. A Bükktől északra látható nagy értékek a Báj-pataki hidrotermális ásványosodás termékei lehetnek.

Szennyezettségi határértéke (6/2009) 250 mg/kg; ennél 1983 Ba-elemzésünk közül 47 nagyobb. Célszerűnek tűnik (savoldható!) szennyezettségi határértékét

(3 mg/kg-ra) emelkedik. A pozitív elemzések mintegy kétharmada bányák, illetve színesfém-feldolgozó üzemek (főleg ércdúsítók) meddőinek erózióját jelzi.



10. ábra. Ag (mg/kg) az ártéri- és mederüledékekben

Közép-Magyarországon, jellemzően a 2014-es mintákban szórványosan fel-tűnő kiugró értékekre egyelőre nincs elfogadható magyarázatunk; ezek az adatok ellenőrzendők. Szennyezettségi határérté-ke (6/2009) 2 mg/kg. A talajminták nagyobb vál-tozókonyságát is figyelem-be véve célszerűnek tűnik ezt 5 mg/kg-ra növelni.

Irodalomjegyzék

- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezés-sel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről. Hatályos jogszabályok gyűjteménye:
http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0900006.KVV
 BARTHA A., FÜGEDI P.U., KUTI L. (1987) Fialat, laza üledékek mikrotápelem vizsgálata a Bodrogtúzában. MÁFI Évi Jel. az 1985. évről: 165–186.
 BOROS A. (2008) A Gyöngyös-patak hordalékának környezet-geokémiai vizsgálata. Kézirat, Miskolci Egyetem.
 CSALAGOVITS I. (1999) Arsenic-bearing artesian waters of Hungary. Földt. Int. Évi Jel. 1992–1993/II., 85–92.
 CSANÁDY M.; BOZSAI G.; DEÁK ZS. (1985) Arzén előfordulása alföldi rétegvizekben. Egészségtudomány 29, 240–249.
 CSILLAG G., FODOR L., SEBE K., MÜLLER P., RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., THAMÓNÉ BOZSÓ E., BADA G., (2010) A szélerózió szerepe a Dunántúl negyedidőszaki felszínfejlődésében. Földtani Közlöny 140/4, 463–482.
 CSONGRÁDI J. (1984) Epi-teletermális Sb-Hg indikáció az Asztag-kő-Üstök-fő környékén. Földt. Int. Évi Jel. 1982-ről, 119–136.
 FÜGEDI U. (1999) The incorrect calculation of rank correlation by some statistical programs. Ann rep. of the Geological Institute of Hungary, 1992–1993/II. 159–161.
 FÜGEDI U. (2004) Geokémiai háttér és nehézfém-szennyezés Gyöngyösorszi térségében. Földtani Közlöny 134/2, 291–301, Budapest.
 FÜGEDI U., HORVÁTH I., ÓDOR L. (2006) Geokémiai háttér és a természetes eredetű környezeti terhelés Magyarország felszíni képződményeiben. In: SZENDREI G. (szerk.): Magyarország környezetgeokémiai állapota. 11–21. Innova Print Kft., Budapest.
 FÜGEDI U., HORVÁTH I., ÓDOR L. (2007) Geokémiai háttérértékek Magyarország hegyvidéki területein. Földtani Közlöny 137/1, 63–74.
 FÜGEDI U., SZENTPÉTERY I., CHIKÁN G., VATAI J. (2010) The Rudabánya–Martonyi mineralization: possible geochemical reconstruction. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 5/2, 81–88. http://www.ubm.ro/sites/CJEES/upload/2010_2/Fugedi.pdf
 FÜGEDI U., KUTI L., VATAI J., MÜLLER T., SELMECZI I., KERÉK B. (2012) No unique background in geochemistry. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences Vol. 7 (4) 89–96.

<http://www.ubm.ro/sites/CJEES/viewTopic.php?topicId=272>

- FÜGEDI U., KUTI L., SZENTPÉTERY I., KERÉK B., TOLMÁCS D., in press: Generalities and outliers in the microelement spectrum of Hungarian soil samples. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*.
- GEDEON A. (1964) Geokémiai mérések a Mátrahegységben, 1962. *Földt. Int. Évi Jel.* 1962-ről: 337–348.
- GOULD, S.J. (2000) *Az elméricskelt ember*. Typotex kiadó, 432 old. ISBN: 978-963-9132-62-7
- HARTIKAINEN, A., HORVÁTH I., ÓDOR L., Ó. KOVÁCS L., CSONGRÁDI J. (1992) Regional multimedia geochemical exploration for Au in the Tokaj Mountains, northeast Hungary. *Applied Geochemistry* 7: 553–545.
- HORVÁTH I., ÓDOR L. (1984) Alkaline ultrabasic rocks and associated silicocarbonatites in the NE part of the Transdanubian Mts. (Hungary). *Mineralia Slovaca* 16, 115–119.
- ISTH (Israel Science and Technology Homepage) (2015) List of Periodic Table Elements Sorted by *Abundance in Earth's crust*. <http://www.science.co.il/PTelements.asp?s=Earth>
- KERCSMÁR Zs., THIELE Á. (2015) A belső-somogyi gypvasércek genetikája, geokémiai jellemzői és archeometallurgiai jelentősége. *Földtani Közöny* 145/1, 53–72.
- KUBOVICS I. (1956) A Velencei-hegység talajának nyomelemvizsgálata. *Földtani Közöny* 86: 217–243.
- KUTI L. Gerei L., Zentay T., **Vatai J.** (1997) Az ásványi összetétel szerepe a bugaci és fülöpi mintaterületek homoktalajában. *Agrokémia és Talajtan* 45, 249–259.
- LÁNG I. (főszerk.) (2002) *Környezet- és természetvédelmi lexikon II.* Akadémiai, Budapest.
- MARTH P., KARKALIK A., SZALAI L., ÓDOR L., HORVÁTH I., FÜGEDI U. (1998) A szomszédos országokból belépő folyók határközeli árterének vizsgálata szerves és szerves szennyező anyagokra. *A Sajó ártere. Központi Környezetvédelmi Alap, támogatási megállapodás*. Azonosító: 007698–02/1997. BFNTA. Kézirat, 44 old.
- NÉMETH T., SIPOS P. (2010) Az ólom adszorpciója duzzadó agyagásványokon. MTA Geokémiai Kutatóintézete és az MTA X. osztály Geokémiai és Ásvány-Kőzettani tudományos bizottság környezetgeokémiai albizottságának „Az ólom környezetgeokémiája” előadói ülése, 2010. ápr. 15. Összefoglalók, p. 2.
- ÓDOR L., HORVÁTH I., FÜGEDI U. (1996) Low-density Geochemical Survey of Hungary. Environmental Geochemical Baseline Mapping in Europe Conference, May 21–24, 1996, Volume of Abstracts, 53–57. Spisska Nova Ves, Slovakia.
- ÓDOR L., HORVÁTH I., FÜGEDI U. (1997) Low-density geochemical mapping in Hungary. In: K. Marsina & K. Vrana (Editors), *Environmental Geochemical Baseline Mapping in Europe. Special Issue, Journal of Geochemical Exploration*, 60/1: 55–66. DOI: 10.1016/S0375-6742(97)00025-3 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674297000253>
- PEH Z. & MIKO S. (2001) Geochemical comparison of stream and overbank sediments: A case study from the Žumberak Region, Croatia. *Geologica Croatia*, 54/1, 119–130.
- REIMANN, C., GARRETT, R.G., FILZMOSER, P. (2005) Background and threshold – critical comparison of methods of determination. *Sci. Total Environ.* 346, 1–16.
- REIMANN, C., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., FILZMOSER, P. & O'CONNOR, P. (szerk.) (2014) *Chemistry of Europe's agricultural soils - Part A: Methodology and interpretation of the GEMAS data set*. Geologisches Jahrbuch (Reihe B 102), Schweizerbarth, Hannover, 528 pp. + DVD
- RZEPA BAJDA, T., RATAJCZAK, T. (2009) Utilization of bog iron ores as sorbents of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials* 162, 1007–1013.
- SALMINEN, R. (chief-editor) (2005) *Geochemical atlas of Europe. Part 1. Background information, methodology and maps*. Geological Survey of Finland, Espoo. 526 old.
- STEINER, F. (1990) *A geostatistika alapjai*. Tankönyvkiadó, Budapest. 363 old. ISBN 963-18-2819-0
- STEINER, F. (ed.) (1997) *Optimum Methods in Statistics*. Akad., Budapest ISBN 978-963-05-7439-6
- SZABÓ S. A., REGIUSNÉ MÓCSÉNYI Á., GYÓRI D., SZENTMIHÁLYI S. (1987) *Mikroelemek a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági*, Budapest, 235 old.
- SZILÁGYI M. (2010) Az ólom a táplálékláncban. MTA Geokémiai Kutatóintézete és az MTA X. osztály Geokémiai és Ásvány-Kőzettani tudományos bizottság környezetgeokémiai albizottságának „Az ólom környezetgeokémiája” előadói ülése, 2010. ápr. 15. Összefoglalók, p. 4.
- SZMIRNOV, A. A., RUDNYIK, V. A., DINKOV, N. M., PANAJTOV, A.I. (szerk.) (1979) *Princípü i metodü geohimicseszkih isszledovanyij*. Leningrád, Nyédra, 247 old.

- TAKÁCS S. (2001) A nyomelemek nyomában. Medicina, Budapest. 265 old.
- TOLMÁCS D., KERÉK B., FÜGEDI U., MÜLLER T. (2015) Trace element deficiencies in Hungarian soils: realization and treatment option. (Jelen kötetben)
- TÖRÖK K., FÜGEDI U. (2014) 7.5. Magyarország geokémiai atlasza. Jelentés a 2013-ban végzett munkákról. MBFH Adattár, 15 old.
- TÖRÖK K., FÜGEDI U., SZEILER R. (2015) 7.4. Magyarország geokémiai atlasza. Jelentés a 2014-ben végzett munkákról. MBFH Adattár, 48 old.
- VARŠÁNYI I., Ó. KOVÁCS L. (2005) The role of groundwater flow in controlling the arsenic concentration in the southern part of the Great Hungarian Plain. Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged 2005, Vol. 46, 47–52. Webelements.com, 2015: Abundance in Earth's crust: periodicity. http://www.webelements.com/periodicity/abundance_crust/