

A hazai környezet-geokémiai kutatások néhány eredménye

GONDI Ferenc^a, HARTYÁNI Zsuzsanna^b, NEMECZ Ernő^b, SIPOS Péter^c és SZENDREI Géza^{d,*}

^aBGT Hungária Kft., Keveháza út 1-3, H-1119, Budapest,

^bVeszprémi Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, Egyetem u. 1, H-8200 Pf. 158, Veszprém,

^cMTA FKK Geokémiai Kutatólaboratórium, Budaörsi út 45, H-1112, Budapest,

^dMagyar Természettudományi Múzeum, Ásvány- és Kőzettár, Ludovika tér 2, H-1083, Budapest.

A környezet-geokémia fogalmát Hetényi¹ „Környezet-geokémia” című jegyzetének definíciója szerint használjuk. E közleményben csak a környezetszennyezések geokémiai vonatkozásait foglaljuk össze, ide értve a természetes geokémiai háttér meghatározását és az elemek mobilitásának vizsgálatát is, ami nélkül ezek nem ítélték meg. A környezet-geokémiával mintegy 250 hazai földtani publikáció foglalkozik. Értékes eredmények születtek mind a litoszféra, mind a pedoszféra, mind a hidroszféra, mind az atmoszféra környezet-geokémiájának kutatásában, valamint a biogeokémia területén is. Természetesen ezeknek az eredményeknek még említésére sincs e közleményben mód, csak arra van lehetőség, hogy ezek közül néhány kutatási eredményt kiemeljünk.

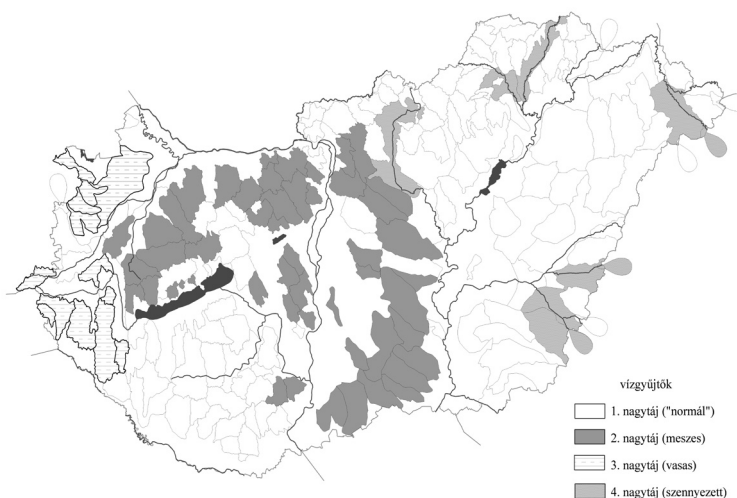
Magyarország geokémiai nagytájai és a háttérértékek

A hazai geokémia meghatározó analitikai módszere az 1980-as évek végéig a félmennyiségi optikai emissziós színképelemzés (OES), fő feladata pedig az érc kutatás volt. A kvantitatív vizsgálatokra alkalmas műszerekkel (lángtechnikás, később grafitkemencés AAS, ICP AES, majd ICP MS) már nem csak az erős anomáliákat lehetett kimutatni. Ennek megfelelően változott a területi vizsgálatok stratégiája: a sok, kevésbé reprezentatív talajmintát kevés, de a területeket jellemző hordalékminta váltotta fel. Az

érc kutatás helyett a környezetvédelem, a háttér és a szóródási nyelvek vizsgálata² került előtérbe.

Az ehhez szükséges módszertani vizsgálatokat 1989–93 között, a Zempléni-hegységben³ végezték el: kimutatták, hogy Magyarországon a közepes léptékű (kb. 1: 50 000) geokémiai kutatáshoz a legfeljebb néhány km²-es vízgyűjtő patakok hordalékát célszerű mintázni a finom frakció száraz leválasztásával. Részletesebb vizsgálatoknál⁴ továbbra is a talajminták ajánlhatók, kisebb léptékben pedig (az Európai Földtani Intézetek Fóruma ajánlásaival összhangban) a nagyobb vízfolyások ártéri üledékei.

Ezekre alapozva készült el Magyarország geokémiai atlasza⁵ is a Magyar Állami Földtani Intézetben, amiből képet kaphatunk a felszíni, illetve felszínközeli képződmények természetes háttérkoncentrációjának várható értékeiről. Hazánkban (1. ábra) négy „geokémiai nagytáj” jelölhető ki, és ezek közül az 1. elemtartalmait tekinthetjük „normálisnak”, hazánk földtani viszonyaira általánosan jellemzőnek. A 2. nagytájon (az ország középső részén) a talajok többé-kevésbé erőteljesen meszesednek, illetve szikesednek: a Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺, (Na⁺, CO₃²⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻) felhalmozódik a többi komponens rovására. A 3. nagytájon (az ország nyugati-délnyugati csücskén) a talajokban az egyebütt szokásosnál némileg több a vas, a kobalt, a króm, a nikkelt, (az alumínium és a mangán), mivel ezek anyaga



1. Ábra. Magyarország geokémiai nagytájai

* T.: 333-0655, Fax:210-1086, e-mail: szendrei@miner.nhmu.hu

az Alpkból pusztult le, a 4. nagytáj pedig az ércbányászati-nehézipari hulladékkal évszázadok-évezredek óta szennyezett ártereket foglalja magába. Fentiekből adódik, hogy hazánk területére egységes geokémiai háttérértékeket még 1:500 000 léptékben sem adhatunk meg: a várható érték és a háttérérték tartománya (1. táblázat) csak nagytájanként értelmezhető. A Magyar Középhegység nagyobbik részét

az 1., a Dunántúli-középhegység egyes részeit a 2. nagytájba soroljuk, és a várható elemtartalmakat a patakfordalék finom frakciója alapján becsülhetjük. A háttér ebben a térségben és léptékben sem egységes: meg kell különböztetnünk (2. táblázat) a karbonátos és a szilikátos lepusztulási területeket.

1. Táblázat. Környezeti szempontból fontos elemek szokásos mennyisége (g/t) Magyarország geokémiai nagytáin: a(b)

elem	1. nagytáj	2. nagytáj	3. nagytáj	4. nagytáj
As	< 2,5–19 (7,3)	< 2,5–57 (6,3)	5,8–13 (8)	5,4–22 (12)
Ba	53–158 (95)	22–158 (68)	87–190 (135)	88–160 (113)
Cd	< 0,5–1,5 (< 0,5)	< 0,5–3,4 (< 0,5)	< 0,5 (< 0,5)	< 0,5–10,4 (1)
Co	4,9–13 (9)	1,7–10 (5,7)	10–15 (12,8)	9,4–14 (11,1)
Cr	8–39 (21)	4–32 (14,5)	25–39 (36)	27–92 (36)
Cu	8,5–42 (19)	5,5–33 (15)	18–32 (14)	21–103 (40)
Hg	0,04–0,2 (0,08)	0,03–0,37 (0,08)	0,06–0,12 (0,09)	0,08–0,75 (0,14)
Ni	11–36 (22)	7–30 (16)	25–37 (32)	25–41 (29)
Pb	10–34 (17)	5,3–23 (13)	16–26 (18)	32–90 (46)
Zn	32–150 (65)	14–180 (46)	69–96 (82)	100–600 (132)

a= jellemző értéktartomány (interkvartilis félterjedelem), b= várható érték (medián)

2. Táblázat. „Karbonátos” és „szilikátos” háttér Magyarország középhegységi területein

Elem (g/t)	Karbonátos		Szilikátos	
	Medián	háttér max.	Medián	háttér max.
<i>As</i>	5,5	30	5	50
<i>Ba</i>	65	320	102	320
<i>Co</i>	7	25	10	30
<i>Cr</i>	18	50	18	60
<i>Cu</i>	6	35	7,3	45
<i>Hg</i>	0,04	0,25	0,05	0,85
Mn	450	1300	750	1700
<i>Ni</i>	17	55	16	60
Sb	0,4	3	0,3	7
Sr	45	400	48	350
<i>Pb</i>	8	50	12,5	50
<i>Zn</i>	48	200	50	200

As – toxikus elemek (10/2000. rendelet)⁶; Mn – egyéb elemek;

320 – „B”-érték (szennyezettségi határérték) fölötti koncentráció;

30 – „C₁”-érték (beavatkozási határérték érzékeny területeken) fölötti koncentráció,

50 – „C₂”-érték (beavatkozási határérték közepesen érzékeny területeken) fölötti koncentráció.

A két táblázat eredményeit összevetve (3. táblázat) láthatjuk, hogy a lépték növelése fokozza a változatosságot (szélesíti a háttér értéktartományát). Az áttekinthető felvételen egy-egy minta 300–400 km²-t jellemez, a középhegységin (Khg.) ennél két nagyságrenddel kisebbet. A környezetvédelmi hatásvizsgálatoknál általánosan használt talajminták néhány hektárnyi föld területet jellemeznek. Ezek várható értékeit a hordalékmintákkal jól becsülhetjük, háttér értéktartományaik azonban jelenlegi adataink alapján nem határozhatók meg.

Egyes, ritkább kőzetek összetétele annyira különbözik a gyakori, „háttér” jellegű képződményekétől, hogy megjelenésüket eleve környezeti terhelésként kell értékelnünk (4. táblázat).

3. Táblázat. A háttér felső határa az országos (4. nagytáj nélkül) és a középhegységi felvételen

Orsz. max.	Elem (g/t)	Khg. max
22	As	50
190	Ba	320
15	Co	30
39	Cr	60
42	Cu	45
0,37	Hg	0,85
41	Ni	60
34	Pb	50
180	Zn	200

320 – „B” érték fölötti koncentráció,

22 – „C₁” érték fölötti koncentráció,

50 – „C₂” érték fölötti koncentráció.

A természetes eredetű környezeti terhelés további két fő típusa hazánkban az ércesedés szóródási udvara és a geokémiai csapda. Előbbi példjaként a Zempléni-hegységben, a Korom-hegyen a talaj (természetes eredetű) arzén-tartalma helyenként meghaladja a 0,25 %-ot (2500 g/t)⁴ utóbbi példjaként a Duna–Tisza közének déli részén ugyancsak az arzén koncentrációja több száz négyzetkilométeren 30 g/t fölött marad. Mint látni fogjuk, a Dél- és Kelet-Magyarország rétegvizeiben felszaporodott arzén is geokémiai csapdából szabadult fel.

4. Táblázat. As, Ba, Co és Cr koncentrációja (g/t) a Budakeszi Pikrit Formáció szilikokarbonátjaiban Diósd és Sukoró térségében (NAA elemzés, BME Tanreaktor)

minta azonosítója	minta helye	As	Ba	Co	Cr
1104,7–1105,6 m	Diósd, Di-1.			24,6	406
2018.	Sukoró.	893	50	18,3	950
64,4 m	Sukoró, St-1.	46,8	856	49,6	660
65,4 m	Sukoró, St-1.	43,1	349	48	729
68,3 m	Sukoró, St-1.	110	678	38,4	516

A szennyező anyagok jellemzően a talajvízzel vagy a vízfolyások hordalékával terjednek: utóbbi példája (a 4. geokémiai nagytáj mellett) a közismert, gyöngyösoroszi környezetszennyezés⁷.

Talaj-környezetgeokémiai kutatások

A hazai talajtani kutatások mellett (csak az összefoglaló munkákra utalva Buzás⁸, Győri⁹, Kádár¹⁰, Kátai és Jávorné¹¹, Pais¹², Stefanovits¹³, Szabó, Regiusné Möcsényi, Győri és Szentmihályi¹⁴) a földtani szakterületen is folynak intenzív talajgeokémiai kutatások.

A MTA FKK Geokémiai Kutatólaboratóriumában a Kelet-Cserhát, a Karancs és a Mátra hegylábi területén vizsgáltak emberi hatástól viszonylag érintetlen erdei talajszelvényeket^{15, 16}. A nehézfémek koncentrációja a vizsgált szelvényekben a 10/2000 (VI. 2) rendeletben megadott magyarországi háttérértékekhez közeli vagy az alatti (Cr = 30 mg/kg, Co = 9 mg/kg, Ni = 25 mg/kg, Cu = 12 mg/kg, Zn = 59 mg/kg, Pb = 18 mg/kg). A vizsgált talajtípusok közül az agyagbemosódásos barna erdőtalajok nehézfém-koncentrációi a legnagyobbak, a humuszos homoktalajoké a legkisebbek. A talajképző kőzet jelentős hatását mutatja, hogy a nehézfém-koncentrációk a nyomelemekben viszonylag gazdag andeziten kialakult talajokban a legnagyobbak és a homokkővön képződött szelvényekben a legkisebbek. A szintén kisebb nyomelem-koncentrációjú karbonátos alapkőzeten kialakult talajokban megfigyelt, jelentős relatív dúsulás feltehetően a karbonát-ásványok gyorsabb mállásának következménye.

A vizsgált szelvényekben a legtöbb nehézfém mélység szerinti eloszlása a talajtípustól (agyagbemosódásos barna erdőtalaj, barnaföld, humuszos homok, földes kopár) függetlenül egyenletes¹⁵. Kivételt képez az ólom, amelynek koncentrációja a mélységgel fokozatosan csökken. A jelenség egyrészt az ólom és a szervesanyag-tartalom szoros kapcsolatára utal, másrészt felveti e fém antropogén forrásból történő koncentráció növekedését.

A kutatás során meghatározták a talajok növények által felvehető nehézfém-tartalmát a Lakanen–Erviö-féle kioldás segítségével¹⁷. Igazolták, hogy nincs közvetlen összefüggés a talajok teljes nehézfém-tartalma és a növények által felvehető fémmennyiség között. Ezt támasztja alá, hogy a nehézfémekben szegényebb talajokból arányaiban nagyobb nehézfém-mennyiség vehető fel. A felvehető nehézfémek aránya a következő sorrendben csökken¹⁶: Co > Pb > Cu > Ni > Zn > Cr. A talajtani jellegektől függetlenül a kobalt (30%), az ólom (23%) és a réz (22%) relatív felvehetősége nagy vagy közepes, a nikkelé (11%) és a cinké (3%) kicsi, a krómé pedig nagyon kicsi (0,7%). Ez az érték általában a szerves anyagban leggazdagabb szintekben (A szint) a legnagyobb, de a felvehetőség nem csökken nagyságrendileg a mélyebb szintekben sem.

Az agyagbemosódásos barna erdőtalajok B szintjében csökken egyes fémek (kobalt, nikkel, réz, cink) felvehetősége mivel az agyagásványok dúsulása növeli a megkötő képességet. A karbonáttartalmú talajsíntekben a nehézfémek felvehetősége szintén csökken, ami ezen szintek nagyobb puffertkapacitásának következménye.

A vizsgált nehézfémek szekvenciális kioldását¹⁸ három párhuzamos sorozatban a Bristol Egyetem Földtudományi Tanszékén végezték el. Ezek alapján a következő relatív mobilitási sort állapították meg¹⁶: Pb > Co > Ni > Cu > Zn > Cr. A sorrend végén álló króm mindössze 10%-a, az ólomnak már 50–70%-a a potenciálisan mobilizálható a vizsgált szelvényekben. Az ólom nem várt nagy mobilitása eltér a hazai és külföldi irodalomban tapasztalt adatoktól^{17, 19, 20, 21}.

Az egyes nehézfémek mobilitása a különböző vizsgált talajszelvényekben nagyon hasonló, amely azonos mállási-talajképződési folyamatokra utal. A fémek legnagyobb hányada nem mobilizálható, és ez a hányad a mélységgel nő, ami a mállási-talajképző folyamatok csökkenő hatására utal¹⁶.

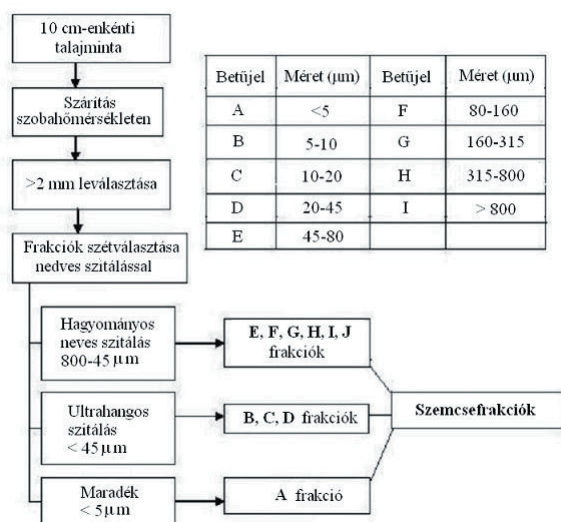
Az ólom 34%, a réz és a nikkel 13–13%-a az oxidálható frakcióban fordul elő; míg a redukálhatóban főleg a kobalt (28%), az ólom (18%), a nikkel (14%) és a cink (12%) található. Az irodalmi adatok²² szerint az oxidálható frakcióban a szerves anyaghoz kötött nehézfémek jelennek meg, amit alátámaszt az is, hogy e frakció szerepe az A szintekben általában nagyobb, mint az alsóbb szintekben. Azonban a szerves anyag mennyiségének csökkenésével nem egyenes arányban csökken az oxidálható frakcióhoz kötött nehézfém-mennyiség, ami a szerves anyag minőségi különbségeinek hatására utal¹⁵. A redukálható frakcióban a vas- és a mangán-oxidokon kötött elemeket találjuk. Ennek jeleként a kobalt a redukálható vassal és mangánnal, az ólom, a cink és a nikkel pedig a redukálható mangánnal jól korrelál. A könnyen mobilizálható nehézfémfrakció szerepe a vizsgált szelvényekben alárendelt.

A bioesszenciális nyomelemek előfordulásának, migrációjának és felhalmozódásának kutatása az exogén geoszférában a környezet-geokémia egyik jellemző területe. E vizsgálatok egyik korai eleme a szelén környezet-geokémiai jelentőségének és a hazai előfordulásának kutatása a kőzet-talaj-élővilág rendszerben²³. A kutatás megállapításai szerint a mezőgazdaságilag művelt területek jellemző talajképző kőzetein kialakult talajok szelén-ellátottsága alacsony, illetve mérsékelt. A mezőgazdasági kemikáliák okozta talaj-savasodás hatására a szelén kevésbé mobilis kémiai formában fordul elő, ami megjelenik a tápláléklánc alacsony szelén-ellátottságában, illetve jellemző humán szövetminták vizsgálatával megfigyelhető volt az optimálisnál alacsonyabb humán szelén-ellátottság.

A Veszprémi Egyetem Föld- és Környezettudományi Tanszékén végzett vizsgálatok mutattak rá arra, hogy a frakciókra bontás újszerű megvilágításba helyezi a talajok ásvány-geokémiai kutatási eredményeit. Un. dinamikus talajvizsgálati eljárást dolgoztak ki²⁴, és azt különböző, eltérő anyagkőzeten képződött talajszelvények mállási és geokémiai folyamatainak tanulmányozására alkalmazták. A talajminták kezelésének folyamata a 2. ábrán látható.

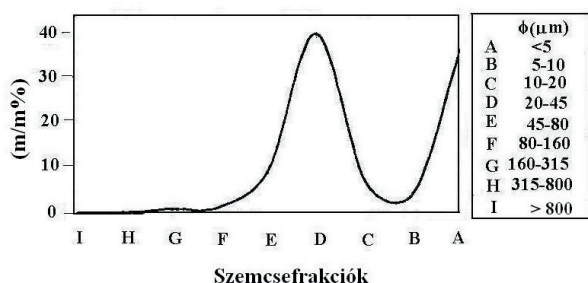
E módszerrel nem csupán a talaj pillanatnyi állapotát rögzítik, hanem információt szereznek az ásványi átalakulásokról, geológiai és geokémiai folyamatokról is. A mélység szerint 10 cm-enként gyűjtött eredeti talajmintákat szemcsEFRakciók szerint vizsgálják abból kiindulva, hogy a talajásványok egy

része a talaj fejlődése során lebomlik, más részük viszont a talajoldatokból képződik. A lebomló ásványok egyre kisebb méretűek, tömegük a $5 \mu\text{m}$ szemcseméret felé csökken, míg a talajoldatokból képződő, ún. felépülő ásványok szemcseméreteinek eloszlása a lebomlókéval ellentétes.



2. Ábra. Talajminták kezelése

Talajtípustól függetlenül igazolták, hogy egyes ásványok – lebomló vagy képződő jellegüktől függően – bizonyos szemcsefrakciókat preferálnak. Ezek a szemcseeloszlásokban két éles maximummal jelennek meg, amelyeket határozott minimum választ el. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a maximumok helye az $5 \mu\text{m}$ -nél kisebb és a $20\text{--}45 \mu\text{m}$ -es szemcsefrakciónál található. Az első maximumnál az agyagásványok és a humusz dominál, a másikon pedig a földpátok és a kvarc. A talaj típusától függetlenül létezik egy kvázi tiltott szemcseméret-tartomány, a $10\text{--}20 \mu\text{m}$ közötti frakció: a szeparálatlan talajminták tömegének 1%-a. Ennek magyarázatát pillanatnyilag abban látják, hogy ez a tartomány a dekomponálódó és felépülő (autigén) ásványok találkozási helye, ahol a leépülő ásványok már nagyrészt elfogytak, a felépülő, helyben képződött ásványok pedig nem érték el, vagy termodinamikai okok miatt sohasem érik el ezt a méretet (ld. agyagásványok).



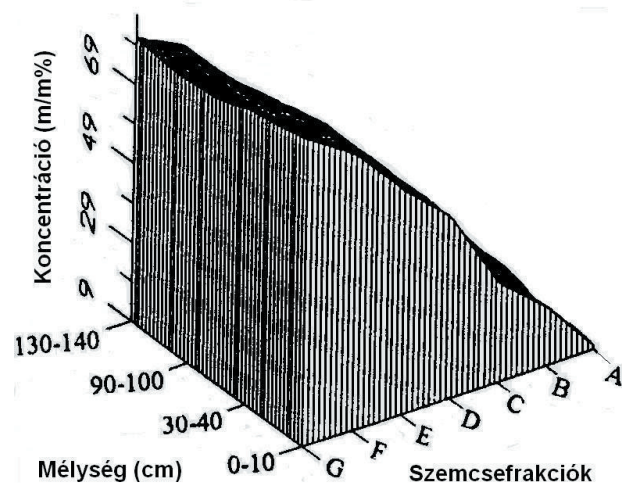
3. Ábra. Talajminták jellegzetes szemcseeloszlási képe

A szemcseeloszlás jellegzetességei a keletkezési folyamatok szerint a 4. és 5. ábrán figyelhetők meg. Normálisnak tekintik a szemcseeloszlást, amennyiben a folyamat az ásvány leépülése. Ebben az esetben a 3 dimenziós ábrán a nagyobb szemcseméret frakciókban az ásvány relatív mennyisége

nagyobb (4. ábra: kvarc). Inverz szemcseeloszlásról beszélnek a helyben képződő ásványok esetén, amikor a kis szemcseméret frakciókban nagyobb az ásvány relatív tömege (5. ábra: montmorillonit) és anomálisnak tekinthető a szemcseeloszlás, ha a különböző mélységből származó talajminták szemcsefrakcióiban a vizsgált ásvány tömegeloszlása nem konzekvens.

Egyes elemek mennyiségét a tanszéken kidolgozott roncsolásmentes röntgenfluoreszcens spektrometriás (XRFS) módszerrel határozták meg^{25, 26}.

A különböző anyagokból képződött talajok tanulmányozását kiterjesztették a karbonátos humuszos öntéstalaj (Tiszavasvári), a mészlepedékes csernozjom talaj (Tiszalök), valamint a homoktalaj (Nyíregyháza) vizsgálatára is. A talajokat érő szennyezések geokémiai hatásainak tanulmányozására a Nyíregyházai Bessenyei György Tanárképző Főiskola Kémiai Tanszékén modellkísérleteket végeztek^{27, 28}, a felső 20 cm-es talajréteg átlagmintáit Cd-nitrát, Pb-nitrát, Cr(III)-nitrát és kálium-dikromát tartalmú oldatokkal szennyezték. 1 kg talajba 2×10^{-2} mól nehézfém juttattak. Arra kerestek választ, hogy a nehézfém szennyezés milyen ásványi fázisokhoz kötődik, és hogyan változtatja meg az egyes szemcsefrakciók eredeti nyomelem-eloszlását. Vizsgálták, hogy milyen frakciókban dúsulnak fel az egyes ásványok, illetve az ásványokhoz kötött nyomelemek. A Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 főkomponenseken kívül a P, S, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, V, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Nb, Pr és Th nyomelemek mennyiségét határozták meg. Vizsgálataikat szekvens extrakciós vizsgálatokkal egészítették ki, mind az eredeti, mind a „szennyezett” talajminták fő- és nyomelem-koncentrációit.

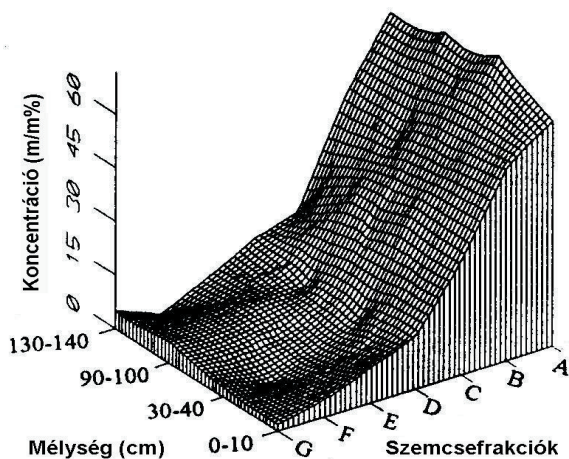


4. Ábra. Lebomló ásvány (kvarc) „normális” szemcseeloszlási képe

Lineáris regresszió számításokkal elemezték mind az eredeti, mind a „szennyezett” talajminták fő- és nyomelem-koncentrációit.

A kezeletlen humuszos öntéstalajban három dúsulási csoportot különítettek el. Az egyik csoportba az Al, Fe, Mg, Ti, K, P főelemek és a Ni, Cu, Rb, Sr, Y, Pb, S, Cd nyomelemek tartoznak, tehát a mért elemek többsége. A

másik csoportnak mindössze két tagja van: a Si és a Na, a harmadik csoportba a függetlenül viselkedő elemeket sorolták, ilyen a Ba és a Zn. A szennyezett minták mért nyomelemeinek zöme együtt dúsul; a kivételek a Zr, a Y és a Ba. Ez az első két elem esetében nem meglepő, mert ezeket valószínűleg a mállásnak ellenálló cirkon, esetleg rutil hordozza, a Ba pedig a mállásnak ugyancsak ellenálló barit formájában önálló fázist alkothat. Ebben a csoportban tehát a törmeléken átthalmozódó elemeket találjuk. Abban az esetben, amikor mindhárom elemmel szennyezték a mintát, az Y „függetlensége” megszűnt; a Cr, Ni, Pb, Zn elemekkel együtt dúsult.



5. Ábra. Keletkező ásvány (montmorillonit) inverz szemcseeloszlási képe

Eredeti és szennyezett talajminták szemcsefrakciói nyomelem-eloszlásának vizsgálata alapján általános érvénnyel állapították meg, hogy az egyes szemcsefrakciók tömegével súlyozott nyomelem-eloszlás – amely figyelembe veszi a kristályos fázisok szemcseméret szerinti gyakoriságát is – ad valós képet a talaj nyomelemeinek geokémiai viselkedéséről, a talaj-szemcsefrakciókban előforduló nyomelemek abszolút mennyiségéről, közvetve azok hozzáférhetőségéről, mobilizálhatóságáról. Hiába magas egy adott szemcsefrakcióban a vizsgált elem koncentrációja, ha a kérdéses méretű szemcséből kevés van, vagy olyan ásványi fázisok fordulnak elő az adott szemcsefrakcióban, amelyek az illető nyomelemet kevésbé mobilizálható formában tartalmazzák.

Ivóvizek természetes eredetű arzénterhelése

A vízgeokémiai munkák első áttekintő összefoglalása Magyarország Vízföldtani Atlasza²⁹. A neogén medenceterületeken áramló fluidumok migrációs és transzportviszonyainak megértéséhez és jellemzéséhez bizonyos esetekben az ország jelenlegi területénél nagyobb térrészt kell értékelni. Ennek korai termékeként^{30,31} 1:1 000 000 léptékű térképeken és szelvényekben mutatták be a legfontosabb vízben oldott alkotók eloszlását.

Magyarország legnagyobb, természetes eredetű környezet-terhelése az 1980-as évek elején az ivóvizekben felismert³²,

az akkor érvényes egészségügyi határértéket (50 µg/l) meghaladó arzéntartalom, ami mintegy 600 000 ember egészségét veszélyeztette (6. ábra).

Több ezer, az Országos Közegészségügyi Intézzel közösen feldolgozott víztermelő fúrás alapján azonosították³³, hogy mely földtani képződményekből származhat az arzén. Az arzénes vizek leggyakrabban a 100-300 m közötti mélységből származnak, a térkép szerint arzénesnek jelölt térségben a lefúrt kutak 70–80%-a ad arzénes vizet. Az EU-csatlakozás egyik következményeként az egészségügyi határértéket 10 µg/l-re kellett csökkentenünk; ezzel több mint 1,2 millió ember vált érintetté. Az arzén elsősorban a fiatal, holocén–pleisztocén folyóvízi rétegsorok lápi-mocsári üledékeiben, a vas-oxi-hidroxidokon kötődik meg. Amikor ezek betemetődéssel vagy más okból redukív körülmények közé kerülnek, a felszabaduló arzén arzenitként vagy arzenátként oldódik a rétegvizekben (a metilizált fajták csak alárendelten jelennek meg). Az üledékekben többnyire sok a bakteriális eredetű metán, és egyes képződményekből ammónium és molibdén is felszabadul. Lefelé haladva az arzéntartalom egyre inkább a foszfát mennyiségével korrelál^{33,34}.

Összefoglalás

A hazai környezet-geokémiai kutatásokat mintegy 250 földtani publikáció ismerteti. A fentiekben néhány kiemelt eredményt mutattunk be.

Lehatárolták és jellemezték Magyarország geokémiai nagytájtait. Ennek alapján meghatározták a környezet-geokémia szempontjából alapvetően fontos természetes háttérértékeket és a természetes geokémiai terheléseket. Bizonyították, hogy a háttérértékek csak nagytájként értelmezhetők^{2-5,7}.

A szennyeztelen állapot közelítésére emberi tevékenység által kevésbé érintett talajokat vizsgáltak, esetünkben észak-középhegységi erdei talajokat. Megállapították, hogy a nehézfémek (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) koncentrációja 10/2000 (VI. 2) rendeletben megadott magyarországi háttérérték körüliek⁶ vagy az alattiak. Meghatározták a nehézfémek mélység szerinti eloszlását, kimutatták koncentrációik összefüggését a talaj típusával, a talajképző közzel és jellemezték mobilitásukat^{15,16}.

Módszert dolgoztak ki a talaj szemcseméret frakciók szerinti leválasztására és ezekben az ásványi és kémiai összetétel meghatározására. A talajszennyezés folyamatainak jobb megismerésére pedig az említett módszerrel vizsgálták Cd-, Pb-, Cr- és K-vegyületekkel kezelt modellkísérletek talajmintáit²⁴⁻²⁸.

Hazánk legnagyobb, természetes eredetű környezet-terhelése a rétegvizek egészségügyi határértéket meghaladó arzéntartalma. A vas-oxi-hidroxid kolloidokhoz és a szerves anyaghoz kötött arzenit- és arzenátionok a holocén–pleisztocén lápi-mocsári üledékekből a vas-oxi-hidroxidok bakteriális redukciója következtében szabadulnak fel³²⁻³⁴.

29. Schmidt E. R. *Magyarország Vízföldtani Atlasza*. Magyar Állami Földtani Intézet: Budapest. **1962**.
30. Tóth Gy.; Egerer F.; Namesánszky K. *Magyarország Vízegeokémiai Atlasza. M=1:1 000 000*. Magyar Állami Földtani Intézet: Budapest. Kézirat. **1985**.
31. Tóth Gy., Rótárné Szalkai Á.; Horváth I. *In Felszín alatti vizeink kutatása, feltárása, hasznosítása és védelme*. Konferencia: Balatonfüred, **2003**, 4-11.
32. Csanády M.; Bozsai G.; Deák Zs. *Egészségtudomány*. **1985**, 29, 240-249.
33. Csalagovits I. *MÁFI Évi Jel. 1992-1993/II*. **1999**, 85-92.
34. Varsányi, I.; Ó-Kovács, L. *Appl. Geochem.* **1996**, 12, 625-636.

The achievements of environmental geochemistry in Hungary

In this paper the geochemical aspects of environmental pollution are discussed. Some selected important achievements are summarized below.

Based on results of stream sediments survey a countrywide geochemical map of surface and near surface rocks has been prepared by the Geological Institute of Hungary. The geochemical background level of different elements and the extent of accumulation of toxic elements can be established from the data given in the geochemical map^{2-5, 7}.

Concerning soil environmental geochemistry extensive investigations were carried out on heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) in soil-parent material system of forest soils in an area of the Northern Hungarian Range that is hardly affected by anthropogenic activity. The investigations were performed at the Laboratory for Geochemical Research of the Hungarian Academy of Sciences¹⁵⁻¹⁶. To elucidate the processes taking place in contaminated soils model experiments were performed by artificially loading soil

samples with Cd, Pb, Cr and K compounds. The explanation of processes is based on detailed chemical and mineralogical analysis of the different size fractions and was provided by the Department of Geology and Environmental Sciences, Veszprém University²⁴⁻²⁸.

The most harmful natural load in Hungary is the arsenic concentration of subsurface waters exceeding the limit values (50 µg/l) of the Hungarian Drinking Water Standard. A countrywide geochemical/hydrological database on the occurrences and characteristics of these waters was created at the Geological Institute of Hungary. It was pointed out that arsenic is adsorbed on surface of Fe(III) oxyhydroxide colloids and in organic substances in swamp/flood plain formations of Holocene and Pleistocene. The high arsenic concentration of subsurface waters was interpreted by the release of adsorbed arsenic due to bacterial iron reduction during the early diagenesis³²⁻³⁴.