

Geokémiai háttér és nehézfémzennyezés Gyöngyösoroszi térségében

Geochemical background and heavy metal pollution near Gyöngyösoroszi (NE Hungary)

FÜGEDI Ubul¹

(2 ábra, 10 táblázat)

Tárgyszavak: cink, ólom, réz, kadmium, arzén, háttér-koncentráció, háttér értéktartomány, anomália
Keywords: zinc, lead, copper, cadmium, arsenic, uncorrelated geochemical background, range of background values, anomaly

Abstract

The data available about the environmental pollution and its surroundings at Gyöngyösoroszi make it possible to compare the results of the methods used for the severance of the geochemical background and anomalies. In this case the background means the products from the rock-forming processes in the related bedrock and at the floodplain. An anomaly refers to the products from ore-mineral accumulating processes. Two-two methods were used to determine the probable value and maximum of the background: the separation of the uncorrelated geochemical background proved to be the most effective. Caused by the mineralization developed on the catchment area the probable values of the local background are higher than not just the territorial but also the usual values at other places in the Mátra Mountains.

Összefoglalás

A gyöngyösoroszi környezetszennyezésről és környezetéről rendelkezésünkre álló adattömeg lehetővé teszi, hogy összehasonlíthassuk a háttér és az anomáliák különválogatására használatos módszerek eredményeit. A konkrét esetben háttérnek a szálkőzetben és az ártéren is a kőzetalkotó, anomáliának pedig az ércásványokat felhalmozó folyamatok termékeit tekinthetjük. A háttér várható értékeinek és maximumainak meghatározására két-két módszert használtam: a leghatékonyabbnak a korrelálatlan geokémiai háttér elkülönítése bizonyult. A vizgyűjtő területen kifejlődött ércesedésnek köszönhetően a helyi háttér várható értékei nemcsak az országos háttérnél, de a Mátra hegységben egyebütt szokásosaknál is magasabbak.

Bevezetés

Gyöngyösoroszi környékén a Toka- és a Száraz-patak árterén több színes- és nehézfém koncentrációja helyenként többszöröse az aktuálisan a 10/2000. (VI. 2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendeletben meghatározott beavatkozási küszöbértéknek. A környezeti terhelést először a Heves megyei KÖJÁL 1986-os, lakossági bejelentések alapján indított vizsgálatai mutatták ki. A munkát folytató Heves megyei ÁNTSz példaértékű jelentése (ZÁRAY et al. 1991) több, alapvető tényt állapított meg:

— az anomális koncentrációk nem egyenletes terítésben, hanem foltszerűen, kisebb-nagyobb lencsékben, pásztaokban jelennek meg;

¹ Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest Stefánia út 14.

— valamennyi ilyen dúsulás az árvizek idején időlegesen előtört részekben, tehát az ártéri üledékekben és az ezeken képződött talajokban fordul elő;

— a legnagyobb fémkoncentrációkat mindig a rétegsor többi elemétől markánsan különböző színű és szemcseméretű, ún. „sárga homokban” találhatjuk;

— a nagy nehézfém-tartalmú foltok elsősorú többsége a mederhez közel (60 m-en belül) van; gyakoriságuk a pataktól távolodva monoton csökken.

A jelenség feltételezhető forrásaként (a helybeliek vélekedésével összhangban) az Országos Érc- és Ásványbányák (OÉÁ) gyöngyösorszi bányauzemében 1951–1985 között folytatott ércbányászatot és feldolgozást nevezték meg. Valószínűsítették, hogy az ércanyag a patakok közvetítésével került az ártérre.

Ezzel szemben a bányavállalat álláspontja az volt, hogy fémeket ott szokás bányászni, ahol azok a földkéregben szokásosnál jóval nagyobb koncentrációban vannak jelen, így hát szükségszerű, hogy az ércek természetes lepusztulása folytán az ilyen vidékeken — így Gyöngyösorszi alatt is — az egyébként szokásosnál jóval több színes- és nehézfém legyen. Álláspontjukat a MÁFI 1981–1985 között, a Közép- és Nyugat-Mátrában végzett metallometriai felvételének eredményeivel támasztották alá. Az ércesedés során dúsuló, fontosabb elemek hegységi háttér-értékeit (1. táblázat) és a nagyfrekvenciás hatókat szelvény menti, lineáris szűréssel leválogatva a lokális hátteret (2. táblázat) az 500 m × 50 m-es hálóban, kézifúróval, a talaj „C” szintjéből gyűjtött minták félmennyiségi OES (optikai emissziós szinkép) elemzése alapján határozták meg (NAGY et al. 1986).

Mint látható, az így megadott helyi háttér teljesen megfelel a tájegységének, viszont az azidőtájt referenciaként használt, Vinogradov-féle klarkoknál (Pb – 10, Cu – 20, Zn – 50 g/t) mindkettő 2-3-szor magasabb. Ez a számítás levágja a lokális felhalmozódások, elemdúsulások koncentrációit – a telérek fölötti és egyéb, lineáris anomáliák hatását. Az egyértelműen érckutató mintavételből jórészt kihagyták a patak árterét (ahol – mint ezt az ÁNTSZ kimutatta – jelentős

felhalmozódásokat találhatunk); így hát az értelmezési kísérletek szabadságfoka igen jelentős volt.

A Mátra részletes földtani térképezésének eredményeit összesítő kutatók (VARGA et al. 1975) a völgyet kialakító mélytöréshez kapcsolódó agyagásványosodást írtak le, nyomelemzések hiányában azonban nem tisztázták, hogyan járul ez hozzá a háttérértékek alakításához. Gyöngyösorszi környékén tömeges hidrokvarcitot, majd a Mátra-programban az ércföldtani reambuláció során a falu és a flotációs meddőhányó közti szakaszon masszív kovásodást ismertettek. A hegységben többfelé (egyebek közt a kovásodással együtt járó) regionális piritesedés fordul elő. A Toka-patak vízgyűjtőjének Károlytáró fölötti részén a hordalékból

1. táblázat. Tájegységi háttérértékek a MÁFI Mátra-programja alapján

Table 1 Regional background values based on the Mátra Project in the Geological Institute of Hungary

elem	háttér (g/t)
Cu	41
Pb	29
Zn	124

2. táblázat. Helyi háttérértékek a Toka-völgyben a MÁFI Mátra-programja alapján

Table 2 Local background values in the Toka valley based on the Mátra Project in the Geological Institute of Hungary

elem	háttér (g/t)	tendencia
Cu	40	
Pb	22–27	folyásirányban nő
Zn	115–130	folyásirányban csökken

egyéb szulfidásványok társaságában arzenopiritet mutattak ki (FÜGEDI in: NAGY et al. 1986). Ezek az adatok valószínűsítették, hogy a Toka-patak völgyében a „szokásost” jóval meghaladó, nagyrészt természetes eredetű, kisebbrészt a középkor óta időszakosan felújuló bányászkodás hányóinak lepusztulására visszavezethető háttérkoncentrációkra számíthatunk.

A következő adatsort a MÁFI ún. „középhegységi” geokémiai felvétele szolgáltatatta. Miután a Zempléni-hegységben (HARTIKAINEN et al. 1993) kimutattuk, hogy a színesfémek talajban várható értékei a lényegesen reprezentatívabb hordalék-mintákkal jól becsülhetők, ezzel a módszerrel mintáztuk végig előbb az Északi- (ÓDOR et al. 1999), majd a Dunántúli-középhegységet is. Ezek a vizsgálatok már a kvantitatív ICP, azaz induktív csatolású plazmaemissziós módszerrel készültek. Az ICP-elemzések a Mátrában az OES eredményeknél radikálisan kisebb háttérkoncentrációkat (3. táblázat) szolgáltatottak (mivel a legtöbb kadmiumelemzés kimutatási határa 1 g/t, tehát éppen annyi, mint a B szennyezettségi küszöb, a Cd tényleges viselkedésére jobbra a Zn-koncentrációk alakulásából következtethetünk).

A vita eldöntéséhez meg kellett találni azokat a módszereket, amelyek segítségével az esetleges szennyezés az emelt, helyi háttértől elkülöníthető. Ehhez a völgyben 1986 után vizsgálatokat végző kutatócsoportok (ZÁRAY et al. 1991a, b; BEKŐ et al. 1992; HALMÓCZKI 1993; MARTH et al. 1994; ÓDOR et al. 1998 stb.) mintáinak elemzési eredményeit használtuk fel.

3. táblázat. A hordalék (stream sediment) háttérértékei és anomáliái (g/t) a Mátra hegységben

Table 3 Background values and anomalies (g/t) of the stream sediment in Mátra Mountains

elem	medián	anomáliaküszöb (háttér max.)	legnagyobb, mért érték
As	5,7	25	163
Cd	< 1	1	47
Cu	14	34	153
Pb	18,5	60	288
Zn	65	100	12 200

Háttér és anomália

Elvi alapok

A háttér és az anomáliák szétválasztása a geokémia egyik legősibb, örökké visszatérő problémája. E feladat különösen bonyolult azokban az esetekben, amikor a „háttér” maga is erősen heterogén: egyes kőzetek háttérértékei akár nagyobbak is lehetnek, mint mások erős anomáliái. A háttér heterogenitásának szemléletes példája egy olyan terület, aminek egyik részén mészkő, a másikon homok(kő) települ. A mészkő várható CaCO_3 -tartalma 90% fölötti, SiO_2 -tartalma pedig 0,5% alatti – a homokkőnél éppen fordítva. Ugyanezen kőzetek ritkaelem-(pl. Sr-) koncentrációi között akár 4–5 nagyságrend különbség is teljesen normális. Így Gyöngyösoroszi térségében a flotációs meddőhányó „háttérkoncentrációi” jóval nagyobbak pl. az ércesedés utáni, pannóniai üledékek kiugró értékeinél.

Mint a bináris felosztások többségében, a két fogalom „független” (a másakra nem hivatkozó) meghatározása meglehetősen nehézkes. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy e kategóriák roppant léptékfüggők: egy makroszkóposan „háttér” jellegű kőzet mikroszkóposan (amikor az egyes ásványokat külön-külön vizsgáljuk), jóformán kizárólag „anomáliából” áll; egy regionálisan egyértel-

műen háttér jellegű terület a részletes vizsgálatok során (nagyobb léptékben) anomáliák tarka kavalkádjának tűnhet.

Az Európai Unióban kétféle koncepció alapján szabályozzák a színesfémek talajban megengedhető koncentrációit: a jog alapja vagy a területhasználat módja (berlini lista) vagy az adott elem kellőképpen megismert természetes eloszlása (holland lista). Közös jellemzőjük az, hogy kizárólag határérték jellegű mennyiségeket tartalmaznak. A magyar környezetvédelmi jog (10/2000. együttes rend.) megpróbálta ötvözni e két koncepciót. Sajnos, ennek során várható érték jellegű mennyiségekként határozta meg a „toxikusnak” minősített elemek „háttér” koncentrációit, miközben „szennyezettségi” és a területhasználat módjától függő „beavatkozási” határértékeket állapított meg. A rendelet háttérnek mindig egyetlen, várható érték típusú koncentrációt tekint; a természetes változékonyságot és heterogenitást egyáltalán nem veszi figyelembe. E szakmai nonszensz helyett a háttér fogalmának földtani (tehát nem általános igényű) meghatározásához az alábbi, termodinamikai és reakciókinetikai megfontolásokból célszerű kiindulnunk:

— Minden földtani folyamat valamiféle egyensúlyi állapot kialakítása felé halad.

Ez az állapot jellemző egyrészt a folyamatra, másrészt a környezetre (a folyamatban részt vevő földtani képződményekre) – így ahány folyamat és ahány környezet, annyi végállapot.

— A földtani folyamatok nagy-nagy többsége annyira lassú, hogy az egyensúlyi állapot csak kivételesen ritkán alakul ki.

— A földtani idők során számos, a közeg összetételét befolyásoló folyamat követi egymást; ezek hatásai gyakran szuperponálódnak (mivel az előző pont értelmében az egyensúlyi állapot nem alakul ki).

— A földtani folyamatok időben átfedik egymást: egyszerre több hatás érvényesül.

— Nincsenek „üres idők”, amikor a földtani közeggel épp nem történik semmi az állandóan változik.

A felszíni mállás (és ennek részeként a talajosodás) olyan, rendkívül sajátos földtani folyamat, ami sosem juthat el valamiféle egyensúlyi állapot kialakításához, mert jellegéből adódóan mindig nyílt rendszerben, folyamatos anyagimporttal és exporttal megy végbe.

A földtani gyakorlatban azokat a kőzeteket tekintjük háttér jellegűeknek, amelyek kialakításában valamely kőzetképző (üledékes, magmás, illetve metamorf) folyamat dominált: következképp általunk észlelt, illetve mérhető paramétereik is döntően e folyamat következményei. A jogszabállyal összhangban nem tekintjük háttér jellegűnek a hidrotermális, antropogén stb. folyamatokkal kimutathatóan érintett képződményeket, a geokémiai csapdák elemódulásait stb.: ezek az anomáliák.

Háttér és anomália a Toka-patak vízgyűjtőjén

A háttér és az anomáliák különválasztásának három, markánsan különböző módszerrel próbálkoztam:

— a garantáltan szennyezés előtti, illetve egyéb okokból garantáltan nem szennyezett képződmények jellemezése;

- a gyakorisági maximumok környezetének különválasztása;
- a korrelálatlan geokémiai háttér elkülönítése.

A garantáltan nem szennyezett képződmények jellemzése

Háromféle, ilyen jellegű képződményt azonosíthatunk:

- a patakok felső folyásának ártéri üledékeit;
- a domboldalak és lejtők deluviális málladékat;
- a pannóniai üledékeket.

A patakok felső folyásairól gyűjtött, ártéri minták

A vízgyűjtőterület fő vízfolyása a Toka-patak, amit Károlytáró lakóteleptől, az Erős-p. és a Bánya-p. összefolyásától neveznek e néven. Az altáró és az egykori ércdúsító közötti szakaszon torkollik belé fő, jobboldali mellékvíze, a gyakorlatilag ércmentes területről érkező Szomor-patak, majd a falu alatt fő, baloldali mellékvíze, a Száraz-patak. Ez utóbbi torkolatában alakították ki 1966-ban a mezőgazdasági víztározót. A Száraz-patak kis, jobboldali mellékvölgye – a Száraz-ér – alsó szakaszát töltötték fel a flotációs meddővel.

Mivel a flotációs meddő a 16/2001. KÖM rend. értelmében veszélyes hulladék, a területen megfordult kutatók többsége fokozott figyelmet fordított vizsgálatára. A háttér és a szennyezés különválasztásának szándékával többen (ZÁRAY et al. 1991; BEKŐ et al. 1992; HALMÓCZKY 1993) a hányó környékéről is gyűjtöttek mintákat (4–5. táblázat).

Ezekhez meglehetősen közeli koncentrációkat határoztak meg (BEKŐ et al. 1992) a közeli Tarján-patak árterén gyűjtött, ellenőrző mintából (R-2):

Pb: 32; Zn: 107; Cu: 44; As: 23 g/t

A fenti eredmények közül leginkább az arzén koncentrációi ötlenek szembe: az As C_1 intézkedési szennyezettségi küszöbértéke 20 g/t (10/2000 egy. rend.). Az arzén-anómália területi jellegére már a térség korábbi kutatói (CSALAGOVITS et al.

4. táblázat. A Száraz-patak és a Száraz-ér árteréről, a flotációs meddőhányó fölötti szakaszon gyűjtött talajminták elemzési eredményei

Table 4 Results from analysis on soil samples collected at the floodplain of Száraz stream and Száraz brook, in the section above the flotation waste dump

msz.	cm, -tól	cm, -ig	völgy	Pb (g/t)	Zn (g/t)	Cu (g/t)	Cd (g/t)	As (g/t)	gyűjtötte	elemző labor	módszer
I/11	0	20	Száraz-ér	22	88	28	0,4	53	ELTE	ELTE	ICP ¹
I/3	0	20	Száraz-ér	37	150	142	0,5	32	ELTE	ELTE	ICP ¹
R-4	0	20	Száraz-p.		71			30	BME	BME	NAA ²
H-8/1	0	20	Száraz-p.	30,4	34	17,7	< 0,1		Halmóczki	ELTE	AAS ³
H-8/2	20	40	Száraz-p.	20,3	25	8,9	< 0,1		Halmóczki	ELTE	AAS ³
H-10/1	0	20	Száraz-ér	30,2	33	7,4	< 0,1		Halmóczki	ELTE	AAS ³
H-10/2	20	40	Száraz-ér	27,2	33	7,0	< 0,1		Halmóczki	ELTE	AAS ³
H-10/3	40	60	Száraz-ér	26,3	26	9,1	< 0,1		Halmóczki	ELTE	AAS ³

1 – feltárás: bomba, HNO₃. As: ICP-hidrid.

2 – neutron-aktivációs analízis.

3 – feltárás: hideg HNO₃. Atomabszorpciós analízis.

in: NAGY et al. 1986) is felhívták a figyelmet. Az Pb koncentrációja is több, mint a hazai várható érték (25 g/t)

Domboldalak és lejtők mintái

A pannon üledékek

Ugyanilyen jellegűek a MÁFI TFSz-1 sekélyfúrásának alsó szakaszán mintázott pannóniai üledékek. Ezek lepusztulási területe a jelenlegivel gyakorlatilag azonos volt, keletkezésük azonban nemhogy a bányászat, de egészében az emberi faj kialakulását is megelőzte:

5. táblázat. A flotációs meddőhányó környezetéből gyűjtött talajminták elemzési eredményei
Table 5 Results from analysis on soil samples collected at the environment of the flotation waste dump

msz.	cm, -tól	cm, -ig	Pb (g/t)	Zn (g/t)	Cu (g/t)	Cd (g/t)	As (g/t)	gyűjtötte	elemző labor	módszer
I/12	0	20	64	320	53	1,4	50	ELTE	ELTE	ICP
H-12	0	20	63,3	186	17,2	1,24		Halmóczy	ELTE	AAS
H-5/1	0	20	39,2	75	11,9	1,0		Halmóczy	ELTE	AAS
H-5/2	20	40	27,9	38	11,1	0,5		Halmóczy	ELTE	AAS
H-6	0	20	23,3	56	13,1	0,45		Halmóczy	ELTE	AAS
46-T2	0	20	44	79	43		24	BME	BME	RFF ¹

1 – röntgen-fluoreszcens.

6. táblázat. Toxikus elemek a Gyöngyös–Gyöngyöspata országút alatt települő pannóniai üledékekben
Table 6 Toxic elements in Pannonian sediments situated under the Gyöngyös–Gyöngyöspata road

msz.	Pb (g/t)	Zn (g/t)	Cu (g/t)	Cd (g/t)	As (g/t)	gyűjtötte	elemző labor	módszer
T/1/8	26,2	87	61	0,3	23	MÁFI	ELTE	ICP
T-1/9	55,3	110	67	0,3	16	MÁFI	ELTE	ICP

Már e szórványadatok alapján is valószínűsíthető, hogy az ártéren települő, kiugróan magas Pb-, Zn- és Cd-tartalmú lencsék-rétegek anyaga az intenzív bányaművelés beindulása után ülepedett le.

Összevont értékelés

Fenti elemzéseket közös háttérsokaságnak tekintve a háttér várható értéke viszonylag jól becsülhető a Hodges-Lehmann-féle mediánnal (7. táblázat).

Megállapíthatjuk, hogy a hegység egészére megadott háttérnél (8. táblázat, ÓDOR L. et al. 1999) az ólom és a réz így meghatározott helyi várható értéke mintegy kétszer, az arzéné csaknem hatszor nagyobb.

A gyakorisági maximumok környezetének különválasztása

Az anomáliák gyakorisági maximumhoz kötésének módszerét érckutatásra dolgozták ki a múlt század '80-as éveiben a moszkvai IMGRE intézetben, és a Zempléni-hegységben magunk is sikeresen alkalmaztuk (HORVÁTH et al. 1994; ÓDOR et al. 1999).

Mint az alapvetéseknél megfogalmaztuk, valamennyi földtani folyamat valamiféle „saját” várható érték felé mozdítja el a befolyásolt közegben mérhető elemek koncentrációit. A háttér jellegű értékek a háttér, az anomálisak pedig az

anomália várható értéke körül csoportosulnak, és így a gyakorisági görbén elkülöníthetőek. Természetesen túlzás lenne elvárni azt, hogy ezek a parciális eloszlások diszkrétan váljanak szét: igen ritka az olyan hisztogram, aminek szakadási helyei lennének.

A gyengébb anomáliák és a háttér összemosódása alapvetően két okra vezethető vissza:

1. A mintákat a legtöbb vizsgálathoz nem rétegenként, hanem előre meghatározott mélységintervallum(ok)ból gyűjtötték, tehát azok anyagában változó mértékben keverednek az üledéksor eltérő nehézfém-tartalmú tagjai;

2. Az ártéren a mezőgazdasági tevékenység során az anomális és a kevésbé szennyezett rétegeket rendszeresen összeforgatták; anyaguk keveredett.

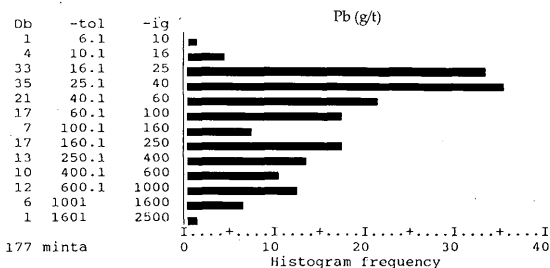
Ahhoz, hogy tisztázhassuk a 20. század második felében folyt, intenzív bányászkodás környezeti hatásait, háttérnek az ezektől mentes ártéri üledékeket kell tekintenünk. Ezt nem csak a természetes földtani folyamatok alakították: közrejátszik benne a korábbi bányászat és a növénytermesztés is, bár ezek hatása nem számottevő. A folyamatban részt vevő (és vizsgálható) elemek hisztogramjait a gyakorisági minimumnál két (anomálisnak, illetve háttérnek látszó) részre osztjuk (1. ábra), majd az így nyert információkat összegezzük: ez az úgynevezett additív index (ÓDOR et al. 1999). A kettőnél több gyakorisági maximumot mutató hisztogramokat értelemszerűen kettőnél több darabra kell tagolni.

7. táblázat. A háttér várható értékei a szennyezés fölötti és a pannóniai üledékminták alapján
 Table 7 Probable values of the background based on samples from above the contamination and from Pannonian sediments

elem	mintaszám (db)	várható érték (g/t)
Pb	16	33,1
Zn	17	73
Cu	16	30
Cd	14	0,4
As	8	30

8. táblázat. Tájegységi háttérértékek (g/t) a Mátra-hegységben (N = 104)
 Table 8 Regional background values (g/t) in Mátra Mountains (N = 104)

elem	háttér (várható érték)	háttér (maximum)
Pb	18,5	50
Zn	65	280
Cu	14	50
Cd	< 1	4
As	5,7	50



1. ábra. Az ólom (gH) eloszlása a Toka-patak árterén

Fig. 1 Lead distribution at the floodplain of Toka creek

9. táblázat. A háttér értéktartománya és az anomáliaküszöbök a Toka-patak árterén az egyes elemek eloszlási képei alapján (ÓDOR et al. 1998)

Table 9 Range of background values and anomaly-thresholds at the floodplain of Toka-stream based on the singular element distribution (ÓDOR et al. 1998)

elem	minta (db)	min. érték (g/t)	anomáliaküszöb (g/t)	max. érték (g/t)
As	184	15	65	276
Cd	272	< 0,1	3,1	25,5
Cu	164	51	200	273
Pb	276	19,7	60	1960
Zn	167	71	500	1733

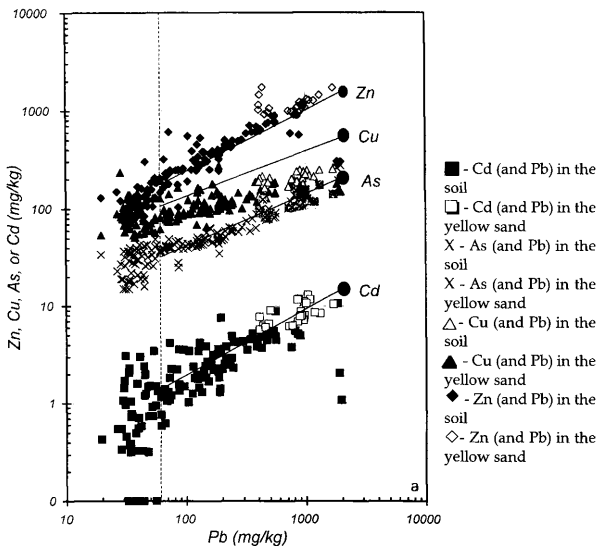
A 9. táblázat adatait a biztosan szennyeztelen minták alapján becsült háttér-értékekkel összevetve szembevetünk, hogy a hipergén körülmények közt kevésbé mobilis Pb és As szennyeztelen minták alapján várható háttérértéke a tényleges (ártéri) háttér tartományának nagyjából közepére esik, míg a mozgékony Zn és Cu az ártér minden pontján a „külső” minták alapján várható érték fölött, de legalábbis azzal azonos koncentrációval jelenik meg. A gyenge anomáliák és a háttér összemosódásának eredményeként a mozgékony elemekre (Cu, Zn) ezzel az eljárással feltűnően magas anomáliaküszöbököt kapunk: a monoelemes módszereknél ez nem ritka. Eppen ezért a valódi háttér meghatározására a multi-elemes eljárások többnyire célravezetőbbek.

A háttér becslése a korrelálatlanság hipotézise alapján

E megközelítés elvi alapja, hogy az areális erózió eredményeként lerakódó, háttér jellegű üledékek nehézfém-tartalma az adott elem adott területen várható értéke körül, véletlenszerűen ingadozik. — ez az ún. korrelálatlan geokémiai háttér. A teljes korrelálatlanság persze csak homogén közettani háttéren és oldatos migráció eredményeként várható el. Az ártéri rétegsorban változó agyagtartalom, egyértelműen kirajzolódó fizikai háttérjellegű rétegekkel érintkező és markánsan különböző kationabszorpciós kapacitású rétegek követik egymást, így a hipergén környezetben hasonlóan viselkedő elemek bizonyos mértékig együtt mozognak (2. ábra). A vizsgálatunkban szereplő és (többnyire a kiülepedés után) oldatba került színes- és nehézfémek közül az Pb, a Zn (és így a Cd), valamint a Cu jelentős részét abszorpciósan megkötik az agyagásványok: gyakorlatilag immobil. Pozitív korrelációkat eredményez az is, hogy a szennyezés forrása és lerakódása között a szállítás alapján törmelékeny: a vonszolt-görgetett, majd kiülepedő hordalék önálló ércásványokat tartalmaz. Ezek jó része viszonylag nagy fajlagos tömege folytán gravitációsán dúsul, és ún. torlatos „zsebekben”, lencsékben halmozódik fel. Más része – mivel a víz nem tiszta – felhabzik („flotálódik”), és áradáskor az elöntött rész peremén ülepszik ki. E folyamatok hatása már pár tucat mintából egyértelműen kimutatható.

A teljes korrelálatlanságot tehát a Toka-patak árterén sem várhatjuk el. A háttér és az anomália határát kb. azon koncentrációknál vonhatjuk meg, amelyeknél a korrelációs együtthatók többsége már nem szignifikáns és nem mindegyik pozitív.

A különválasztást iteratív eljárással oldottuk meg. Ennek során a teljes mintasokaságot – küszöbértékek mentén – úgy vágtuk szét (10. táblázat) két adatahalmazra, hogy az ezekben számított korrelációs együtthatók különbsége lehetőleg



2. ábra. Az ólom, illetve a cink, réz, arzén és kadmium koncentrációi a Toka-patak alsó folyása mentén. A szaggatott, függőleges vonal ($Pb = 60$ g/t) az ólom anomáliaküszöbe. A ferde vonalak az e szerint értelmezett háttér várható értékeiket kötik össze elemenként a flotációs meddő 16 elemzés alapján számolt, közepes fémtartalmaival.

Fig. 2 *Pb content versus Zn, Cu, As and Cd concentrations in samples collected along the lower course of Toka stream. The vertical dashed line represents the local anomaly threshold for Pb of 60 mg/kg. The solid mixing lines for each element connect the average concentration for samples with < 60 mg/kg Pb with the large solid symbol that is the average flotation waste composition as determined from 16 analyses*

minél nagyobb legyen. A „háttér” adathalmazban várható értékek a mediánt fogadtuk el.

Feltűnően magas a kadmium és az arzén így nyert anomáliaküszöbe: több, mint a C1 beavatkozási határérték (2, illetve 20 g/t). Azok a minták, amelyekben valamennyi, vizsgált fém koncentrációja a küszöb alatt marad, nagy valószínűséggel természetes lepusztulási termékek. Azok, amelyekben mindegyik koncentráció a küszöb

10. táblázat. Gyakrabban vizsgált színesfémek és az arzén háttérkoncentrációi a korrelálatlan háttér hipotézise alapján

Table 10 *Background concentrations of more often analysed non-ferrous metals and arsenic based on the uncorrelated background hypothesis*

elem	várható érték	háttér koncentráció-tartomány felső határa
As	35	80
Cd	< 1	2,5
Cu	42	75
Pb	35	75
Zn	80	210

fölötti, erősen szennyezettek. A szenny-nyezettség mértéke a háttér és a szennyező anyag (flotációs meddő) összetételének (várható értékeinek) ismeretében, azok lineáris kombinációjával becsülhető. Ez az ún. flotációs index, amit R. WANTY-val fejlesztettünk ki (ÓDOR et al. 1998).

Összevont becslés

A három, fentebb ismertetett eljárás eredményeként kaptunk 2-2 becslést a háttér várható értékére és az anomáliaküszöbre (a háttér felső határára). A várható értékek becslései (7., ill. 10. táblázat) csaknem azonosak, ami egyértelműen igazolja mindkét eljárás megalapozottságát. Komolyabb eltérés csak a réznél (30, ill. 42 g/t) észlelhető, de ez is kevesebb, mint 30 rel%. Figyelembe véve, hogy az első becslés igencsak kevés (és különböző megfontolások alapján válogatott) elemzésből kaptuk, a valóság föltételezhetően a korrelálatlan háttér 42 g/t-s értékéhez állhat közelebb. Általános tanulságként megállapíthatjuk, hogy a különféle színes- és ritkafémek helyi háttérértékei — a vízgyűjtő területen kifejlődött ércesedésnek köszönhetően — jóval magasabbak nemcsak az országosan várhatóaknál, de a Mátra hegységben egyebütt szokásosaknál is. Ezzel együtt csak az arzén és valamelyest a kadmium háttér tartománya terjed a C_1 beavatkozási küszöb fölé.

A hipergén körülmények között mozgékony Cu, Zn és Cd eloszlási képe alapján becsült anomáliaküszöbök jóval nagyobbak a korrelálatlan háttérből meghatározott értékeknél. A felszíni viszonyok közt sokkal kevésbé mobil Pb és As kétféle küszöbértéke viszont igencsak közeli – méghozzá úgy, hogy a monoelemes becsléssel kapott értékek a kisebbek. Meglehetősen egyértelműnek látszik, hogy a különbség oka a lerakódás utáni elemmigráció az ártéri üledékben. Az előntések, csapadék stb. hatására kialakuló pórúsvízben apránként feloldódnak a kiüledett ércásványok: az ionok egy része az agyagásványokon adszorbeálódik, más része — az üledék kiszáradása folytán — szulfát- és karbonátásványok formájában újra kiválik (ÓDOR et al. 1998). Az egyelemes eloszlási képeken ez „kiszélesíti” a hátteret: az mintegy összeolvad az így kialakuló, másodlagos anomáliákkal. Mint ezt a ^{137}Cs -izotópos kiegészítő vizsgálatok (RENNER 1995) kimutatták, az ártéri zátonyokban lerakódott szennyezés folyamatosan terjed lefelé. Az átalakuló anyagban a mozgékony, érces alkotók együtt jelennek meg, ezért a multielemes megközelítés leválogatja őket a háttérről — tehát az anomáliaküszöbök közül is a korrelálatlan háttérből kapottakat célszerű elfogadni: az adott körülmények között ez a háttér leválogatásának leghatékonyabb módja.

Irodalom – Referencés

- BEKŐ J. szerk. 1992: Gyöngyösorszi és környéke nehézfém-szennyezettségének vizsgálata. – Szakdolgozat. Kézirat, BME Mezőgazdasági és Kémiai Technológiai Tanszék.
- HALMÓCZKI Sz. 1993: Környezetgeokémiai vizsgálatok Gyöngyösorszi térségében. – Szakdolgozat. ELTE TTK Alkalmazott és Műszaki Földtani Tanszék. Kézirat, p. 78.
- HARTIKAINEN, A., ÓDOR, L., Ó. KOVÁCS, L. & FÜGEDL, U. 1993: Regional Geochemical Survey of the Tokaj Mountains, Northeast Hungary. – Geologian Tutkimuskeskus, Espoo. 32 p.

- HORVÁTH I., ÓDOR L. & FÜGEDI U. 1993: Aranyindikációk a Tokaji-hegységi geokémiai érc kutatásban. – *Földtani Közöny* **123**, 363–378.
- MARTH P., SZABADOS I., KISKÉRI R., IKLÁDY G. & PETRÓ E. 1994: jelentés „A Toka-patak nehézfémekkel szennyezett árterületének mentesítését megalapozó vizsgálatok” című kutatási szerződés – környezeti állapot felmérés – talaj- és növényvizsgálatok – részfeladatról. – Budapest Fővárosi Növényegészségügyi és Talajvédelmi Állomás, Környezetvédelmi Osztály. Kézirat, 37 p.
- NAGY G., CSALAGOVITS I., CSILLAGNÉ TEPLÁNSZKY E., FÜGEDI P. U., KALAFUT M. & VETŐNÉ ÁKOS É. 1986: Ércföldtani előkutatás a Középső és Nyugatmátra területén, 1980-85. – MÁFI, Budapest. Kézirat, 341 p.
- ÓDOR, L., WANTY, R. B., HORVÁTH, I. & FÜGEDI, U. 1998: Mobilization and attenuation of metals downstream from a base-metal mining site in the Mátra Mountains, northeastern Hungary. – *Journal of Geochemical Exploration* **65**, 47–60.
- ÓDOR, L., WANTY, R. B., HORVÁTH, I. & FÜGEDI, U. 1999: Environmental signatures of mineral deposits and areas of regional hydrothermal alteration in Northeastern Hungary. – *Geologica Hungarica series Geologica* **24**, 107–129.
- RENNER J. 1995: A Toka-patak (Gyöngyösorszi-Gyöngyös) árterén talajviszonyok radioaktivitásának vizsgálata segítségével a mesterséges radioaktivitást mutató szintek jellegének és eredetének meghatározása. – Kézirat, ELGI, Budapest.
- VARGA Gy. (szerk.) 1975: A Mátra hegység földtana. – *MÁFI Évkönyve* **52/1**, Budapest, 575 p.
- ZÁRAY G., VICSEVNÉ MIKÓ M. & LIPROVICS J. 1991a: Összefoglaló jelentés a Toka-patak környezetében végzett növény- és talajkémiai vizsgálatokról. – ÁNTSZ, Eger. Kézirat, 6 p.
- ZÁRAY Gy., VARGA I., HORVÁTH Zs., LÁSZTITY A. & KÁNTOR T. 1991b: Érces meddőhányók hatásterületének környezetvédelmi vizsgálata. I. Toka-patak völgye. – ELTE TTK Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék. Kézirat, 10 p.
- 10/2000. (VI. 2) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendelet A felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről.
- 16/2001. (VII. 18.) KÖM rend. A hulladékok jegyzékéről.
- Kézirat beérkezett: 2003. 09. 01.