

TOVÁBBKÉPZÉS

A GEOKÉMIA SZEREPE A FÖLDTANI KUTATÁSOKBAN

KOCH SÁNDOR*

Századunknak, az épülő szocializmus századának rohamlépésben gépesített ipara és közlekedése rendkívüli ütemben fogyasztja az ásványi nyersanyagokat. E század eleje óta a Föld készétermelése több, mint háromszorosára, vastermelése több, mint háromszorosára, réztermelése közel ötszörösére, nikkeltermelése több, mint huszonegyszeresére, kőolajtermelése több, mint huszonötszörösére száguldott fel. Századunk fémjei, az acélnemesítők és a könnyűfémek közül az 1900-as évek elején csak az alumínium szerepelt 7500 t-val, szemben a mai 1,500.000 t-val. A magnézium és berillium még csak laboratóriumi termék volt, s ma már az előbbiből is 500.000 t felé jár az évi termelés.

Az ásványi nyersanyagoknak azelőtt nem sejtett ütemű fogyása kapcsán felmerült a kérdés, hogyan bírják ezt a fokozott iramot az aknázott bányahelyek, pótolni tudjuk-e a kimerült készleteket. Az 1912. évi torontói földtani kongresszus, mely a kőszénrel és a vasércekkel foglalkozott, e kérdésre megnyugtató választ adott. E két ásványi nyersanyagból az akkor ismert készleteket évszázadokra elegendőnek minősítették. Azóta a fogyasztás emelkedése ellenére is a készletek jelentős növekedéséről számolhatunk be.

Annál nagyobb megdöbbenést keltett a dollárok hazájában, 1916-ban, R. A r n o l d geológusnak az a megállapítása, hogy az Egyesült Államok kőolajkészletei, az akkori fogyasztást véve alapul, csak 22 esztendőre elegendők. Azóta 37 év telt el, a fogyasztás rendkívüli mértékben emelkedett (bár jórészt behozott kőolajat fogyasztottak), de a készletek ma jóval nagyobbak, mint amilyenekkel nevezett geológus annak idején számolt.

Igy állunk a többi fontosabb ásványi nyersanyaggal is. Fogyasztásuk rendkívüli emelkedése ellenére sem beszélhetünk az ismert készletek kimerüléséről, sőt a legtöbb anyag tartalékai jelentősen gyarapodtak. Mindezt a geológusok munkájának köszönhető.

Mivel az első világháború előtt az ember a szárazföld felületének 52%-át csak kevéssé, 19%-át viszont egyáltalában nem ismerte földtanilag, lehetségesek voltak még a háború után is oly jelentős leletek, mint Merensky-é Dél-Afrikában (gyémánt, platina, krómérc), Kurnakov-é és főként Ferssman-é a Szovjetunióban (kálisó, apatit, vasérc, ritkaföldek).

Ma már elmúltak azok az idők, mikor Földünk kérgének kincsei, gazdag felszíni kibúvásokkal, a szó legszorosabb értelmében kínálták magukat az ember számára.

Pedig ma, amikor csak egy repülőgép vagy harckocsi előállításához 65 különböző elemet igényel, az érdeklődés úgyszólván napról-napra nő minden egyes hasznosítható ásvány után.

A növekvő szükséglet az igények leszállítását eredményezte. A múlt századokban a bányász főként gazdag lelőhelyeken dolgozott és csak dús ércet fejtett. Ma ércé lépett elő a tenger vize is, a termelés súlypontja a fémekben aránylag szegény nyersanyagokra helyeződött. Fémekben szegény ércelőfordulások u. i. — hatalmasabb kiterjedésük miatt — nem egyszer jóvalta nagyobb fémkészleteket jelentenek, mint a régi, dúsércű, de kicsiny előfordulások.

* Előadta a M. Földtani Társulat 1952. XI. 19-én tartott oktatási ankétján.

Kazahsztán többmillió tonna fémrezt jelentő rézércceinek, az amerikai u. n. porfir-rézércceknek átlagos fémtartalma 1% körüli. A világ leggazdagabb molibdén előfordulásának átlagos fémtartalma 0,6%. A WO_3 még 0,4%-os előfordulás mellett is érdemes a kitermelésre.

E fémekben szegény ércek feldolgozását az egyre fokozódó kereslet követeli meg és az előkészítés és feltárás folyton tökéletesedő módszerei teszik lehetővé.

Ezeknek a fémekben szegény s a Föld felszínén nem jelentkező (laterites talajjal, gleccser-hordalékkal takart, kisebb-nagyobb mélységben meghúzódó) ércelőfordulásoknak felkutatásához a klasszikus földtani módszerek már nem elegendők. Újakat kell bevezetni. Igénybe kell venni a természettudományok legfiatalabb ágainak, a geofizikának, geokémiának segítségét. A jelenleg művelt ércbányák 80%-át még véletlenül fedezte fel az ember, új előfordulások felkutatása azonban már mindenütt rendszeres kutató munkát igényel.

Elsőül a geofizikai módszereket vette igénybe a geológus s a kőolajkutatásban ezeké a vezető szerep. Alkalmasak a geofizikai módszerek vasérc kutatásra is; kísérleteznek velük egyéb ércek kutatása terén is, bár erősen korlátozza használatukat, hogy anyagi minőséget nem jeleznek. Sok fontos fém (*Ni, Co, Sn, W, Sb, Pb, Zn, Hg, Mo*) érceinek kutatására a geofizikai módszerek nem, vagy csak igen körülményesen használhatók. Joggal állapította meg egy kiváló olajgeológus, hogy az ércek földtani kutatása egy negyedszázaddal elmaradt a kőolajé mögött. Elmaradt, mert ércekből voltak még ismert készletek, egyelőre tehát fontosabb feladatnak tetszett a napról napra nagyobb mennyiségben igényelt kőolaj felkutatása. Mikor — különösen a második világháború alatti és utáni gyors ipari fejlődés kapcsán — egyes fémekből is mind nagyobb lett a szükséglet, csökkentek az ismert készletek, az érckutató geológus is segítség után nézett. Ezt — úgy látszik — a geokémiában fogja megtalálni.

A geokémia a vegyi elemek atomjainak és ionjainak átlagelterjedését, vándorlását és ezek törvényszerűségeit kutatja s Föld különböző öveiben, a geo-, hidro-, atmo- és bioszférában. Tulajdonképpen hatalmas összesítésnek indult, mely a vegyészek, mineralógusok, biológusok, csillagászok szolgáltatta óriási adathalmazt használta fel alapjai lerakásához. Ez alapokon továbbépülve azonban kutató tudománnyá vált, mely a vegyi elemek atomjainak, ionjainak történetét kutatja, követve vándorútjukat.

Hogy a természettudományok e fiatal hajlásának eredményeit a gyakorlatban is hasznosítani lehet, erre először szovjet tudós, Ferszmann gondolt. Már a huszas évek elején, amikor iskolájával a hatalmas kolai apatittelepek felkutatását megkezdte, nem elégedett meg e páratlanul gazdag lelőhely mintaszerű ásvány-kőzettani leírásával, hanem geokémiailag is feldolgozta, majd még több területet dolgozott fel hasonló módon. Megszülettek az újonnan feltárt szovjet érctermő helyek Ferszmann-táblái, melyek a Mendelejev-rendszerbe illesztve mutatják ezek uralkodó járulékos és ritka elemeit. Megállapította, hogy a jellemző elemkombinációk és Földünk földtani egységei között határozott összefüggés mutatható ki, hogy vannak, mint ő nevezte, geokémiai provinciák. Egy-egy geokémiai provincian belül bizonyos vegyi elemek előfordulásának valószínűsége igen nagy, más elemeké viszont valószínűtlen. Ez a megállapítás különösen a ritkább elemek kutatására nagyjelentőségű. Ferszmann az elemek együttes előfordulásának törvényszerűségét alkalmazta a gyakorlatban, egyes svéd kutatók, de különösképpen a moszkvai Lomonoszov-egyetem szakemberei a nyomelemek vándorlásának megismerésére építették ki vizsgálati módszereiket.

Elgondolásunk alapja az, hogy többé-kevésbé minden elem oldódik vízben. Ha az önkövet, ezt a nagyon nehezen oldódó ásványt vízben rázzuk, a vízben már 8 óra múlva kimutathatjuk spektrográffal a Sn-t. Aranyat 60 óráig kell vízzel kezelnünk, hogy nyomai a vízben észlelhetők legyenek. Elképzelhető, hogy a természetben a légköri tényezőknek esetleg évmilliókig tartó ostroma alatt a felszínközeli vagy éppen felszíni kibúvások érceinek fémtartalmából mennyi meggy oldatba. A bányavíz néha jelentős mennyiségben tartalmazza a bányá-

érceinek fémjeit. Az éretelér vagy tömzs kibúvása közelében nemcsak a talajvízben, hanem a kibúvás környékét borító talajban is kimutatható a telér fémjeinek feldúsulása: a talaj fémtartalma esekély ugyan, mégis többszöröse a lelőhelytől távol fekvő, rendes talajénál.

Rendszeresen gyűjtött talaj- és talajvízminták különleges analitikai, illetve spektroszkópiai vizsgálata révén sok esetben lehetséges a rejtett érctest felkutatása. A talaj igen esekély nehézfémtartalma — még pedig egyes növényfajok élettevékenységeinek eredményeképpen — természetes úton is feldúsulhat.

Egyes növényfajok bizonyos fémeknek rendszeres nagyobb mennyiségét jelzik a talajban, mert bizonyos fémekben gazdagabb talajokat kedvelnek. Így a *Viola calaminaria* a *Zn*-nek, az *Amorpha canescens* a *Pb*-nak, az *Equisetum arvense* az *Au*-nak, a *Convolvulus althacoides* a *P*-nak jelző növénye. Rendszeresnél erőteljesebb példányaik tömeges előfordulása az illető elemnek átlagosnál nagyobb mennyiségét jelzi a talajban. S e h w a n e c k e r professzor a 40-es évek elején az Alsó-Harzbán kutatott vasérc után, azonban a bukkerdővel borított löszös területen, feltárások híján sehogy sem boldogult. Figyelmes lett ellenben arra, hogy egy jelentős sávon sok, feltűnően kék színű *Oxalis* és piros *Anemona* virított. Kutató aknákat mélyesztve, a növényzet jelezte sávon vasérere bukkant.

Tudományosan a biogeokémia megalapítója, V e r n a d s z k i vizsgálta először a növények elemfelhalmozó működését, és rámutatott arra, hogy a szervezetek életműködésük során egyes nehézfémeket a talaj szolgáltatva vizes oldatokhoz képest $n \cdot 10^4$ — $n \cdot 10^5$ mértékig feldúsíthatnak. Ugyanerre mutatott rá Goldschmidt is. Egyes növények hamujában a felhalmozott nehézfémet (különösen a *Zn*, *Pb*, *Cu*, *Au*, *Ag*, *Co*, *Ni*, *As*, *Mn*) könnyen kimutatható.

A geokémikusok részére kínálkozó utakon először szovjet és svéd kutatók indultak el a harmincas évek legelején. Ők vizsgálták először következetesen azokat a geokémiai rendelkezéseket, melyek az érees vidékek talajában, az onnan származó talaj- és folyóvizekben és az ott élő növényi szervezetekben észlelhetők. Eredményeik láttán az amerikaiak is bekapcsolódtak a vizsgálatokba, az USA földtani intézete külön geokémiai osztályt állított fel. Kimutatásuk szerint 1947-ig bezárólag 20 szovjet, 14 skandináv és 10 amerikai munka jelent meg e tárgy köréből. Azóta egyetlen esztendő termése nagyobb e számok összegénél.

A gyűjtött vízmintákat diphenilthiokarbazonnal (dithizonnal) vizsgálják. E szerves vegyület fémionokkal belső komplexeket képez s e csapadék széntetrahloridban és kloroformban igen erős színnel oldódik. A kapott szín a fémek ionrádiusának emelkedésével az ibolyától a vörös felé tolódik el. *Zn* semleges, lúgos és ecetsavas közegben bíborvörös színt ad és 0,004 mg-os mennyisége kolorimetrikus úton még kimutatható. *Pb* szintén vörös színt ad és 0,005 mg-ja észlelhető kolorimetrikusan. A kapott színreakciók irányítják a kutatás menetét.

Több fém ad komplexet dithizonnal, de a p_H beállításával a módszer szelektívvé tehető. Néhány fém kicsiny, 4—5,5 p_H -nál kivonható, az *Ag*, *Au*, *Hg*, *Cu*, *Bi*, *Pb*, *Cd* thioszulfát komplexei sokkal állandóbbak, mint a dithizonátok. Tehát a zavaró fémek 4—4,5 p_H -nál nátriumthioszulfát vagy nátriumcianid segítségével eltávolíthatók. *Ca*, *Fe*, foszfátok zavaró hatása citrát-pufferral küszöbölhető ki. Az *Al* csak nagy mennyiségben zavar. *Co*, *Ni* α -nitroso β -naphthol, illetve dimetilgioxim segítségével távolítható el.

A talajmintákat káliumpiroszulfáttal tájékoztatják fel, vagy salétromsavval oldják ki és nehézfémtartalomra ugyancsak dithizonnal vizsgálják. Tájékoztató víz- és talajvizsgálatok terepen is elvégezhetők. Pontos eredmények csak laboratóriumi vizsgálatoktól várhatók. A geobotanikai vizsgálatok kémiai része csak laboratóriumban végezhető el.

Az ércutató geokémiai módszerek alkalmazásához szükséges volna az édesvizek és a reudés talajok átlagos nyomelem-tartalmának ismerete. Clark e és Goldschmidt nyomán a kutatók százai adták meg egy-egy nyomelem átlagos mennyiségét a földkéregben, illetve bizonyos kőzetekben, ezekkel az

értékekkel azonban speciális esetben nem sokra megyünk. Clark e és munkatársai szerint

a kőzetek átlagos nyomelem tartalma	40 g/t Zn	100 g/t Cu	20 g/t Pb
R a n k a m a szerint finnországi más kőzetekben van	132 g/t Zn	70 g/t Cu	16 g/t Pb
A l m o n d szerint koloradói riolitban van	17 g/t Zn	3 g/t Cu	1 g/t Pb
A l m o n d szerint koloradói bazalt-porfirban van	56 g/t Zn	57 g/t Cu	42 g/t Pb

Talajmintáknál ugyancsak igen eltérők a nyert átlagértékek:

R a n k a m a szerint	Zn 32—71	Cu 17—28	Pb 8—12	g/t
A l m o n d szerint	Zn 110	Cu 32	Pb 50	g/t

A mondottak következtében a vizsgálatokat mindig a kutatási terület kőzeteinek, talajának átlagos fémtartalma meghatározásával kell kezdenünk.

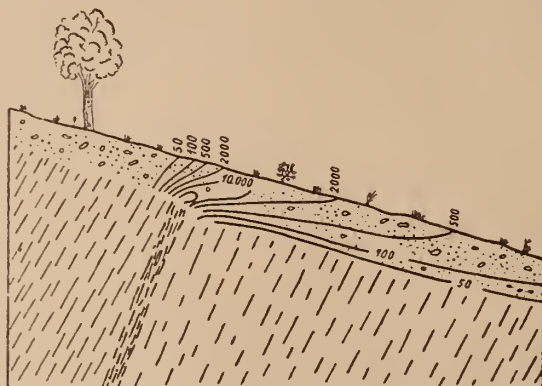
A talajok nehézfém-tartalma általában 3 tényezőtől függ: 1. a talaj agyagtartalmától, 2. a talaj szervesanyag-tartalmától és 3. a talaj pH -jától. A réz és cink nagyobb szervesanyag-tartalmú agyagtalajokban gyűlnek meg inkább, savanyú talajokból eltávoznak. Az ólomra nézve semmi szabályszerűséget nem észleltek. Mivel a talaj az alatta fekvő anyakőzet nehézfém-tartalmát tükrözi, az érc-tartalmú kőzetet fedő talaj fémtartalma általában kiugró értéket ad. Geokémiai szempontból rendkívül érdekesek és értékesek azok az adatok, melyeket szovjet geokémikusok bocsátottak közre a Szovjetunió talajfajtáinak réztartalmára vonatkozó tervszerű vizsgálataik eredményeül. Spektrográffal átvizsgálva a különböző talajnemeket, kiderült, hogy a vörösföldek réztartalma 0—130 cm talajmélységig alig változik, átlagban $1/4—1.32 \cdot 10^{-2}$ nagyságrendű. Olivin-bazaltokat borító sárgaföldeké 30 cm mélységig $1,1 \cdot 10^{-2}$, de már fél méter mélyen $9,2 \cdot 10^{-3}$, szóval a mélységgel csökken. A kilúgzott feketeföldek réztartalma közepes, a lözegé és az erősen podzolos homoktalajoké kicsi. Előbbiét $3,2—1,6 \cdot 10^{-3}$, utóbbiakét $1,1 \cdot 10^{-3}—3,10^{-4}$ nagyságrendűeknek találták. Utóbbiakban a talaj felsőbb szintjeiben található a nagyobb Cu-tartalom s e tény a kutatók biológiai felhalmozódással magyarázzák. Ezen vizsgálatok eredményeivel kapcsolatban megállapították, hogy a Fekete-tenger iszapjában azért jelentősebb a réznek mennyisége, mert folyóinak vízgyűjtőterületén a vörös- és feketeföldek az elterjedettebbek, míg a Fehér- és Barents-tengereik iszapja azért szegény rézben, mert ezekbe a tengerekbe ömlő folyók vízgyűjtőterületén a podzol és tőzegtalajok vannak túlsúlyban.

Mint a szovjet kutatók, úgy a svédek is azt állapították meg kutatásaik során, hogy minél nagyobb a talaj humusztartalma, annál jelentősebb mennyiségű nehézfémet képes megkötni. A svédek hazájuk közönséges talajainak átlagos réztartalmát t-ként 20 grammban adják meg.

M a l j u g a szovjet geokémikus a déluráli bázisos magmás kőzetek mállása révén keletkezett és ezen kőzeteket fedő talajokat vizsgálta Ni- és Co-tartalomra. Megállapította, hogy Ni-tartalmuk átlagosan $4 \cdot 10^{-3}$, Co tartalmuk $1 \cdot 10^{-3}$ nagyságrendű, az átlagos Ni : Co arány tehát 4 : 1. Nikkel lelőhely feletti talajnak Co tartalmát $1,7 \cdot 10^{-2}$, Ni-tartalmát $2,4 \cdot 10^{-1}$ nagyságrendűnek észlelte, a két fém közötti arány tehát 15 : 1-hez tolódott el a Ni javára. A két fém feldúlulása a legfelsőbb talajrétegekben volt a legjelentősebb.

S z e r g e j e v, a világszerte ismert szovjet geokémikus, sok évi kutatásának tapasztalatai alapján megadta sematikusán, hogy egy telérkibúvás felett és a környéki talajban hogyan oszlik el a telér fémtartalma, ha a telérkibúvás domb-, hegylejtőben fekszik (1. ábra). Látjuk vázlatán, mely egy telért ábrázol, hogy a telér feletti domboldal talajának fémtartalma nem tér el a rendes talajtól, közvetlenül a telért fedő és a telértől lefelé húzódó domboldal talaja azonban igen jelentősen dúsult azokban a nehézfémekben, melyeket a telér ércei tartal-

maznak. Látjuk azt is, hogy a feldúsulás mindig a legfelsőbb talajsintekben a legjelentősebb. (A vázlaton megadott számok g/t nehézfém tartalmat jelentenek.)



1. ábra*

A szovjet tudósok munkásságának eredményein felbuzdulva, hatalmas felszereléssel vágtak neki az amerikaiak is hasonló vizsgálatoknak, és hogy a módszert kikísérletezzék, 14 ismert ércelőfordulás közelében megvizsgálták először az érc kibúvástól távol fekvő, közönséges, majd a kibúvás feletti és közvetlen közelében lévő talajok nehézfém (*Zn*, *Cu*, *Pb*) tartalmát. Ugy találták, hogy míg a közönséges talajok e három fémből egyenként átlag 20–200 grammot tartalmaznak t-ként, addig a telért közvetlen fedő talajrétegben a fémtartalom 10,000 g/t-ra, tehát 1%-ra is felszökhet. Szerintük a talaj réztartalma a telér kibúvások fölött az átlagosnak 106-szorosáig, ólomtartalma 170-szereséig, cinktartalma ellenben csak 11-szereséig emelkedik. Munkájukat azzal kezdik, hogy az átkutatandó területről 20–30 méteres merőleges hálózat szerint mintát vesznek. A mintát gyors módszerrel mindjárt a helyszínen megvizsgálják s egy durva tájékoztatást nyernek. Az észlelt eredmény alapján jelölik ki a térképen észlelt geokémiai anomáliát, mely a rejtett ércelőfordulásra utal. A minták pontos vizsgálata a laboratóriumban történik.

Míg sík területen a talajban észlelhető geokémiai anomáliák gyűrűszerűen veszik körül az ércet, addig hegyoldalban az ércelőfordulás vagy kibúvás feletti terület, mint azt *S z e r g e j e v* ábráján is láttuk, csak csekély vagy semmi anomáliát nem mutat, éles a kiugrás azonban közvetlen a telér kibúvását fedő talajrétegben és a domboldalban a telér kibúvás alá eső területen, ahol azonban aránylag gyorsan csökkenve, hamarosan átlagosba megy át.

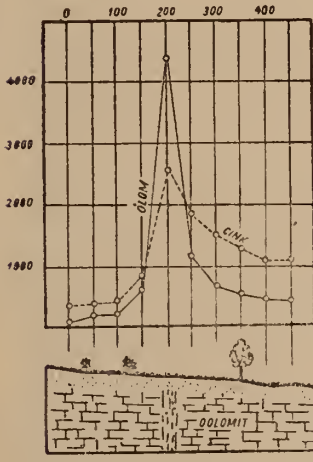
L y m a n n C. H u f f három különösen jellemző és érdekes ábrája igazolja ezen geokémiai módszer használhatóságát és alátámasztja egyben *S z e r g e j e v* megfigyeléseit.

Wisconsin állam területén, egy dolomitban futó, igen enyhe hajlású domboldalnak a kibúvás fölé eső részén, a kibúvástól 60 m-re már csak valamivel az átlagos feletti nehézfém-tartalmat ad (2. ábra). 400 g/t *Zn*-t és 110 g/t *Pb*-t tartalmaz. A kibúvástól 45 m-re a *Zn*-tartalom 430-ra, a *Pb* 230-ra, 30 m-re a *Zn* 420-ra, a *Pb* 270-re, 15 m-re 800 és 550 grammra s a telér kibúvását közvetlenül fedő talajban a *Zn*-tartalom ugrásszerűen 2600, a *Pb*-tartalom pedig 4400 grammra emelkedett. Az anomália azonban a kibúvástól távolodva gyorsan csökken, különösen hirtelen esik az ólom mennyisége. A kibúvás helyétől 15 m-rel lefelé vett talajminták *Zn*-tartalma már csak 1900, *Pb*-tartalmuk 1100 grammra, 30 m-re 1500 és 690 g-ra csökken. A *Pb* tehát aránylag gyorsabban tűnik el a

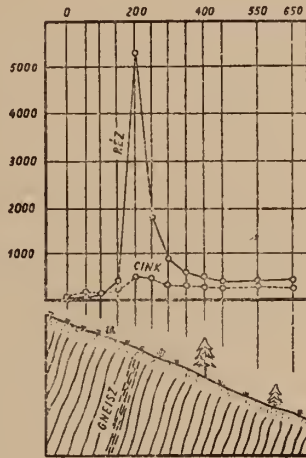
* Az ábrákon a méretek lábban vannak megadva.

talajból, mint a *Zn*. Mint látjuk, a *Pb*-tartalom a telértől 75 m-re a maximális értéknek már $1/9$ -ére, míg a *Zn*-tartalom alig többre, mint felére csökkent csak.

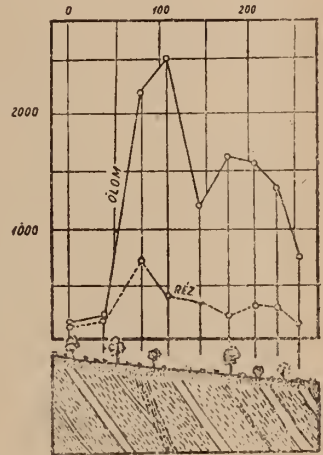
A másik nagyon tanulságos példát egy koloradói, gneiszben futó, rézérc-tartalmú telér, a Malachit-telér szolgáltatta (3 ábra). Fém-tartalma a meredek hegyoldalon 60 m-re a telér kibúvása felett már jelentkezik a talajban, már itt 50 g/t rézet kapunk. Lassan emelkedik, hogy a kibúvást fedő rétegben hirtelen szökjön fel 5300 g/t-ra, a rézet kísérő *Zn*-tartalom 500 g/t-ra. Távolodva a kibúvás helyétől, az esés a réznél igen gyors, már 18 m-re csak 1900 g/t az érték. Míg tehát réznél az emelkedés a kiindulási helytől a maximális értékig 106-szoros, *Zn*-ből csak hatszoros. A meredek lejtőn leszivárgó víz messze elviszi a telérből kioldott fémek nyomait, a telérkibúvástól még 133 m-re is 440, illetve 210 g/t a talaj *Cu*-, illetve *Zn*-tartalma.



2. ábra.



3. ábra.



4. ábra.

A geokémiai anomáliák nem gyűrűszerűen veszik körül a telérkibúvás helyét, hanem egy irányban, a lejtő irányába, elhúzódnak.

Érdekes az északkarolinai Union rézérc-telér okozta geokémiai anomália is (4. ábra). A telér kvarcitban húzódik, enyhén hajló domboldalon lép ki, fölötte eléggé vastag talajtakaró terül el. Az aránylag enyhe hajlat az oka, hogy a telér kilépése feletti domboldalszélben 28 m-rel a kilépés pontja felett már 150 g/t ólmot és 160 g/t rézet találunk a talajban és ez a mennyiség a telér fölötti talajrészben 2200 g/t ólomra és 720 g/t rézre emelkedik. Ólomban a talaj maximális tartalmát 10 m-re a kibúvás alatt éri el. 2500 g/t-val, a réztartalom ellenben itt már 430 g/t-ra csökkent. Egy, a főrel párhuzamosan futó kisebb telér az oka, hogy a talaj fémtartalma még egyszer emelkedik, hogy utána meredeken essék.

Mint a bemutatott, igen szemléltető ábrákból látható, a talajban jelentkező és kimutatható geokémiai anomáliák igen jó indikációkat nyújtanak a talaj fedte kőzet érc-tartalmára vonatkozólag.

A talajvizsgálatokkal párhuzamosan végzi a kutató geológus a talajvizek, a terület átszelő patakok, folyók vizének vizsgálatát. Különösen fontosak ezek a vizsgálatok nehézfémeket kevésbé megkötő talajok esetében. A Szovjetunióban tervszerűen vizsgálták végig nyomelemekre egy-egy nagyobb folyórendszer vizét a torkollattól folyás ellenében haladva, első sorban *Zn* és *Cu*-re. A jelentkező anomáliákat a mellékfolyók, patakok mentén követve jut el a geológus az anomáliát létrehozó talaj, illetve az ércet jelző kőzet vidékére. Ezt, a szovjet szakemberek kidolgozta geokémiai módszert kiváló sikerrel alkalmazták Nigériában.

Nigéria déli részében az ércet tartalmazó krétakorú üledékes kőzet igen erőteljes laterites mállást szenvedett, a kőzeteket vastag maradéküledékes talajréteg borítja, elfedve az ércetek, telérek kibúvását. A több, mint 100 km átmérőjű területen semmi feltárás nem volt, így a klasszikus geológiai módszerekkel a kutatók nem boldogultak. Megkísérelték a terület talaj- és patakvizzeit megvizsgálni s ezen vizsgálatok pozitív eredményei alapján sikerült az érces területeket körülhatárolniok. A siker láttán elhatározták egész Dél-Nigériának ezen geokémiai módszerrel való átkutatását.

Végére hagytam a leggyakrabban alkalmazott és a legjobb eredményeket szolgáltató geobotanikai módszerek ismertetését. Mint már említettem, a növények, különösen egyes növényfajok, nehézfém feldúsító képessége régen ismert. Ez a feldúsulás elsősorban a növény zöld részeiben a levelekben, következik be, mert a párolgás itt a legerősebb. A lehullott levelekből a korhadás folyamán a könnyen oldódó szervesetlen vegyületek hamarosan kilúgozódnak, míg a nehézfémek nehezen oldódó vegyületei lassabban távoznak el. Az avar lassan elkorhadva, nehézfém-tartalmát a humusznak adja át. Az avar felső rétegeiben felhalmozott leveleket elhamvasztva, a hamuból a nehézfémeket egyszerű analitikai vagy spektroszkópi módszerekkel kimutathatjuk. Lehullott levelek helyett, a vizsgálatok szerint, jobbnak bizonyult élő növények használata. Különösen a *Zn*, *Ag*, *Pb*, *As*, *Mn*, *Ni*, *Co*, de a *Cd*, *Se*, *Tl*, *Be* is hajlamosak biokémiai felhalmozódásra. Hogy milyen mértékű lehet ez a felhalmozódás, erre vonatkozólag Rankama megemlíti, hogy aranyelőfordulás vidékén gyűjtött mezei zsurló hamujában 154 g/t aranyat is észleltek már amerikai kutatók.

Kísérleti célból először két svéd kutató, Palmquist és Brudin végzett geobotanikai kutatásokat Dél-Anglia ércteleptanilag jól ismert vidékein a 30-as évek vége felé. Cornwall, Devonshire és Wales bányavidékein gyűjtött növények hamujának elemzése alapján sikerült, még ezen régi bányászattal rendelkező vidéken is, új ón és wolfrám előfordulásokat felfedezni.

Ugyanezen időben Svédországban is folytak kísérletek és pedig főként abban az irányban, hogy alkalmazható-e a geobotanikai módszer vastagabb, jégkori törmeléktakaróval borított vidéken is. Az eredmények azt mutatták, hogy vastag talajtakaró és bonyolult morénaképződmények ellenére is megfelelő a módszer, melynek segítségével sikerült Közép-Svédországban *Cu*, *Ni*, *Pb*, *W*-ércetek indikációkat nyerni.

Rankama, a geobotanikai módszer egyik legkiválóbb úttörője, a Pet-samo vidéki kaulatunturi nikkelerctömzs kibúvásánál gyűjtött növények hamujában 0,02%-tól 0,5%-ig terjedő *NiO*-tartalmat mutatott ki. A kibúvástól távol viritott, ugyanazon fajhoz tartozó növények hamuja ezzel szemben legfeljebb 0,006% erejéig tartalmazott *NiO*-ot. Hasonló kísérleteket végzett a finnországi Sortavala melletti cinkérc előfordulás felett gyűjtött növényekkel és hamujukban 1%-nál magasabb *ZnO* tartalmat észlelt.

Maljuga egybeszovjetunióbeli lelőhelyek növényzetét vizsgálta geobotanikai szempontból. Gyakorlatilag *Ni*-, *Co*-mentes feketeföldben nőtt árvalányhaj (*Stipa capillata*) $2,2 \cdot 10^{-4}$ nagyságrendben tartalmazott *Co*-ot és $8,7 \cdot 10^{-4}$ nagyságrendben *Ni*-t. $Co:Ni = 1:4$. Egy Orenburg környéki *Ni*-érctelep felett viritó árvalányhaj hamujában az arány a *Ni* javára 1:23-hoz tolódott el. A Moszkva melletti podzol talajban gyökerező eredei fenyő hamujában a *Co-Ni* arány 1:5-höz, ugyanezen fenyőfaj hamujában a Cseljabinszk melletti *Ni*-ércbánya vidékén az arány a *Ni* javára 1:14-hez emelkedett.

Maljuga *Ni* és *Co*-ra az Ural-hegységben összetett vizsgálatokat végzett. Először is megállapította számos vizsgálat közép-eredményeként a *Ni-Co*-előfordulásoktól távol eső vidékek talajának, talajvizének és növényzetének átlagos *Co-Ni*- és *Cu*-tartalmát és a három nehézfém egymáshoz való arányát a vizsgált anyagban. Ugy találta, hogy

	Co Ni Cu arány
a talajban	1 : 4 : 2
a talajvízben	1 : 2 : 10
a hamuban	1 : 3 : 6

Mennyiségileg a talajban éspedig ennek felső, humuszban gazdag övében halmozódott fel a legtöbb e három nehézfémről.

Szerpentinvidéken, tehát Ni-tartalmú bázisos magmáskőzet — területén a fémek mennyisége nőtt, arányuk pedig a következőképpen változott:

	Co Ni Cu arány
talajban	1 : 15 : 0,5
a Ni-mennyisége ötvenszeres az átlagos talajéhoz képest.	
talajvízben	1 : 6 : 2 Ni 10 szerez
árvalányhaj hamu	1 : 15 : 20

Ni-mennyisége ötszörös

<i>Anemona patens</i>	1 : 26 : 9
-----------------------------	------------

a Ni-tartalom az átlagos talajon nőtt növényekéhez képest ötvenszeresre nőtt, e növény jó Ni-indikátor.

Babicka szlovákiai és csehországi aranyelőfordulások vidékének talaján gyűjtött mezei zsurló hamujában 63—106 g/t aranyat talált, míg aranyat nem szolgáltató vidéken gyűjtött zsurló hamuját e nemesfémtől teljesen mentesnek találta. Vizsgálatai szerint nemcsak a közismerten aranyjelzőnek ismert zsurlófélékben, hanem a csalán leveleiben, sőt a kukorica szemeiben is feldúsul az arany éspedig a mállás szolgáltatta talajoknak kolloidális aranytartalma sokkal inkább, mint a mosások szabadszemmel látható aranya.

Mangánra nézve a svéd Ljunggren adatai érdekesek. Középsvédország morénaüledékekben nőtt fenyőfélék tűleveleiben vizsgálta a Mn-tartalmat. A leveleket azonos fenyőfajról szedte, de különböző talajnemeken nőtt fák levelét hasonlította össze. Elemzésenként 300 fenyőtű hamuját használta fel és azt tapasztalta, hogy a legnagyobb MnO-tartalmat, 7,8%-ot a morénaüledék szolgáltatotta mállási talajban, míg a legkisebb 0,9%-os MnO-tartalmat a friss folyami homokban nőtt fenyők tűinek hamuja adta.

Tudjuk, még Vernadszki és Goldschmidt kutatásainak eredményeül, hogy a magasabbrendű növények szervezete minimális mennyiségben mindig tartalmaz egyes nehézfémeket, közöttük Zn-t és Cu-et is. Azt is tudjuk, hogy e két fém között a növényekben közönséges esetben nagyjából állandó arány áll fenn. Az ettől az aránytól való lényeges eltérés már indikációnak vehető.

A skandináv és szovjet tudósok úttörő munkássága alapján kiépült és jönnek bizonyult geobotanikai módszert ma már az egész világon kiterjedten alkalmazzák, különösen nagymértékben Amerikában. A módszerrel dolgozó geokémikusok, tapasztalataik alapján, azt tanácsolják, hogy vegyi vizsgálat céljaira frissen szedett leveleket, esetleg fiatal hajtásokat használjunk, ajánlatosnak mondják továbbá egy-egy területen mindig ugyanannak a növényfajnak, lehetőleg bokornak vagy fának, a leveleit vizsgálni. Különösen jó vizsgálatok céljaira a törpenyírfá, valamint a tűlevelűek. Amerikai kutatók érzékeny és jól használható növényfajként említik a Douglasfenyőt (*Pseudotsuga axifolia*), melynek tűlevelei és fiatal hajtásai jól értékesíthető adatokat szolgáltatnak.

Az átkutatandó területről 10—100 méteres hálózat szerint begyűjtött próbákat megszáritják, elektromos kemencében elhamvasztják, a hamut vegyileg megvizsgálják és az elemek talált mennyiségét a térkép megfelelő négyzetébe bevezetik, végül az azonos fémkoncentrációt mutató pontokat összekötik és így határolják körül a növényzet adta indikációk alapján az ércelőfordulást, illetve ennek felszínközeli részét. Megjegyzik, hogy az a terület, melyet geobotani-

kai anomália jellemez, 4—50-szerre nagyobb lehet, mint maga az ércelőfordulás, a kibúvást tehát gyűrűként veszi körül az illető nehézfémekben gazdagabb növényzet.

Ha csak tájékozódni akarunk, vajjon megvan-e a lehetősége valamely ismeretlen és mállási üledékkal fedett terepen hasznosítható ércelőfordulásnak, úgy elég a területről szelvény mentén meghatározott távolságokról próbákat venni.

Az eddigi eredmények alapján állíthatjuk, hogy a geobotanikai módszer kitűnően bevált, különösen vastag, helyben maradt mállási üledéktakaróval, gleccserhordalékkal fedett területeken és 3—6 méter vastagságú mállási réteg esetében még biztos indikációkat ad. R a n k a m a szerint Kanadában és Uj Fundlandban 9—12 méteres mállási takaró alatt meghúzódó érceteket is sikerült ezzel az eljárással felkutatni.

Igyekeztem vázolni azokat a lehetőségeket, melyeket a geokémia kínált a kutató geológusoknak s melyek részben alkalmasoknak is bizonyultak arra, hogy külön-külön vagy együttesen alkalmazva segítségére siessenek az ásványi nyersanyagot olyannyira igényelő kor emberének. Ásványi nyersanyagot kutatni ma sok érdekes problémát jelentő feladat. Eddig a Föld kincseskamrájának még csak ajtaján kopogtattunk, most igyekszünk csak mélyére hatolni s nyugodtan állíthatjuk, hogy még sokkal több van elrejtve ott, mint amennyit eddig napvilágra hoztunk.