

GEOKÉMIAI IRÁNYELVEK A NYERSANYAGKUTATÁSBAN (ELNÖKI MEGNYITÓ)*

SZADE CZKY ELEMÉR
akadémikus

A földtani tudományok eddigi fejlődésüknek egyik legrohamosabb szakaszába jutottak. Ki ne érezné az alapvető változást, amely a kristálytanban, az ásvány-, kőzet-, telep-, réteg- és hegységszerkezetben, a geofizikai és geokémiai kutatás terén egyaránt jelentkezik a legutolsó évek óta? E fejlődést a régebbivel szemben mindenekelőtt a nagy alapkérdések megoldása, az oknyomozó és szintetikus irány előérbe jutása jellemzi. A fejlődés e szakasza sok összetevőből adódik.

A legfontosabb eredményekhez vezető út a kristálytan felől indult, mintegy embeőltövel ezelőtt, a kristály-finomszerkezet röntgenfelismerésével. Ebből sarjadt ki a kristálykémia, aminek a hatása a szorosabb geológiai tudományok közül elsőnek szükségképp az ásványtanban jelentkezett. Az ásványtan, amely eddig évtizedeken át túlnyomóan leíró állapotban stagnált, még nem mineralógia, hanem minerográfia volt, az utolsó 2—3 évtizedben nyert mindinkább oknyomozó jellegét. A kristályforma, hasadás, keménység, olvadáspont, szín, fény, izomorf elegyedés, paragenezis, ásványképződés kérdései a kristálykémizmusból levezethetők, részben számíthatók lettek, egymással összefüggésbe kerültek.

Rohamosan áterjedt azután ez az oknyomozó fel fogás a kőzettanra és ércteleptanra is. A magma kristályosodási folyamata, a savanyú és bázisos kőzeteknek, az alkáli és alkálimesz provinciáknak elkülönülése, a differenciáció és asszimiláció, a metamorf kőzetek képződése az elemek migrációja útján, az üledékes kőzetek elkülönülése, a fő és ritka elemek felidúsulásának törvényszerűségei ismertté és egységes tételékből levezethetőkké váltak. Az egységes értelmezés szükségképpen mindig ugyanabból a forrásból, az atom, ill. rácsszerkezeti alaplappól következett. Ugyanígy a folyósmagmás, pegmatitos, pneumatolitos, hidrotermális és hipergenetikus ércképződés jelenségeinek nagyrésze is egységes szintézisbe került a többi geokémiai jelenséggel a rác-, ill. atomszerkezeti alapok megvilágosodása által.

Ma tehát az ásvány-, kőzet- és telep'anban többé, rendszerint, nem lexikális adatokat sorolunk fel, hanem a többi fejlettebb természettudományhoz hasonlóan általános törvényszerűségeket ismertetünk, amelyek rövid formulában, tételben, diagrammban, kép'etben adatsorokat foglalnak magukban és amelyekből új adatok előre levezethetők.

Ma a szorosabb értelemben vett földtan is, amely oknyomozó irányával a földtani tudományok közt mindig előljárt, ugyancsak alapvetően új, mélyebb és

* Elnöki megnyitó beszéd a Magyar Földtani Társulat 1951 október 24-én tartott évadnyitó szakülésén.

szélesebb, szintézishez jutott az atomszerkezeti értelmezés révén, éppen a legnagyobb kérdésekben, a hegységképződés, a kontinensek és óceánok elkülönülése és a földtörténeti folyamatok ciklusossága terén.

A közös atomszerkezeti alap mindinkább megszünteti azt a részekre különülést, összefüggéstelen öncélú szaktudományokra való tagolódást, ami a földtani tudományokon belül is, a többi természettudományhoz hasonlóan, a századforduló előtti és utáni kb. 20—20 évben oly nyomasztóan jelentkezett. A földtani tudományok újra egyetlen nagy szintetikus egészbe való összeforrása felé haladunk, amelynek közös alapja a főleg a szovjet kutatók által fejlesztett geokémiai szemlélet.

Nyilván sok más tényezője is van a tudományágaink rohamos fejlődésének. Ilyen tényezők többek közt az általános technikai előrehaladás, a mélyfúrások növekvő számából és mélységéből adódó földtani megismerés, a geofizikai eljárások rohamos fejlődése, a biológiai vonatkozású tudományágak előrehaladása, különösen az élet keletkezésére vonatkozó ismeretek megindulása.

Mégis a földtani tudományaink jelen rohamos fejlődését elsősorban a rács-, ill. atomszerkezeti felfogás térhódításával jellemezhetjük.

E rohamos fejlődésnek nemcsak a hazai szakközönségünk előtt is mindinkább ismertté váló társadalmi okai, de fontos társadalmi következményei is vannak.

Megváltozott mindenneke előtt a kutató, különösképpen a geológus helyzete a társadalommal szemben. A tudomány többé nem magán-, hanem közügy. A kutató tehát nem ú. n. „magasröptű“, elvonakoztatott, a valóságban sokszor teljesen közömbös témákról szóló dolgozatokat nyújt az ú. n. szakközönségnek, hanem az életől követelt feladatokat old meg a közösség számára. Azonfelül a távolabbi fejlődésre fontos alapvető tudományos kérdések megvilágításán dolgozik. A kutató többé alig teheti meg, hogy „csalhatatlansága“ nimbuszának biztosítására csak a megtámadhatatlannak vélt adatokról számoljon be oly módon, hogy a valóban nehéz és fontos kérdéseket elkerüli. A kutató kénytelen a lényegét jelentő problémákkal, a szintetikus, ill. genetikai kérdésekkel is behatóan foglalkozni, még akkor is, ha például egyszerű készletbecslésről van szó, mert a genetikai viszonyok mérlegetése nélkül rendszerint ez sem oldható meg. A tudományunk mai fejlődési állapotában ez az oknyomozó munka már könnyebben meg is valósítható.

Ennek következtében megváltozott tanítási technikánk és célunk is. Nem követhetjük a régi felfogást, hogy csak az ú. n. kiérett, „tantételle“ merevedett kérdésekről szólunk hallgatóinknak. Az ilyen tantételek nagyrésze sem örökérvényű. Tanítanunk kell elsősorban azokat az új szintetikus eredményeket, amelyek a régi leíró tudomány főtárgyát jelentő lexikális adatokat összefüggésekké emelik törvényszerű formában összefoglalják. Szólunk kell hallgatóinknak az aktuális kérdésekről, a kutatás legfrissebb, néha még kétes eredményeiről is, ha az a fejlődés szempontjából nem közömbös. Érzékeltetnünk kell a tanítványainkra váró kutatási feladatokat, be kell állítanunk érdeklődésüket a forrásban lévő kérdésekre.

A mai földtant jellemző rohamos fejlődés idején tehát mindebből szélsőséges helyzet állhat elő az új és régi tudományos gárda viszonyában. Az újonnan végzetek tájékozottsága a kutatás főkérdéseiről egészen más jellegű mint a csak néhány évvel ezelőtt kiképzetteké, akiknek napi munkájuk közben többé nincs módjuk a fejlődéssel lépést tartani. A fiatalabb végzetek (egyébként egyenlő felkészülés esetén) természetesen tényleges előnyben vannak, mert az új eredményeken kívül a régiebb lexikális tudásanyagot is az új törvényszerűségek alapján könnyebben birtokolhatják. Biztonságukat viszont még könnyen elvesztetik, ha idősebb szaktársaik részéről az új eredményekkel szemben rendszeresen

megnemértést tapasztalnak. Ez nemcsak az új eredmények alapján való haladást veszélyezteti, hanem a korban még alig különböző szaktársak közt is már szakmai megnemértéshez, s szakkérdésekben való bizalmatlansághoz vezethet, ami az eredményes kollektív munkát lehetetlenné teszi.

Ezen a veszélyen elsősorban Társulatunk hivatott segíteni, és pedig az előző években már tervbevett s bizonyos vonalon megindított szakmai továbbképzés erőteljesebb megvalósításával, ill. fokozásával. Egy időre társulati szakfeladéseink rendszeres programjává kell tenni az ismertető szakmai továbbképző előadásokat.

Ez azonban az ülésidő meghosszabbítását, az ülésekkel más módon amúgyis igénybe vett kartársak további megterhelését jelentené s így veszélyezteti a célt, a tényleges továbbképzés elérését. Szükséges tehát az ülések idejét más módon rövidíteni. Munkatervünkben ezért javasoltuk az egyes kutatók saját részletvizsgálatairól beszámoló szakelőadások és hozzászólások időtartamának korlátozását. Nem kevesebb, vagy felületesebb, hanem tömörebb előadásra és hozzászólásokra gondolunk. Az előadók ne töltsék saját és a Társulat kollektívumának ma különösen értékes idejét jól ismert ásványfajták lapszövegeinek, az ásványfaj megnevezésével úgyszólván nyilvánvaló optikai és egyéb adatainak felsorolásával, rétegsorok és azok jelentéktelen változásainak túlzott kifejtésével és 70—80 tagú faunák felolvasásával. Az ilyen adatok, ha valóban újak és arra érdemesek, táblázatokban, diagrammokban, térképen foglalandók össze; a majd kinyomatandó szövegben tömören rögzíthetők, ha azok önmagukban nem nyilvánvalók.

Őszintén be kell vallanunk a hazai földtani irodalmi értékelésnek azt a gyakran észlelhető gyengeségét, amely összetéveszti a dolgozat alaposságát és érdemsúlyát annak terjedelmességével. Ide tartozik, hogy sok szerző körülményes fogalmazással, minden irányban való kézmosságal igyekszik magát a kritikával szemben eleve biztosítani. Előadónk, írónk igyekezzenek érdekesek maradni anélkül, hogy valóban a lényegeset említki. Vadasz szép szavai szerint: „a tudományban az a megbecsülendő, aki tudását minél egyszerűbben, minél teljesebben, hazájának adja tovább“.

A Társulat vezetőségének, ill. a szerkesztőbizottságnak kényelmetlen, némileg hálátlan, de a tudomány, a közösség és a szerző érdekében álló feladata hogy a dolgozatokat, hozzászólásokat — személyre tekintet nélkül — szükség esetén kíméletlenül tömörítse, a közismerteket, körülményességeket, a legkülönbözőbb módon jelentkező önmélteléseket és a sok szerzőnek annyira kedves, de az olvasónak sokszor unalmas és a tényleges tudományos haladásra közömbös személyi megnyilatkozásokat kiírtsa. Ezért kívánatos az előadandó szöveget, ill. hozzászólásokat is írásban előre elkészíteni s tömörítő átfésülésre bocsátani.

A dolgozat társulati előadásának véleményünk szerint különleges feladata van: lehetővé tenni a dolgozatnak a hozzászólók építő kritikája, mintegy első lektorálása alapján való továbbfejlesztését, javítását, esetleg újabb adatokkal való kiegészítését, a publikálás előtt. Ezért minden előadáshoz hozzászólót kérünk fel, aki a dolgozat előző áttanulmányozása után hozzászólását lehetőleg írásban készíti el. Célszerű a dolgozat közlendő javított szövegével mintegy annak bevezetéseként a hozzászólást is ismertetni, amelynek alapján a szöveg módosult. A hozzászóló így megállapításainak prioritását megőrizheti és egyszersmind némileg szerzőtársá is válik. Hangsúlyoznánk ezzel is, hogy a kutatást többé nem tekinthetjük magánügynek, az a közösség érdekében és a közösség költségén történik, annak értékesítésében a hozzászólókon keresztül az egész tudományos közösség részt vesz.

Ilyen módon fokozatosan kiküszöbölhetjük a túlzott személyi érzékenykedést, a kritikától való irtózást és a tekintélyelvét. A legnagyobb tudósok is hasznára

van a kritika, legalább is ott, ahol nem volt közérthető. A hozzászólónak, bírálónak viszont ügyelnie kell, hogy kritikája ne sértő, hanem építő legyen, ne kedvet vegyen el a további munkától, hanem kedvet ébresszen a megjelölt új irányokhoz is.

Váljon mindnyájunk előtt tudatossá, hogy egy jelentőségében és felelősségében hatalmasan megnövekedett és jellegében alapvetően megváltozott, leíróból oknyomozóvá vált tudományt művelünk, s az sem a kutatás technikájában, sem az előadás módjában nem do'gozhat többé elavult módszerrel.

A hazai földtani kutatási kilátásaink és lehetőségeink óriási megnövekedése külsőleg is megnyilatkozik abban, hogy a földtani és geofizikai kutatás nagyarányú fejlesztésével a Népgazdasági Tanács határozatilag foglalkozott és a geológiai kutatási ügyek az állami közigazgatás szervezetében külön geológiai főosztályt és külön geológiai osztállyal o'ajbányászati főosztályt kaptak. Megnyilatkozik tudományágaink fontosságának megnövekedése a geológus, ill. geológus-mérnök hallgatók számának mintegy háromszorosára emelkedésében, az új földtan-földrajz tanári szaknak, Nagykanizsán pedig a 4 éves geológus középiskolának megindulásában, a budapesti geológus és geofizikus technikusképző tanfolyam folytatásában, az egyes földtani intézményekben foglalkoztatott munkaerők számának rohamos emelkedésében, az ez évben megindult hatalmas földtani könyvkiadásban, az akadémiai földtani folyóiratok megindulásában. Jelentős eredmény, hogy a magyar geológia kérdéseire, tudományos eredményeire, az egész ország figyelmére ráterelődt. Nagymértékben segítette a gyökeres átalakulás bekövetkezését a gyakorlati földtani és geofizikai munkálataink terén, hogy több szovjet geológus és geofizikus járt nálunk tapasztalatátadásra és a szocialista módon való kutatásra hazánkban is irányt mutattak.

* * *

A konkrét kutatási új lehetőségek és feladatok közül itt csupán egyről szeretnék beszélni, arról, ami az uralkodóan üledékes kőzetekkel borított országoknak, — amilyen hazánk is — egészen új, nagyszerű kilátásokat nyújtott a nyersanyagkutatás terén. Arról, hogy az eddigi nagyrészt magmás kőzetekhez kötött nehézfémek ércbányászatunk fémfajtáinak számát néhány év alatt esetleg csaknem megkétszerezhetjük. Arról, hogy kilátásunk nyílik olyan fémeket, amelyeket eddig csak behozatal útján szerezhettünk meg, — mint *Ni, Co, Cr, V, U, Th, Ge, B* — esetleg hazai földön is kitermelni.

Itt az ideje, hogy ezt a hazai vonatkozásban először rendszeresen a múlt évben a Nehézvegyipari Beruházási N. V. kebelében megalakult munkabrigád, majd az Akadémia Földtani Bizottsága előtt felvetett roppant fontosságú kérdést a szakközönség tágabb köre előtt is megbeszéljük.

Ma már köztudomású, hogy a kőzetek lepusztulásakor a nehézfémionok nem szóródnak szabálytalanul szét az üledékekben, hanem bizonyos határozoit üledékes kőzetfajtákban, egyes rétegekben másodlagosan viszonylagosan feldőusulnak. Mindennek előtt a kausztobiolitok (a kőszén- és kőolaj-félék egyes fajtái) tartalmazznak ilyen feldőusulásokat. Más elemek a hidrolizált kőzetekben, az agyagban és különösen a bauxitban, ismét mások bizonyos sivatagi üledékekben, mások pedig vasércekben, vagy az evaporitokban, a kősóban és rokonaiban halmozódnak fel. E kőzeteket részben úgyszintén érdemes főelemeik miatt kibányászni, ill. feldőgozni. Ezek salakjában, a kőszén hamujában, a kémiai feldőgozási melléktermékekben, pl. a bauxit fekete iszapjában egyes ritka fémionok még inkább feldőusulnak. A feldőusulás itt már sokszor század-tized %-os, esetleg még nagyobb koncentrációig emelkedik.

Többnyire tehát még mindig ú. n. nyomelemekről van szó, amelyeket régebben gyakorlatilag és elméletileg is alig vettek figyelembe.

Számszerű mérlegeésük azonban egészen meglepő eredményekhez vezet. Mindnyájan tudjuk, hogy az aranyat már az 50 év előtti technika idején a kapitalista világban is „gazdaságos“ volt zúzóérből 3, ma 2 g/t mennyiségig, laza kőzetekből egy teljes nagyságrenddel még kisebb, tehát 0,2 g/t koncentrációig kitermelni. 2 g/t két tizedred %-nak, a laza kőzetekből kinyerhető 0,2 g/t pedig két százezred %-koncentrációnak felel meg. Mi itt viszont 3 teljes nagyságrenddel nagyobb: tized és század percentes koncentrációról beszélünk. Az aranyat azért lehetett oly kis koncentrációban is gazdaságosan kihozni, mert nem kellett a kőzet egész tömegét tűzi úton feltárni, hanem lehetségessé vált vegyi, oldószeres úton (cianozással) kioldani. Ha az arany számára ilyen oldószer található volt, aligha lehet kilátástalan, hogy más fémekre, pl. *Ni*-re, *Cr*-ra ugyancsak megtalálható legyen a megfelelő oldószer. Sőt, minthogy e fémek feldúsulása részben oly kőzetekben (a kőszénben) jelenik meg, amelyet úgyszintű tűzi úton használunk fel, talán lehetséges lesz a kőzet főanyagának a felhasználásához a nehézfém kinyerésének főfázisát közvetlenül is hozzákapcsolni. Ha az arany kinyerhető volt tizedred-százezred %-os koncentrációban már évtizedekkel ezelőtt, vajjon nem reális e *Ni*-t, *Cr*-ot, *V*-ot, *Ge*-ot kinyerni tized vagy század %-os koncentrációból? Ez a koncentráció az e fémekre eddig alkalmazott koncentráció határánál 1 vagy 2 nagyságrenddel kisebb ugyan, de ezt a két nagyságrend-hátrányt kiegyensúlyozza az a két nagyságrendi előny, ami egyrészt abból adódik, hogy nem zúzóérről, hanem laza anyagról van szó, másrészt, hogy már úgyszintű kibányászott és ipari területre szállított anyag áll rendelkezésre. Emellett további előny, hogy e fémek rendszerint nem egyedül, hanem többfajta magukkal társulva találhatóak s így együttesen részben egyetlen menetben kinyerhetők.

E fémek közt vannak olyanok is, amelyeket eddig éppen kis koncentrációjú előfordulásai miatt egyáltalán nem, vagy alig használtak fel, pl. a germánium, gallium, niobium, tantal. Ezek közül nem egynek (*Ge*) a legfontosabb kiindulási nyersanyaga a kőszén, miatta úgyszintű fel kell majd dolgozni a kőszén-hamut, így a velük társuló más fémek a feldolgozás melléktermékeként nyerhetők ki.

Amennyiben kőszénbányászatról van szó, előny az is, hogy az eddig alig használható félmeddő üledékek értéke ilyen nyomelemes félmeddőfordulás esetében viszonylag nagyobb mértékben növekedik, tehát a bányászat megszabadul a sokszor csak nagy költségtöbblettel termelhető tisztább kőszén termelésének követelményétől, a termelés könnyebbé, olcsóbbá, inkább gépesíthetővé válik. Kétségtelen tehát, hogy két nagyságrenddel való koncentráció-csökkenés nem jelent legyőzhetetlen akadályt.

De érdemes-e az így kinyerhető érc összmennyisége felől új fémkinyerő üzemet létesíteni?

Ha valamely kőszénterületen, a kőszénhamuban, ill. szenes meddőben a kinyerendő fém 0,1% koncentrációban van jelen, úgy annak 100 t-ás széntermelésű üzemből 10%-os hamu, ill. meddő termelés esetében a kérdéses fémből napi 10 kg, tehát úgy ilyen terület 5 középüzemből már évi 15 t kerül ki. Ha csak 65%-os kihozatalt tételezünk fel, ez évi 10 t *Ni*-t, vagy ugyanannyi *Cr*-ot, *Ge*-ot jelent. Hatalmas, egyik-másik fém esetében exportra is jutó tétel lenne ez — sőt biztos hitem szerint: lesz ez — népgazdaságunk számára.

Az üledékes kőzetek nyomelemei kinyerése nem a magmás kőzetekben és ércekben szegény országoknak különleges kényszerű pótmegoldása, hanem általános irányzat, ami a mennyiségi kívánalmak rohamos emelkedésével, az eddigi nagy koncentrációjú előfordulások kifogyásával és az ércelőkészítési technika fej-

lódásával párhuzamosan a régi ércgazdag országokban is jelentkezik. Egy jellemző amerikai példát említhetünk. Goodmann és Parks 1950-ben egyetemi hallgatók számára készült műben kifejtették, hogy a világ nagy uránérc-előfordulásainak — beleértve a kanadait és katangait is — olyan* csekély összes U -tartalma van, hogy rövidesen sorra kell kerülnie a kis U -koncentrációjú kőzetek feldolgozásának, nevezetesen elsősorban a bitumenes, tehát kőszén és kőolajjal rokon kőzetekből való U -kinyerésnek. Az U -tartalom ezekben ugyancsak 0,01%-os nagyságrendű, holott az eddig művelt U -ércéké 1—10%-os, mégis ezek felhasználása igen reményteljes és kb. 1—3 teljes nagyságrenddel nagyobb összes U -mennyiséget jelentenek, mint az eddig U -ércéknél szamba vett összes nagykoncentrációjú előfordulás együttvéve.

A nyomelem-vizsgálatok tudvalevően Szelényi Tibor, Földvári Aladár és Földvári Aladárné kezdeményezésével nálunk is már évekkal ezelőtt megkezdődtek. Megindultak a kőzet-radiológiai vizsgálatok. Folyamatban van a hazai kőszénfajták hamujának rendszeres kvarcspektrográfiai vizsgálata.

E kezdeményezések után a nyomelemek kutatása nálunk is, mint mindenütt a világon, általános érdeklődést váltott ki és nemsokára nyilván valóságos divattá válik. Közel vagyunk ahhoz, amikor megrohanják a kvarcspektrográfiai laboratóriumokat a legkülönbözőbb, indokolt vagy indokolatlan, ötletszerű nyomelemvizsgálatok kívánságával. Az ilyen, legtöbbször eredménytelen gyakorlati irányú tapogatózásnak adatai nem kerülnének nyilvánosságra, ezért a felvételeket ugyanarról az eleve kilátástalan anyagról különböző beküldők esetleg több ízben is megisméltetnék, ezzel a laboratóriumok munkaképességét, az eszközöket, anyagot, munkaerőt elvonnák a fontosabb szakszerű munkától. Az ilyen vaktában tapogatózást eleve ki kell kerülnünk. Egyrészt meg kell szerveznünk a rendszeres geokémiai kutatást. Ennek elérésére kezdeményeztük az Akadémiai Geokémiai Intézetet, amelynek felállításához a Népgazdasági Tanács hozzá is járult. Másrészt meg kell kívánnunk és meg is kell adnunk a módot, hogy aki geokémiával kíván foglalkozni, az előbb ismerje meg a geokémiának legalább az alapelemeit. A nyomelemeknek és az egész geokémiának ma már hatalmas ismeretanyaga nemcsak a részletvizsgálatok segítője, hanem a földkéreg ásvány-kőzet képződéséről, a kéreg egész elemháztartásáról összefoglaló képet ad.

Szükségesnek gondoljuk, ha néhány ilyen újabban felismert általános törvényszerűsége szakülésünkön felhívjuk a figyelmet. Az üledékes kőzetekben való elemfelhalmozódást, mint arra kelő súllyal először Goldschmidt V. M. utalt rá, elsősorban az ionrádiusz és annak vegyértéke, töltésszáma uralja. A vegyérték és ionrádiusz hányadosa az ionpotenciál. A diagrammon a vízszintes tengely a vegyértéket, a függőleges az ionrádiuszt, a kezdő pontokból sugárirányba haladó egyenesek az azonos ionpotenciálokat jelentik. Ez ionpotenciál-egyenesek a fő üledékes kőzetesoportok jellemző ionjainak területeit határolják el.

A kis ionpotenciálú, nagyméretű és gyakorlatilag egyértékű kationok könnyen oldódnak s így csak az oldószer bepárolgásakor kristályosodnak ki. Ezek közé az evaporitok közé tartoznak tudvalevően a sókőzetek, a kősó, gipsz, káisók. Ezek jellemző kationjainak ionpotenciálja 0,7—1,5.

A kétértékű nagyobb kationok (Ca , Mg) ionpotenciálja valamivel nagyobb (1,7—3,0). Ezek kevésbé maradnak oldatban és nagyrészt karbonátok alakjában, mint mészkő és dolomit rakódnak le. Ezeket Goldschmidt (a régi névhasználatnak némileg új értelmet adva) precipitátumoknak nevezte.

A 3 és 4-értékű közepes méretű ionok (Al , Fe , Mn , Ti stb.) túlnyomó részének közepes (3,5—8) az ionpotenciálja. Ezek hidroxil vegyületek: azaz „hidrolizát“-ok (helyesebben: hidrolitit-ek) alakjában rendszerint már a lehardási terü-

let közelében gyorsan kiválnak. Ide tartoznak az *Al* közetek, az agyag és bauxit (és sok talajféleség is). Ugyancsak ezekkel állnak rokonságban a Goldschmidt által „oxidát”-oknak, ill. „reduzát”-oknak nevezett üledékes *Fe*- és *Mn*-érc, ill. üledékes szulfidérc is. (Ezeket nevezéktanilag következetességgel, egyszersmind nyelvhasználatunkban is megfelelőbben oxidit-nak, ill. reductit-nak nevezhetjük.)

Az igen nagy (kb. 10—50) ionpotenciálú kis méretű, nagy töltésű ionok az oxigénnel komplex anion-okat alkotnak és oldva maradnak a tengervízben (CO_3)-², (NO_3)-¹, (SO_4)-², (PO_4)-³ alakjában. De ugyancsak ezek az elemek szolgáltatók az élő szervezetek által termelt szerves vegyületek nagyrésztét, a biogén, elsősorban éghető közetek: kőszén és kőolaj főanyagát, valamint a foszfátok és N-tartalmú vegyületek egy részét is, tehát a biolit-okat, főleg a kausztobiolitokat.

Ezeket kívül van még az üledékes közeteknek egy hatalmas csoportja, az el nem mállott, homokos, kavicsos, konglomerátumos üledékek származékai, amelyeket viszonylag ellenálló ásványokból felépítettségük miatt Goldschmidt rezisztát-oknak (helyesebb: rezisztit) nevezett. Minthogy ezek képződése elsősorban mechanikai és nem kémiai folyamat, ezért a diagramban külön helyet nem is kaphatnak.

A diagramm geokémiailag azért is fontos, mert belőle a várható kísérő nyom-elemek is sokszor kitérnek. Látható például, hogy a legjellegzetesebb hidrolizátokban, bauxitban és lateritben a *Ti*, *V*, *Be* (*Zr*)-nek elvben fel kell dúsulnia, ami mint hazánkban jól tudjuk, rendszerint valóban be is következik. A határon álló *Sc* a vasércekben dúsul. A karbonátos közetekben a *Mg* és *Ca* mellett a *Ba* és *Sr* dúsul, az evaporitokban a *Na* és *K* mellett a *Rb* és *Cs*.

De a rendszerezés alól bőségesen vannak kivételek is. Pl. a *Mg* gyakran evaporitként is megjelenik az ú. n. fedősókban, noha egyébként precipitát. A ritka földek az *Al*-nál kisebb ionpotenciáluk következtében gyakran átmennek a karbonátokba.

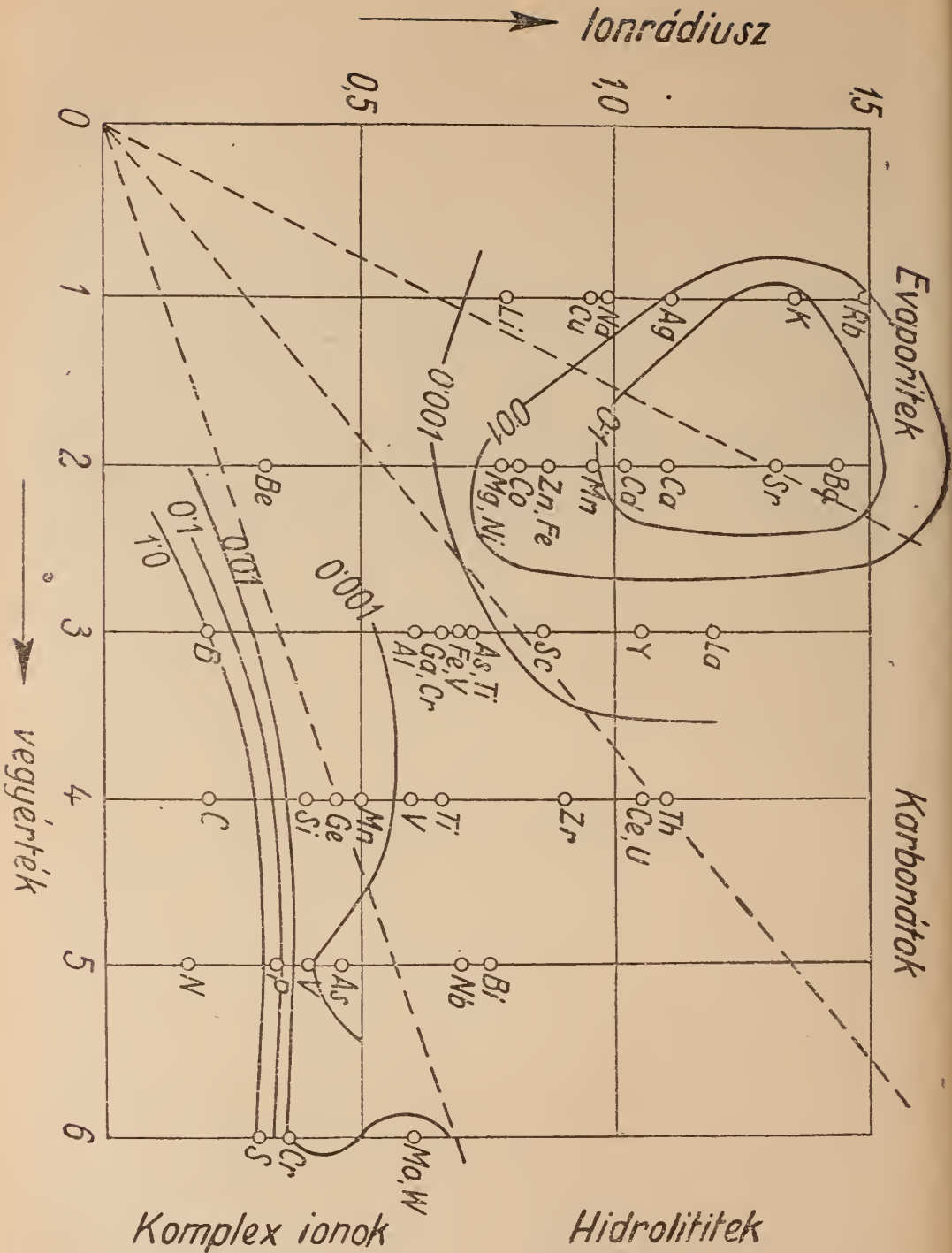
A kivételek részben adszorpciós eredetűek. A *Rb* és *Cs* evaporitokon kívül agyagokban is dúsul, utóbbiakban a *K*-mal együtt főleg adszorpciósan.

Legsajátságosabb, egyszersmind számos egyébként ritka elem feldúsulása miatt gyakorlatilag is legfontosabb az éghető szerves üledékeknek, ill. közeteknek, a kőszén és kőolajnak a geokémiája.

A szerves eredetű éghető közeteknek 3 főcsoportra, a humolitok, juttja és szaropél közetekre való osztályozása irányadó a dúsulások szempontjából is.

A humolitban s így a legtöbb kőszénközet hamujában főleg a következő ritka elemek halmozódnak fel: (*Be*), *B*, *Ge*, *Sc*, *Co*, *As*, *Mo*, *Ag*, *Cd*, *Bi*. A felsorolt 10 elem átlagos mennyisége a kőszénhamuban a magmás kőzetekével szemben legalább is 10-szeres, de a *Ge* esetében középértékben 70, a *Mo* esetében 13—80, az *As* és *Bi* esetében 100 és a *B* esetében 200-szoros dúsulást jelent. Csekélyebb (1—9-szeres) dúsulás jelentkezik a *Ni*, *Ga*, *Pb*, *Sn*, *Zn*, *Y*, *Tl* és valószínűleg a *Cr* esetében.

Ez adatokat kiegészítve az élő szervezetek közismert fontosabb elemeivel, feltételezték, hogy az elemek felhalmozódását a humolitokban — beleértve a nem hamuadó elemeket is — ugyancsak az ionpotenciál határozza meg. Eszerint a minimális és különösen a maximális ionpotenciálú ionok halmozódnak fel erősen a kausztobiolitokban, míg a közepes ionpotenciálú ionok alig, ill. nem dúsulnak. Ezt a feltevést a diagramm görbéi szemléltetik. E görbék a különböző ionok átlagos dúsulási értékeit mutatják Hutchinson után, viszonyítva a földkéregbeli koncentrációkhoz. Látható, hogy az élő növényekben a legnagyobb elem dúsulás a maximális és minimális ionpotenciál területén jelentkezik és a dúsulás fokozatosan csökken, amint a közepes ionpotenciálú terület felé haladunk.



Ez az értelmezés egymagában több okból sem kielégítő. Keresnünk kell e folyamatnak más tényezőit is. A nagyszámú nyomelemeknek a humolitokban való feldúsulását Goldschmidt a kövélezőképp értelmezte. A dúsulás már a növényben kezdődik. A viszonylag kismennyiségű oldószer a talajban nagy mennyiségben lévő elemeket nem oldhatja eredeti teljes mennyiségüknek megfelelő arányban. A kis mennyiségben jelenlévőkből viszonylag többet old, azokat mintegy előnyben részesíti. Az oldott elemek leginkább a növény legerősebben párologó részében, a levélben halmozódnak fel. A levéllomb évenként lehullva, mindinkább felhalmozza a talaj felső részében a kérdéses elemeket és így végül jelentékenyebb dúsuláshoz jutnak végső fokon a humolitokban.

Mások a viszonyok az éghető kőzetek másik két csoportjában, a jüttja-, ill. szapropél-kőzetekben.

A jüttjában eddig a következő elemek feldúsulását észlelték: *P, Br, Co, Ni, Cu, Zn, Mn*. Olyan elemek ezek, amelyek ionjainak nagyobb része az organikus anyagokra megadott kis ionpotenciálú terület határára fekszik. Viszont a szapropél kőzetekben eddig főleg az igen nagy ionpotenciálú *N, V, Mo* és a közepes ionpotenciálú *Ti*-ot, néhány kis ionpotenciálú elemet: *Co, Ni, Cu* (?) mutattak ki.

A jüttja- és szapropél-nyomelem tartalmát feltételezhetően elsősorban a lerakódási közeg redoxpotenciálja és p_H koncentrációja, ill. vegyületeinek ezzel összefüggő oldhatósági viszonyai határozzák meg. Mind a jüttjára, mind a szapropélra az üledékben keletkező H_2S jelenléte, vagyis a redukáló hatás, a csekély redoxpotenciál jellemző. Míg azonban a jüttjában a H_2S csak magában az üledékben halmozódik fel, addig a szapropélben a H_2S az üledék feletti vízben is uralkodik.

A jüttja-üledék feletti víz tehát gyengén lúgos (p_H 8–8,5) és csak magában az üledékben van néhány cm mélységben egy vékony savanyú (p_H 6) öv, ahol a H_2S kénsavvá oxidálódik és ahol, Trofimov vizsgálatai szerint, a redoxpotenciál is hirtelen erősen negatív értékűvé válik. A lúgos vízben Leutwein szerint a *Zn* és talán a *Cu, Ni, Co, Mn* inkább kiválhat.

A szapropél képződésekor viszont ez a savanyú öv magasan az üledék feletti vízrétegben jelentkezik. A savanyú víz ugyancsak az ő feltevése szerint a *V*-t vanádiumsavként (V_2O_5) a *Mo*-t pedig molibdénsavként (MoO_3) kicsapja, viszont például a *Zn*-et feloldja. Részben ezzel magyarázható, hogy a szapropélben a *Ti, V, Co, Mo*, néha a *Ni, Cu* (?) és feltételezhetően bizonyos radioaktív elemek is felhalmozódnak.

Ugyancsak a vegyértéknek is ionrádiusznak van döntő szerepe az endogén folyamatokban, a magmás és metamorf kőzet-, ill. ércképződésben. Ennek egyes részletei már a kristálykémiából ismertek.

A magmás ásványképződésnek eddig legáltalánosabb érvényű összefoglalását azonban Ferszman a geokémiai vizsgálataiból az új, n. energetikai koefficiens bevezetése adta. A Ferszman-féle energetikai koefficiens (EK) tétel a vegyületek — egyelőre elsősorban természetes földkéregbeli vegyületek, az ásványok — kristályrácsenergiájának gyakorlati, hozzávetőleges meghatározását teszi lehetővé. Megadja, hogy egyéb tényezőktől, koncentrációs viszonyoktól, különleges rácssajátságoktól, rácsfajtától eltekintve, milyen sorrendben kristályosodnak ki a földkéregben az ásványok.

Az EK-értékek levezetése a Kapusztinszkij-féle egyenletből indult ki. Kapusztinszkij a binér vegyületek rácsenergiáját viszonylag egyszerű módon, a Born-féle egyenletből a Madelung-koefficiens eliminálásával fejezte ki. A Kapusztinszkij-féle egyenletből kitűnik, hogy a binér vegyületek rácsenergiája csak a molekulában lévő atom-ion-fajták számától, vegyértékétől, és mére-

teitől függ, és pedig az első kettővel egyenesen, az ion-, ill. atommétrélel pedig fordítva arányos. Ha tehát a molekulában lévő atomok számát Σ -val, vegyértékeit v_1, v_2 -vel, méreteit pedig r_1, r_2 -vel jelöljük, akkor a Kapusztinszkij-féle egyenlet szerint a rácsenergia:

$$U = 256,1 \frac{\Sigma \cdot v_1 \cdot v_2}{r_1 + r_2}$$

Ez egyenletől nagyobb értékek csak erősebb atompolarizáció esetében, pl. a ZnS esetében észlelhetők.

Ferszmann az ionsajátságoknak ez egyenletben jelentkező additivitását felhasználva, a rácsenergia-egyenletet az összes vegyülettípusra használhatóvá tette. A Ferszmann-féle egyenlettel tehát a rácsenergia közelítőleg érvényes módon kiszámítható nemcsak binér, hanem bármely, akár komplex-iont tartalmazó ásványra is. Ferszmann az ismert esetekből meghatározta az egyes ionfajták energia koefficienseit és ezekből számította a bonyolultabb vegyületek rácsenergiáját:

$$U = 256,1 (a EK_1 + b EK_2 + c EK_3 + \dots)$$

ahol a, b, c a kérdéses ionajta számát a molekulában jelenti.

A komplex ionoknak külön EK -értékei vannak, amelyek az összetevőkből le nem vezethetők.

Ferszmann tételének nagy geokémiai jelentősége van többek között abban, hogy általa a rácsenergia hozzávetőleges értékei könnyen megadhatók aránylag bonyolult összetételű ásványokra is.

Két vegyület csak akkor kristályosodhat együtt, ha rácsenergiaértékük hasonló. A nyomelemek előfordulása szempontjából ez nagyon fontos. Közvetlen ásványi vizsgálattal u. i. a legtöbb esetben nem lehet meghatározni, hogy valamely nyomelem egy adott ásványban milyen alakban jelenik meg. A kérdéses ásványban lehetséges együtt képződött vegyületeit az EK -értékek alapján azonban számíthatjuk. Leutwein legújabban ilyen számításokkal mutatta ki, hogy a wolframitban a Nb nem Sc -niobát alakjában van jelen, mint Goldschmidt feltételezte, hanem valószínűleg Fe - Mn -niobát, azaz kolumbit és polimignitkén. Nemcsak az ionok izomorf helyettesítéséről, hanem rácsizomorfjáról is szó van ebben az esetben.

A kristályosodás általában a csökkenő EK -értékek sorrendjében történik, de ezt természetesen egyéb tényezők, pl. a molkoncentráció, a rács típus és rács-szimmetria stb. is befolyásolja.

A Ferszmann-féle EK -érték hatalmas eszköz annak megállapítására, hogy valamely elem az adott körülmények közt milyen ásvány alakjában kristályosodhat ki.

Ha azonban az egyes elemek geokémiai körforgalmát, ionfajtajának változását vizsgáljuk a hőmérsék függvényében, úgy egészen meglepő, az EK -tétellel látszólag egyenesen szembenálló eredményre jutunk. Az EK -tételből ugyanis az következik, hogy nagyobb hőmérséken a nagyobb EK -értékű, tehát a kisebb ionrádiusú ásvány kristályosodik. Amikor azonban ugyanannak az elemnek a viselkedését vizsgáltuk a hőmérsék függvényében, éppen ellenkezőleg azt találtuk, hogy a nagyobb hőmérséken a kérdéses elem nagyobb rádiusú, nagyobb elektronszámú ionfajtája kristályosodik. Erről a 92 elem körforgalmának rendszeres vizsgálatából nyert tételről rövidesen külön előadásban számolunk be. Itt csak annyit említenk, hogy az elentét a két tétel közt látszólagos és az EK -tétel érvényességi körének helytelen kitégítésén alapul.

E néhány tétel némi képet adhat azokról az általános érvényű szabályszerűségekről, amelyeket a geokémiai kutatás az utóbbi években kimutatott. Az általános érvényű geokémiai tételek nagymértékben segítik az egyes magmás tömegek, valamint az üledékes medencék elemháztartásának rendszeres megismerését is. Enélkül még az egyszeri batólit-benyomulás elemháztartásának kiderítése is sok tekintetben sötétben tapogatózás maradna.

A magyar geológusok előtt álló feladatokat geokémiailag így foglalmazhatjuk: minél teljesebben felderíteni intruzív és effuzív tömegeink és a velük kapcsolatos primér ércképződések, valamint idősebb és frissebb üledékgyűjtő medencéinek hatalmas rétegsorainak és nyilván sokféle különleges elemdúsulásainak elemháztartását. Ebben közvetve vagy közvetlenül minden kutató geológus, kezdve a krisztallografus-mineralógustól, az ásványkémikuson és petrográfuson, térképező geológuson át a tektonikusig, sztratigráfusig, paleontológusig szükségképpen részt vesz. Ezért talán nem volt hiábavaló, ha felhívtuk a figyelmet a geokémiának néhány, ma még nálunk nehezen hozzáférhető általános irányító tételére.

9. Садецкий:

Принципы геохимического метода поисковых работ

По результатам новейших исследований имеется закономерное распределение редких элементов в седиментарных породах. В определенных случаях обогащение редких элементов имеет и практическое значение. Наиболее важными в этом отношении считаются те породы, которые уже добываются в горной промышленности; например уголь, седиментарные железные и марганцевые руды, бокситы. Из этих пород возможно сепарировать ценные редкие элементы.

Обогащение редких элементов определяет их ионный потенциал. Развитием диаграмма Голдшмидта автор определил обогащение редких элементов (1. чертеж) во бокситах каоцитоболитах и железных осадках. В каоцитоболитах обогащены элементы с большими ионными потенциалами но кроме этих имеется небольшая максима и в зоне мелких ионных потенциалах. Каоцитоболиты редко отличаются в этом отношении от сапропелитов и йиттлапелитов.

В дальнейшем автор занимается излаганием тезиса Ферсмана по кристаллизации химических соединений. По Ферсману кристаллизация есть в тесном соотношении с ионными потенциалами.

Наконец автор занимается с влиянием температуры на образование минералов.

Considérations géochimiques dans la recherche des matières premières.

(Discours d'ouverture du président Elemér Szádeczky)

Selon les dernières recherches concernant les oligo-éléments, les métaux lourds rares ne sont pas dispersés irrégulièrement par l'érosion, mais ils se concentrent relativement dans certaines roches sédimentaires. Par suite de l'exploitation plus aisée des roches sédimentaires les concentrations peuvent acquérir une importance pratique, notamment dans l'approvisionnement en métaux rares des pays riches en roches sédimentaires, comme la Hongrie. Au point de vue pratique, les concentrations occurant dans les roches déjà exploitées pour un élément majeur

(les charbons et leurs cendres, resp. les minerais de fer et de manganèse sédimentaires, les bauxites) ont une importance spéciale. Pour celles-ci une exploitation en partant d'une quantité moindre, même de deux ordres de grandeur, peut aussi être prise en considération.

Les concentrations secondaires des éléments sont déterminées, en premier lieu, par le rapport de la valence et du rayon de l'ion: le potentiel ionique. En développant le diagramme du potentiel ionique de Goldschmidt (fig.1.), on peut démontrer des concentrations d'éléments rares à côté des principaux éléments des roches saïfères, des bauxites, des minerais de fer sédimentaires et des caustobioolithes.

Dans les charbons l'on trouve, à côté des concentrations des éléments à très grand potentiel ionique, un second maximum de grandeur moindre, dans le domaine des très petits potentiels ioniques. Mais dans le groupe des charbons il y a une différence essentielle entre les caustobioolithes, les gytjas et les sapropélites.

Selon le principe de Fersman, qui réunit de la façon la plus générale les lois de la cristallisation des composés chimiques, la cristallisation des corps se fait dans l'ordre décroissant des valeurs EK. Ce principe énonce aussi que la cristallisation est en rapport direct avec la valence des ions du corps chimique, et en rapport inverse avec le rayon de l'ion.

Mais dans la formation des différents minéraux du même élément, à des températures plus élevées, c'est l'élément à plus grand rayon (à degré d'ionisation moindre) qui se forme, en contradiction apparente avec le principe EK. C'est-à-dire, la cristallisation des différents minéraux du même élément se fait en général dans l'ordre des rayons diminuants progressivement. L'auteur s'occupera de ce nouveau principe intéressant, qui est en rapport avec le potentiel oxydo-réducteur, dans un ouvrage spécial.