

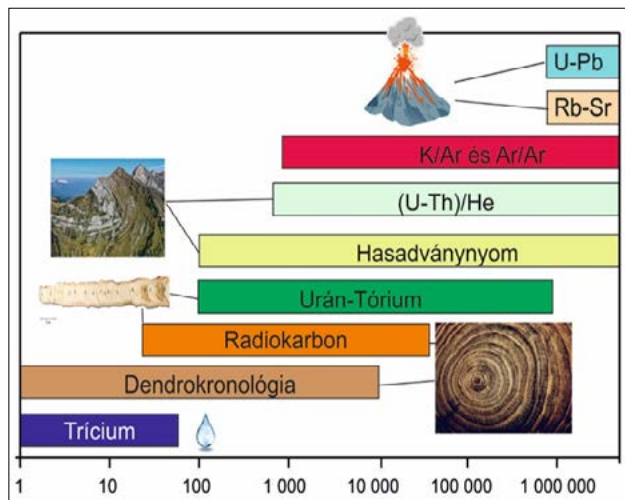
KRONOLÓGIA KÜLÖNBÖZŐ IDŐLÉPTÉKEKBEN

Palcsu László¹, Lisztes-Szabó Zsuzsa¹, Benkó Zsolt^{1,2}, László Elemér¹

¹HUN-REN Atommagkutató Intézet, Debrecen

²Debreceni Egyetem, Ásvány és Földtani Tanszék, Debrecen

Az ATOMKI-ban a légköri, hidrológiai, geológiai, üledéktani, környezeti, klimatológiai, régészeti kutatásokat integráló multidiszciplináris szemlélet gyökerei az alapításig nyúlnak vissza. E kutatási területek nem nélkülözhetik, hogy a vizsgálati objektum korát – valamely időskálán – a kutatott tárgyhoz rendeljük. Egy ásvány, egy rétegsor, egy faégyűrű képződési ideje, változásainak időbeli lefutása kulcsfontosságú a kutatás kérdéseinek megválaszolása érdekében. Cikkünk rövid áttekintést nyújt az intézetben elérhető kormeghatározási módszerekről és azok alkalmazásairól.



1. ábra. Az ATOMKI-ban alkalmazott geokronológiai módszerek

Bevezetés

Szalay Sándor, a debreceni Kossuth Lajos Egyetem professzoraként külföldi tanulmányaiból hazatérve, az 1950-es évek elején Vendl Aladár geológussal együttműködve tisztázta az urán dúsulásának kémiai folyamatát szerves anyagokban gazdag üledékekben. Később Szalay felismeréseit is alkalmazva a geológusoknak sikerült azonosítani az első urán-nyersanyagtelepet a Mecsek-hegységben. Szalay Sándor felismeréséért Kossuth Díjat kapott, és felkérést egy atommagkutató intézet alapítására Debrecenben. Az atommagkutató és a geológia így már az intézet alapításának kezdete óta összefonódik. Ennek az együttműködésnek a gyümölcse már a kezdetektől a (geo-)kronológia módszereinek, laborhátterének fejlődése. Az ATOMKI fizikusai és mérnökei folyamatosan fejlesztenek és használnak olyan műszereket, melyek nehezen mérhető elemek, izotópok koncentrációit vagy izotóparányait képesek meghatározni. E vizsgálatok egyik fő célja valamilyen környezeti elem (víz, kőzet, üledék, jég, faégyűrű stb.) korának meghatározása. A kormeghatározás különféle időskálán történik attól függően, hogy mi a kutatás célja, melyik az ehhez kiválasztott izotóp, és mi az elérhető analitikai pontosság és kimutatási határ. Az intézet kutatói már a 70-es években elkezdtek a geológiában használatos módszerek alkalmazását a rubídium-stroncium, valamint a kálium-argon módszerek meghonosításával (1. ábra). Az elsőként bevezetett módszerek a hosszú felezési idejű izotópok



Palcsu László fizikus, tudományos főmunkatárs, az Izotópklimatológiai és Környezetkutató Központ vezetője. Érdeklődési területei: a kozmogén trícium és a Napciklus kapcsolata, jégretek korolása, izotóphidrológia, paleoklímarekonstrukció. Egy OTKA-pályázat vezetője.



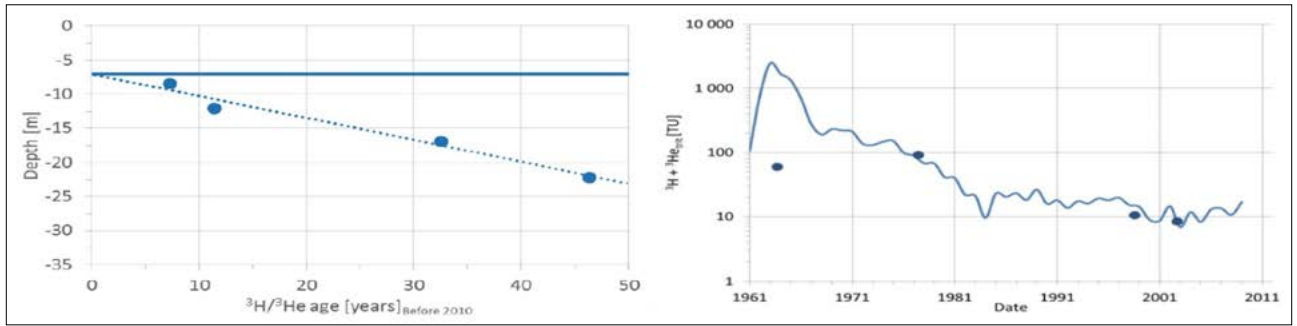
Lisztes-Szabó Zsuzsa biológus-ökológus, tudományos főmunkatárs, címzetes egyetemi tanár. Érdeklődési területek: holocén klímaváltozások a Kárpát-medencében, paleokörnyezet rekonstrukciós célú fitolit- és növényi mikromaradvány-elemzés, növényi szilíciumakkumuláció.



Benkó Zsolt geológus, egyetemi docens, a DE Ásvány és Földtani Tanszékének vezetője, az Atommagkutató Intézet tudományos főmunkatársa. Érdeklődési területei a magmás, metamorf és üledékes kőzetek geokronológiája, a karbonátok genetikája, szilárd ásványi nyersanyagtelepek képződése, valamint a fluidum-kőzet kölcsönhatás vizsgálata.



László Elemér meteorológus, az Atommagkutató Intézet, Izotópklimatológiai és Környezetkutató Központjának tudományos munkatársa. Érdeklődési területei: a csapadéki izotópok meteorológiai alkalmazásai, izotóphidrológia, borok izotópbélyegének meghatározása, légköri modellezés. Egy NKFIH-pályázat vezetője.



2. ábra. Sekély talajvíz kormeghatározása $^3\text{H}/^3\text{He}$ módszerrel Menteleken. Bal ábra: $^3\text{H}/^3\text{He}$ korok a mélység függvényében 2010-ben (a vízszintes kék vonal az átlagos talajvízszintet jelöli); jobb ábra: a becsült kezdeti tríciumkoncentrációk ($^3\text{H}+^3\text{He}_{\text{trit}}$) a naptári korok függvényében (a kék színű görbe a bécsi csapadék átlagos tríciumkoncentrációját mutatja)

rendszerek voltak (a ^{87}Rb , felezési ideje: 49,2 milliárd év; a ^{40}K felezési ideje: 1,25 milliárd év), melyek geológiai időskálán használatosak. Nagy igény volt ugyanakkor a fiatal környezeti és éghajlatváltozási folyamatok vizsgálatához a rövidebb felezési idejű izotópok alkalmazására. Csongor Éva (Szalay Sándor felesége), később Hertelendi Ede olyan proporcionális számlálócsőrendszert épített, mellyel a szén 5700 év felezési idejű radioaktív izotópját (^{14}C) lehetett mérni kellő érzékenységgel és világszínvonalú pontossággal. Az izotóparány mérési technikák bővülésével a mérhető izotópok száma is nőtt, ami újabb és újabb földtani anyagok és események korának meghatározását tette lehetővé. A következő fejezetekben néhány példán keresztül mutatjuk be, hogy az ATOMKI-ban jelenleg milyen kormeghatározási módszereket használunk a környezet- és földtudományok területén.

Hidrológiai kormeghatározás

A víz korán azt értjük, hogy mennyi idő telt el azóta, hogy a víz a felszín alá került. Elviekben a felszín alatt található víztest minden molekulája más és más időt tölthetett el a felszín alatt, azaz a víznek van egy koreloszlása. Ennek meghatározására, jellemzésére szolgálnak a kormeghatározási módszerek. A víz korolásnak két legelterjedtebb eszköze a trícium- és radiokarbon-módszerek. A fiatal vizek kormeghatározása – többek között – a hidrogén radioaktív izotópjával, a tríciummal valósítható meg (felezési ideje 12,32 év), azonban ehhez nagyon érzékeny méréseszköz szükséges az alacsony természetes koncentrációja miatt. Szerencsére az utóbbi évtizedek módszertani fejlesztéseinek köszönhetően a trícium leányeleme, a ^3He mennyiségének tömegspektrométeres meghatározásával ennek az izotópnak a pontos mérése is lehetségessé vált az Intézetben. Ha ismerjük a kezdeti tríciumkoncentrációt, akkor a vízben mért mennyiség alapján a víz kora kiszámítható a radioaktív bomlástörvény segítségével. Azonban a felszín alá beszivárgó csapadék kezdeti tríciumkoncentrációja az utóbbi évtizedekben a légköri nukleáris fegyverkísérletek miatt nem volt állandó: a 60-as évek közepére a természetes szint több mint százszorosára emelkedett. Ez az úgynevezett 1963-as bombacsúcs. Ha viszont nemcsak a víz tríciumkoncentrációját mérjük, hanem a vízben található leányelemét is,

akkor a kettő viszonyából meghatározható a kezdeti tríciumkoncentráció és így a víz kora is az alábbi képlettel:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{^3\text{H} + ^3\text{He}_{\text{trit}}}{^3\text{H}} \right).$$

A képletben a t a víz kora, a λ a trícium bomlási állandója (0,05626 1/év), ^3H a víz tríciumkoncentrációja, a $^3\text{He}_{\text{trit}}$ pedig a vízben oldott ^3He tríciumbomlásából származó járuléka.

Az úgynevezett $^3\text{H}/^3\text{He}$ kormeghatározás alkalmazásának egy szemléletes példája a Duna–Tisza közén található beszivárgási területen végzett kutatás. A kút létesítésekor, 1998-ban a talajnedvesség tríciumtartalmát vizsgálták, s megtalálták a maximális tríciumkoncentrációval rendelkező mélységet, amelyet az 1963-as beszivárgással azonosítottak. Ha nincs lehetőségünk a bombacsúcsot megtalálni, akkor más kormeghatározási módszereket kell használnunk. A mintavétel évében, 2010-ben a trícium- és héliumvizsgálatokból számolt $^3\text{H}/^3\text{He}$ korok egyértelműen növekedtek a mélységgel (2. ábra). A kor-mélység összefüggés megadja a víz vertikális áramlási sebességét, mely 320 ± 7 mm/évnek adódott. Ha ezt a mennyiséget megszorozzuk az effektív porozitással, akkor megkapjuk a beszivárgási tényezőt, melyre 48 ± 6 mm/évet kaptunk. Ez az érték az 505 mm-nyi éves összcsapadéknak mindössze csak a 9,5%-a.

Idősebb vizek kormeghatározása legtöbbször a vízben oldott szerveszén, elsősorban a HCO_3^- , radiokarbon-tartalmán keresztül történik. De hogy kerül a szén a vízbe? A felszín alá beszivárgó csapadék a gyökérszónában szén-dioxidot old magába, melynek radiokarbon-tartalma megegyezik a légköri radiokarbon-mennyiséggel. Ahogy a víz halad tovább, az áramlási pályája mentén két lényeges folyamat történik: 1) a szén-dioxidos víz karbonátot old a befogadó kőzetből, ami csökkenti a radiokarbon összes szénhez viszonyított arányát; 2) a radiokarbon mennyisége csökken a radioaktív bomlás következtében. Ezek a folyamatok megfelelő geokémia modellel becsülhetők, így a kor kiszámolható. Mivel a radiokarbon felezési ideje 5700 év, ezért a korlási tartomány néhány ezer évtől néhány 10 ezer évig terjed. Míg az intézet korai évtizedeiben radioaktív számlálási technikával vizsgálták a radiokarbondat, ahol nagy mennyiségű minta (1 g szén) hosszú idejű (1 hét) mérése volt szüksé-

ges, mára ez lecsökkent mg-os szintre, és 1-2 órás mérési időre a gyorsító tömegspektrometria bevezetésével.

Uránosoros kormeghatározás

Az ATOMKI legújabb, nagyon nagy mérési pontosságot igénylő módszertani fejlesztése az uránosoros kormeghatározás. A módszer segítségével fiatalon képződött karbonátok, pl. barlangi cseppkövek, mésztufagátak vagy tengeri korallok korát lehet igen pontosan meghatározni. Ez lényegében egy módszercsoport, amelynek mindegyik tagja a ^{238}U vagy ^{235}U bomlási sorának különböző bomlástermékein alapul. Cseppkövek esetén legtöbbször a bomlási sor elején lévő ^{238}U -, ^{234}U - és ^{230}Th -izotópok mérése és mennyisége mérvadó. E kormeghatározási módszer alapja, hogy az urán jól oldódik a vízben uranil-ion formájában, míg a tórium nem, tehát megszakad a bomlási sor. A cseppkőképződés folyamán a vízből az uranil-ion beépül a kalcium-karbonát szerkezetébe. A beépült urán bomlásnak indul, és tórium (^{230}Th) keletkezik. Ha a minta egyéb Th-tartalmú ásványoktól, főleg agyagásványoktól mentes, az anya- és leányelem izotóparányainak mérésével a karbonátos üledékek kora nagyon pontosan meghatározható. Tiszta, alacsony tóriumtartalmú cseppkövek kora éves-évtizedes pontossággal meghatározható ezer-tízezer éves időskálán is.

Geológiai léptékek

Az eddig tárgyalt módszerek segítségével a földtani közelmúltat azokat a pár ezer-tízezer éves eseményeit, történéseit tanulmányozhatjuk, amelyek az emberiség történetével közel egyidősek, vagy közvetlen kihatással vannak a civilizációra. A Föld 4,5 milliárd éves korához képest ez azonban csak az utolsó, bár kétségtelenül nagyon fontos „másodperc”. Ahhoz, hogy a földtörténet idősebb, hegységeket, medencéket, vulkánokat és nyersanyagtelepeket létrehozó eseményeit vagy a Föld belső szerkezetét megismerhessük, olyan hosszú felezési idejű izotópokra van szükség, amelyek bomlási idejei nagyságrendileg egybevetethők a Föld korával. Ilyen izotópos rendszer az U/Pb (felezési idő: 4,5 milliárd év), a Rb/Sr (49,2 milliárd év) vagy a K/Ar és Ar/Ar módszerek (1,25 milliárd év). A geokronológia e klasszikus módszerei segítségével elsősorban a vulkánok és mélységi megfelelőik, valamint az átalakult (metamorf) kőzetek korának meghatározását célozták meg az elmúlt évtizedekben.

Ezt a célt szolgálta az ATOMKI-ban a Balogh Kadosa által alapított K/Ar-laboratórium is, amely hosszú évtizedeken át szolgálta ki a közép-kelet-európai geológusokat, lehetővé téve különböző kőzettestek „abszolút” korának meghatározását. Az új évezred új kihívásokat hozott a geokronológia terén is. A pillanatszerű események (pl. vulkánkitörés) korának meghatározása mellett egyre több figyelem irányul a hő-történeti események korának meghatározására. Ezek olyan időben elhúzódó folyamatok, amelyek idejének meghatározása már csak több módszer és számos tudományterület, mint az ásványtan, geokémia,

fizika együttes alkalmazásával lehetséges. Ezzel a geokronológiát felváltja a termokronológia – ami gazdasági jelentőséggel is bírhat. Egy hegység, pl. a Himalája vagy a Kárpátok kiemelkedése, a medencék süllyedése (pl. Al-föld, Amazonas-medence) hosszú évmilliók alatt következett be. Ha a medencékbe kerülő üledékek a mélységgel felmelegednek, a bennük lévő szerves anyag szénhidrogénné érik. Ha ezek után a medence kiemelkedik, és hegyessé gyűrődik, akkor a felhalmozódott kőolaj és földgáz elbomlik vagy elvándorol. A süllyedés vagy kiemelkedés sebessége és ideje döntő hatással van a szénhidrogén érési és migrációs eseményeire. Annak érdekében, hogy a szénhidrogén érési – vagy hogy például az arany, ezüst, réz, ritkaföldfémek képződési – folyamatait időben és térben értelmezni lehessen, van szükség a termokronológiára. Ennek az igénynek a kielégítését szolgálja a K/Ar-laboratórium fejlesztései között az új multikollektoros nemesgáz tömegspektrométer, a lézeres mintafeltárás, valamint a minták besugárzását igénylő Ar/Ar módszer, továbbá a hasadvány nyom módszerek bevezetése is.

Paleoklimatológiai kutatások

Az ATOMKI-ban folyó paleoklimatológiai kutatások többek között különböző üledékek (jégkori tavak, tőzeglápok, lősz, eltemetett talajok, hullámterek, régészeti üledékek) rétegsorainak szerves és szervetlen archívumain mért izotóp- és geokémiai adataira támaszkodnak. Az üledék és jég fúrásanyagok, a cseppkövek rétegei és a faévgyűrűk, mint archívumok vizsgálata hasonló elven alapul. Ezek a természetes adattárak évről évre (vagy akár évszakosan) mérhető adatsorokként rögzítik a vízterekben zajló biológiai és kémiai folyamatok nyomait, a kiüledett, bemosódott, kicsapódott anyagokat. A precíz terepi mintavételt követően a minta rétegsoraihoz valamilyen izotóp-geokronológiai módszerrel kort rendelünk, és vizsgáljuk a rétegsorok fizikai-kémiai jellemzőinek időbeli lefutását, amellyel végső soron értelmezni tudjuk a környezet és a klíma változásait. Az üledékelemzésen alapuló kutatásokban a radiokarbonos kormeghatározás jelentős szerepet játszik, mivel segítségével számos széntartalmú anyag kora meghatározható, mint például növényi és állati szubfosszilis maradványok, faszén, tőzeg, csont, tavi üledék, csigahéj vagy akár cseppkő. A ^{14}C -kormeghatározással, mely sok esetben az egyetlen megfelelő korlási módszer, egy külön közlemény foglalkozik ebben a folyóirat számban. A számos módszer közül az üledékekben a növényi mikro- és makrofossziliák azonosítását, szemcseméret-elemzést, elemanalitikai elemzéseket, valamint radioaktív és stabilizotóp-vizsgálatokat végzünk, melyek eredményeivel az őskörnyezet rekonstruálható.

A klíma megváltozása hatást gyakorol a környezetre, ugyanakkor az utóbbi évtizedekig a klíma természetes folyamatok során bekövetkezett változások hatására módosult, melynek léptéke eddig – napjaink klímaváltozásával ellentétben – az emberiség kronológiáján messze túlmutatott.