

## AZ ATOMENERGIA FÜLDRAJZI VONATKOZÁSAI

Írta: FORGÁCH GÉZA

*Az atomenergia mint a bioszférát befolyásoló tényező.* A harmincas évek közepén a rádióaktív sugárzással foglalkozó kutatók olyan kísérleti jelenségeket figyeltek meg, amelyek az urán atom maghasadását igazolták. Kiderült, hogy a  $^{235}\text{U}$  atomsúlyú uránium atommagja lassú neutronok hatására kisebb atomsúlyú elemekre bomlik, miközben újabb neutronok szabadulnak fel. A felszabaduló neutronok újabb maghasadást képesek előidézni, láncreakció formájában, ha megfelelő tömegű és minőségű uránium áll rendelkezésre. Ez a maghasadás eddig még sohasem tapasztalt nagymértékű energiatermeléssel járt.

Ekkor még kevesen foglalkoztak az urániummal. Oxidját fekete, sóit sárga, narancssárga, arany és rubin színárnyalatú kerámiai és üvegárúk előállítására használták. Ma egyike a leggyakrabban emlegetett fémeknek és mind nagyobb a jelentősége ennek a rendkívüli tulajdonságú elemnek. A tiszta uránium acélszürke színű, kemény fém. Könnyen szikrázik, ha késpengével vagy más acéldarabbal megütjük. Az uránforgácsok piroforosak, ezért csak különös gonddal és elővigyázatossággal lehet esztergpadon megmunkálni, mert könnyen tüzet okoz.

Az uránium háromféle atomsúlyú izotóp: az  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  keveréke. A közös uránium a legnagyobb tömegben  $^{238}\text{U}$ -t tartalmaz. A láncreakció szempontjából az  $^{235}\text{U}$  a döntő jelentőségű, amely 92 protont és 143 neutront tartalmaz. Az  $^{235}\text{U}$  a tiszta urániumnak 0,7%-t, kb. 140-ed részét képezi.

A tiszta  $^{235}\text{U}$  igen veszélyes rádióaktív anyag, amely az első atombomba hatóanyaga volt és az atommáglyák vagy atomreaktorok nélkülözhetetlen anyaga ma is. A csekély mennyiségű  $^{235}\text{U}$  különválasztása a természetes urántól diffúziós eljárással történik, és rendkívül bonyolult, több mint 2000 lépcsőből álló folyamat. A természetes urániumot gázalmazállapotú uránfluoriddá alakítják át, ezután diffúzióval különválasztják az  $^{235}\text{U}$  fluoridot, majd elektromos kemencében fémkalciummal színfémme redukálják. Az  $^{235}\text{U}$  segítségével állítják elő a mesterséges transzurán elemet, a plutóniumot is, amely szintén alkalmas maghasadás előidézésére, láncreakció formájában.

A tiszta  $^{235}\text{U}$  előállítása igen sok beruházást és munkát igényel, ezért a tiszta  $^{235}\text{U}$  fém jóval drágább, mint a színarany. 1 kg tiszta  $^{235}\text{U}$  ára 1954-ben 250.000 forint körül volt [1].

Az atomreaktorokban az  $^{235}\text{U}$  atomoknál, lassított neutronok befogásával láncreakció-szerű atommaghasadás következik be, amely energiafelszabadulással jár. Ez a folyamat bizonyos tekintetben hasonló a közös tüzelőanyagok elégetése útján nyert energiatermeléshez. Ez utóbbiaknál is elegendő a folyamatot néhány molekulánál »begyűjtani«, az égés ezután már magától terjed tovább. A természetes uránium azonban a szénhez, vagy kőolajhoz viszonyítva rendkívül koncentrált

energiát szolgáltató anyag, mert 1 kg. természetes uránium 3 millió kg kőszénnek megfelelő hőenergiát szolgáltat.

Ilyen értelemben beszélhetünk atomfűtőanyagról. Ezek képviselői jelenleg az  $U_{235}$ , a Pu (plutónium), amely ugyancsak az  $U_{235}$  felhasználásával állítható elő a természetes urániumból. Újabbán kiderült, hogy hasonló tulajdonságú az  $U_{233}$  is, amely a természetben nem fordul elő, hanem a  $Th_{232}$  (tórium)-ból állítható elő. Ennek a felfedezése azért fontos, mert amíg a jelenleg ismert uránérctelepekből termelhető tiszta urániumot 10 ezer tonnára becsülik, addig az ismert tóriumtelepekből termelhető tiszta tóriumot 200 ezer tonnára becsülik [2].

Az atomenergia felszabadítása az ún. atommáglyákban vagy röviden reaktorokban megy végbe. A reaktoroknak lényegében 3 alapanyaga van:

1. A fűtőanyag vagyis a maghasadásra alkalmas anyagok:  $U_{235}$ , Pu,  $U_{233}$ .
2. Moderátor anyag, amely a neutronokat lelassítja és visszaveri. Ilyen anyagok a grafit, a nehézvíz és a berillium.
3. Neutron elnyelő anyag, amely a reaktor »begerjedés«-ét megakadályozza, ha túlhevessé vált a láncreakció, mert ez veszélyes robbanáshoz vezethet. Erre a célra a kadmiumot használják.

Jelenleg háromféle reaktortípust különböztetnek meg. *Heterogén reaktor*, amikor a »fűtőanyag« nincs közvetlenül összekeverve a moderátorral. Ilyenek a grafit-tömbös máglyák. A felhasznált grafit többszáz tonna súlyú, ebbe kb. 25 cm-es távolságokban lyukakat fúrnak és ebbe helyezik a tiszta hasadó anyagot, rudak alakjában. A felhasznált hasadó anyag súlya 20—40 tonna. Ez a reaktor lassított neutronokkal működik.

*Homogén reaktor*, amikor a »fűtőanyagot« összekeverik a moderátorral. Ilyen reaktorok a nehézvizet tartalmazó reaktorok. Például az  $U_{235}$  szulfátját feloldják nehézvízben.

Újabbán rájöttek arra, hogy nem szükséges tiszta  $U_{235}$ -t használni, a láncreakció biztosítható, ha a természetes urániumban az  $U_{235}$ -t 16%-ra feldúsítják. Ez a felismerés lényegesen elősegítette az atomenergia békés célokra való felhasználását, mert lényegesen olcsóbbá tette az atomenergia felhasználását.

*Atomtenyésztő reaktor*. Ezekben a reaktorokban kismértékben  $U_{235}$ -tel (5% arányban) dúsított természetes urániumot használnak. A reakciót úgy szabályozzák, hogy az  $U_{235}$  hasadásakor felszabaduló gyors neutronok az  $U_{238}$ -t neutron befogással plutóniummá alakítják, amely hasonló tulajdonságú, mint az  $U_{235}$ . Ha az ilyen reaktorokba különböző elemeket is elhelyezünk, akkor ezek rádióaktív izotópokká alakíthatók. Így állítható elő például a rádióaktív kobalt, amely a gyógyászatban a rádium helyett használható. Ugyanakkor a keletkező hőenergia ipari célokra is felhasználható. Jelenleg ezek az atomtenyésztő reaktorok mutatkoznak a leggazdaságosabbaknak. Főleg a kis államok részére igen gazdaságos, mert lényegesen kisebb beruházást igényelnek. Ilyen reaktor működik pl. Norvégiában is.

A hasadó anyagoknak az elhasználódása aránytalanul lassúbb a közönséges tüzelőanyagokhoz viszonyítva. Ezért a hasadó anyag nem egyszerűen »fogyóanyagot«, hanem leltári felszerelést képez az atomerőművek számvetésében. Ezenkívül a hasadó anyagot időnkint újra finomítják, ha a láncreakciót gátló anyagok elszaporodtak benne.

Tiszta  $U_{235}$ -tel, vagy plutóniummal működő reaktor által szolgáltatott 1 kW óra energia ára 10 fillér. Közönséges tüzelőanyagokból nyert hasonló mennyiségű energia ára 1,5 fillér. Az ilyen reaktorokban termelt energia ára tehát elég magas. Viszont ma már a fenti hasadó anyag részére kisméretű, mobil reaktor készíthető, és ez bizonyos esetekben, pl. a közlekedésben igen nagy jelentőségű.

Hasadó anyaggal dúsított, természetes urániummal működő grafit moderátoros reaktorok gazdaságosabbak, 1 kW óra energia ára 3 fillér. Az atomtenyésztő reaktor a leggazdaságosabb, 0,02 fillérbe kerül 1 kW óra elektromos energia. Egy 100 ezer kW-os atomreaktor évente 10 ezer kg rádiummal azonos sugárzási értékű hasadási mellékterméket is szolgáltat [1].

Ma már kiterjedt atomiparral és az atomenergia mindinkább változatos felhasználási módjaival találkozhatunk a gyakorlatban. Hadászati célok mellett mindinkább előtérbe lép az atomenergia széleskörű békés felhasználása. A reaktorok, mint láttuk, főleg az atomtenyésztő reaktorok esetében, nemcsak hőenergiát szolgáltatnak, hanem igen változatos rádió-

aktív izotóp elemeket is, amelyeket felhasználnak a gyógyászatban, az ipar különböző ágaiban, a biológiai- és mezőgazdasági kutatásokban, a közlekedésben stb.

Mindezek a földfelszíni élet szempontjából új tényezőket jelentenek. Új energiaforrás birtokába jutott az emberiség, amely egy újabb ipari forradalmat indított el.

A földrajz tudománynak feladata, hogy ennek, a bioszférát jelentékenyen befolyásoló új tényezőnek a közvetlen hatását, a földfelszíni élet jelenségeinek szimbiozisa és kölcsönhatása szempontjából vizsgálja. Már eddig is sok olyan jelenséget figyelhattunk meg az atomenergiával kapcsolatban, amelyek kétségtelenül szoros kölcsönhatásban állanak egyes földrajzi tényezőkkel.

**Az atomipar megváltoztatja az egyes földrajzi tájak relatív helyzetét.** Az atomiparnak két alapvető tényezője van, a nyersanyag és a szakember kérdés.

Az atomipar legfőbb alapanyaga jelenleg az uránium. Az uránium sok helyen fordul elő a litoszférában, sőt az élő szervezetekben is, de igen csekély mennyiségben. Eddig még kevés olyan helyet ismerünk Földünkön, ahol nagyobb mennyiségű urántartalmú érctelepre bukkantak. Az uránium igen változatos formában fordul elő, mint kőzetalkotó elem, vagy kísérő elemként egyes ércekben. Így az eddigi tapasztalatok alapján előfordulhatnak magmás és üledékes kőzetek formájában is.

Általában telérkőzetnek tekinthetjük, amelyek átmenetet képeznek a mélységbeli és kiömlési kőzetek között. Az uránium eredeti felhalmozódása a magma megdermedése révén keletkezett, a gránittal vagy a gránit-hoz hasonló őskőzettel együtt, általában pegmatitos és hidrotermális utókristályosodási fázisban. Ilyen például az uraninite, szurokérc, (pitchblende). A Szurokérc ( $U_3O_8$ ) szabályos kristályokat alkothat, de a rádióaktív szétesés miatt ritkán találhatunk ép kristályokat.

A sárgaszínű uranophanet és tyujamuritet pedig mészkőben találták, mint az U. S. A.-ban New-Mexico területén. Ugyancsak találtak urániumot jura homokkő lerakódásokban is, mint a carnotitet Colorádóban. Igen érdekes előfordulási formáció, a foszfátföldekben található uránium, mint az U. S. A.-ban Florida, Wyoming, Montana és Idaho területén. A foszfát kőzetekben alacsony koncentrációban fordul elő. Ezenkívül előfordul, mint kísérő elem is a különböző ércekben, például réz, ólom, zink, nikkel, ezüst, arany stb. ércekben. Jelenleg több mint 100 urántartalmú ércet ismernek, amelyek közül 19 színes. A két legnagyobb tömegben előforduló uránérc a szurokérc és a carnotit, amely az urániumon kívül vanadiumot is tartalmaz.

Az uránkutatás »varázsvesszője« a Geiger—Müller-féle számláló. Ez a készülék a rádióaktív sugárzás intenzitásának megállapítására szolgál. Lényegében fémcső, amelynek a közepébe acéltűt helyeznek. A készülékbe elektromos áramot vezetnek, a közepén levő tű hegye és a fémtok fala közvetlenül nem érintkeznek egymással, ha a fémtokban levő levegő vagy gáz ionizálódik, akkor elektromos kisülések keletkeznek. A levegőt a rádióaktív sugárak ionizálják. A rádióaktív sugárzás intenzitásától függően a percnkénti kisülések száma változik. A kisüléseket mikrofonnal felerősítik és így a percnkénti kisülések sercegő hang formájában megfigyelhetők.

Az uránkutatói láz világviszonylatban az 1952. és 1953. években érte el tetőfokát. Jellemző, hogy az 1952-es évben 35 ezer GEIGER—MÜLLER-féle (G. M.) számláló került forgalomba, ami legjobban bizonyítja az uránkutatók intenzitását [3].

Az uránérc változatos előfordulásának megfelelően az uránkutatók is igen változatos módon történik. Az ismeretlen és lakatlan területeket először geográfusok járják be és letérképezik, azután a talajkutatók, az ún. »urán vadászok« járják be a területet gyalogosan, jeepekkal és mélyfúrásra alkalmas szerszámokkal felszerelt autókkal. A kanyonszerű hegyoldalak pedig kis sebességgel haladó, de gyors emelkedésre és fordulásra alkalmas repülőgépekkel kutadják át, a repülőgépbe szerelt különleges G. M. számláló segítségével.

Előfordul, hogy egyes növények vezetnek uránnyomra. Így a Colorado platón, a boróka és különböző növények jeleztek urániumot, a G. M.-féle számlálóban. Ezekbe a növényekbe a talajból került az urán. Az ilyen növények alatti talajban mélyebben kisebb-nagyobb mennyiségű uránlelőhelyre akadtak. Más növények tetemes mennyiségű kén- és szelént tartalmaznak, amelyek uránnal társulnak, az ilyen növények is jelzik az urán jelenlétét [3].

A világ eddig között legfontosabb urántelepei a következők [4].

**Közép-Afrika.** A Belga Kongó D.-i részén terül el a »mesés«-nek nevezett *Shinkolobwe* bánya, amely lényegében két területből áll. Egy 7,700 és egy 5,500 négyzetmérföldes terület. Ez a világ egyik legfeltettebb urántelepe. A szakértők véleménye szerint valószínűleg több urán van itt, mint a Föld eddig feltárt urántelepein összesen. Az urániumon kívül nagy mennyiségű rezet, kobaltot, cinket, az atomipar szempontjából szintén igen fontos kadmiumot, továbbá ezüstöt és aranyat is bányásznak.

**Dél-Afrika.** Pretóriától délre, a Limpopo, Vaal és Oranje folyók közötti hát-ságon, a *witwatersrandi* aránybányák szolgálnak nagymennyiségű uránt. Itt az arányércekből cianidos eljárással vonják ki az aranyat és a visszamaradó iszappal nyerik az uránt. A Kongó medencét és a D. Afrikát tekintik jelenleg a Föld első számú urántartományának.

**Canada.** A canadai pajzson a sarkvidéktől a Nagy Medve tó és az Athabasca tó K.-i oldalán a Huron tóig terjedő, nagyjából háromszög alakú területen bányásznak urániumot. Ez a terület általában Beaver Lodge és Saskatchewan területét foglalja magában. A canadai bányászatot megnehezíti a hosszú és zord tél. Szeptemberben már 30°-os hideget is mérnek, vastag jégtakaró borítja a felszínt, amely gátolja a felszíni fejtést. Így a legészakibb területeken körülbelül csak 3 hónap áll rendelkezésre a kitermelésre. Ezenkívül a canadai lelőhelyek 90%-a távol esik a civilizált területektől. A canadai urántelepekre főleg a szurokérc jellemző.

Az U. S. A.-ban a legfontosabb lelőhely az a mintegy 130 ezer négyzetmérföldnyi terület, amely a Colorado-fennsík, Utah, New Mexico és Arizona összeszögelésénél terül el. Itt egy sajátos formációban, porszerű alakban fordul elő a homokkőben a carnotit, amelyet már régebben is ismertek és vanádium előállítására használtak. Ezenkívül még előfordulnak uránlelőhelyek Idaho, Wyoming, D. Dakota és Florida területén levő foszfát kőzetekben, ezek a területek egyébként az U. S. A. foszfát forrásai is.

A Szovjetunióban az Uralban szurokérc, Tadzsikisztánban főleg Andizhan környékén carnotit fordul elő. A Szovjetunió geológiai viszonyai alapján következtetni lehet máshol is urántelepekre, amelyeknek felkutatása a hatodik ötéves terv egyik legfontosabb célkitűzése.

**Ausztrália.** Szintén egyike a legfontosabb uránlelőhelyeknek: északon Port Darwin-től délre 50 mérföldre Jungle Rum. Délen pedig Adelaidától 250 mérföldre Radium Hill. Ausztráliában különösen fontos szerepe van az atomenergia fejlesztésének, mert a két világháború alatt nagy mértékben fejlődött a nehézipara, viszont energia

forrásokban szegény. Vízrajzi viszonyai miatt vízi energiája nincsen, ezenkívül kevés a szene és igen kevés a kőolaj készlete is.

Világviszonylatban még nevezetes Csehország és Kelet Németország uránérc készlete. Előfordul még kevés uránérc Angliában (Cornwall), Közép-Franciaországban, Norvégia déli részén. Újabbán észak Portugáliában jeleztek uránérclepet, amely az első becslések alapján szintén jelentékeny uránkészlettel rendelkezik.

Az uránkutatók szempontjából a következő gyakorlati földrajzi szabályt állították fel, amelynek alapján a legvalószínűbb az uránium felfedezése:

1. Olyan terület környékén, ahol már régebben is találtak urániumot.

2. Olyan területeken, ahol a geológiai és morfológiai feltételek hasonlóak azon területekéhez, ahol már találtak urániumot.

3. Olyan területeken, ahol azelőtt különösen a következő fémeket találták: ólom, zink, kobalt, réz, ezüst, nikkel, bizmut, vanádium.

*Az uránlelőhelyek földrajzi szempontból helyi energiát jelentenek, amelyek ezeken a vidékeken lényegesen befolyásolták a települési viszonyokat. Az atomipari telepek helyzeti energiát hoznak létre.*

Így a gazdagabb uránlelőhelyeknél néhány év alatt városok keletkeztek, gyakran a civilizált területektől igen távol. Ilyen újonnan keletkezett városok például a Nagy Medve tó partján *Port Radium*, Észak Saskatchewanban *Uranium City* és *Eldorado*. Általában megállapíthatjuk, hogy a canadai uránkutatók 1952-ben érte el tetőfokát és emlékeztetett az egy évszázad előtti kaliforniai aranylázra.

Az U. S. A.-ban az uránlelő területeken régebbi bányavárosok, vagy az aránylelőhelyek kimerülése után elnéptelenedett városok indultak újra fejlődésnek, a helyi energia újabb kihasználása következtében, mint pl. *Central City* Denver-től nyugatra 30 mérföldre. Új városok is keletkeztek, mint a Colorado Fennsíkon *Uranium*, Tennessee államban *Oak Ridge* az atomipar egyik központja, vagy *Marysvale* Utahban, amely 500 lakosú kisközség volt még 1949-ben, a helyi energia feltárással 1953-ban már várossá fejlődött. Az utahi urániumlelőhelyek felfedezése 1953-ban érte el tetőfokát és földrajzi szempontból emlékeztetett az 1897/98-i klondiki aranymezők felfedezésére [3].

Újabbán mindinkább fokozódik az érdeklődés a tórium iránt, amely nagyobb mennyiségben fordul elő a litoszférában mint az uránium.

A magfizikai kutatások fejlődésével lehetővé vált a tórium 232 felhasználása is atomenergia céljaira, amiről az előbbieken már szó volt.

Nagyobb *tóriumlelőhelyeket* találtak eddig a következő helyeken: Braziliában *Bahia* és *Espirito Santo* vidékén, Elő-India délnyugati részén *Travancore* vidékén, ezenkívül *Ceylon* szigetén és *Malajában* [4].

A tórium főforrása a monazit, amely előfordul édesvízi, de leginkább tengeri eredetű ún. parti homokkőben. A monazit több ritkafémet tartalmaz és lényegében a cérium, lantan és diszpróziom foszfátjaiból és tóriumoxidból áll. Valószínűleg még egyéb helyeken is várható tóriumlelőhely felfedezése.

Hazánkban először SZALAY SÁNDOR és FÖLDVÁRI ALADÁR professzorok végeztek ilyen irányú kutatásokat. Kiterjedt uránnyom előfordulásokat találtak egyes széntelepeinken, tonnánként 100 g. Lehetségesnek látszik ezen nagyértékű nyersanyag dúsításának és kivonásának problémáját.

megoldani. Egyes hazai szeneink hányóra dobott hamujának urántartalma kihasználatlan. Ez az elvben kihasználható atomenergia készlet legalább 60-szorosa a szén elégetésekor kapott és már elhasznált energiának.

Rendkívül nagy jelentőségű a hazai atomenergia termelés jövője szempontjából az utóbbi években Pécs környékén felfedezett, magasabb koncentrációjú uránérc lelőhely.

Megállapíthatjuk, hogy mindenütt, a sarkvidéktől a trópusig, földrajzilag fontos helyi energia tényezőként jelennek meg az atomipari nyersanyagok lelőhelyei, amelyek egyes földrajzi tájak relatív helyzetét lényegesen megváltoztatják.

**Az atomreaktorok szerkezeti anyagai is fontos gazdasági földrajzi tényezők.** Gazdasági földrajzi szempontból lényeges az atomreaktorokkal kapcsolatban a szerkezeti anyagok, mint a *grafit, nehézvíz és cirkónium* kérdése.

A Föld *grafitkészlete* jól ismert, de ezenkívül mesterségesen is előállítható. A probléma vegytiszta grafit előállítására, mert legfeljebb csak egymilliomod arányban tartalmazhat szennyező anyagokat. A szennyező anyagok között sok olyan anyag van, amely a neutronokat elnyeli és így az atomreaktorban végbemenő magreakciókat »befagyaszttja«.

A *nehézvíz* szintén egyike a legfontosabb moderátor anyagoknak, amely a neutronokat nem nyeli el, hanem visszaveri. A közönséges víz a neutronokat elnyeli és erősen rádióaktívvá válik, ezért csak hűtésre használják. Különös gondot igényel a hűtésre szánt folyók és tavak vízének rádióaktív fertőző hatását megakadályozni. A közönséges víznek 0,02%-a nehézvíz. A nehézvíz molekula deutériumokat, nehézhidrogén atomokat tartalmaz. A nehézvíz molekula súlya 20, míg a közönséges vízé 18. A nehézvíz forráspontja + 101,4 C°. Olvadáspontja + 3,8 C°. Ebből következik, hogy a hóolvadékból nyert vizekből gazdaságosabb a nehézvíz előállítása. Ezért a gleccser vizek különösen alkalmasak a nehézvíz előállítására, mint pl. Norvégia, Svájc, Szovjetunió, Kanada. Az atomipar fejlődésével mindinkább több gleccser vidéket hasznosítanak ebből a célból. A nehézvíz előállítása bonyolult feladat és elsősorban olcsó elektromos áramot igényel. A nehézvíz előállítása szempontjából azok a tájak vannak előnyben, amelyek nagymennyiségű vízienergia útján nyert elektromosárammal rendelkeznek. A nehézvíz szintén olyan anyag, amelynek az előállítása sok munkát és energiát igényel, ezért az értéke az aranyéval azonos. Kísérleti célokra hazánkban is állítanak elő nehézvizet. A Fertő tó vize látszik erre a célra a legalkalmasabbnak párolgási viszonyai következtében.

Az atomipar egy másik problémája, hogy a különböző csövekhez és az egyes gépi alkatrészekhez olyan megfelelő fémet használjanak, amely a neutronokat nem nyeli el és a rádióaktív sugárzásnak ellenáll. A rádióaktív sugarak hatására az egyes fémek gyorsabban korrodeálódnak. Jelenleg a legelterjedtebben az alumíniumot használják, de tartósság szempontjából jobban megfelelne erre a célra a cirkónium.

Eddig még kevés *cirkóniumlelőhelyet* ismernek, így a világ évi cirkontermelése 150 tonnára becsülhető. Cirkon előfordul hazánkban is a bauxitban alacsony koncentrációban. Viszonylag legtöbbet tartalmaz még az iszkaszentgyörgyi bauxit.

**Az atomenergia felhasználása a közlekedésben új helyzeti energiákat teremti.** Az atomreaktorok sok száz tonna súlyt képviselnek és igen nagy helyet foglalnak el. Az atomreaktorok tervezése azonban már eddig is sokat fejlődött és sikerült, kisméretű, aránylag kis súlyú atomreaktorokat előállítani, amelyek közlekedési célokra használhatók. Az ilyen reaktoroknál  $U_{235}$ -tel, vagy plutóniummal dúsított uránizotóp keverék a fűtőanyag. Az atomenergia egyelőre a nagy hajók hajtására mutatkozik gazdaságosnak, amely könnyen elbírja a kisméretű atomreaktor súlyát. Egy 50 ezer lóerős nagy tengeri hajónak 10 napos útjához 12 ezer tonna szén szükséges, ehelyett elég lenne 4 kg uránizotóp keveréket felhasználni, ami nagy súly- és térmegtakarítást jelent.

Ismeretes, hogy az U. S. A.-ban felépítették az első atomenergia meghajtással működő hajót, a »Nautilus« tengeralattjárót, amelynek vízkiszorítása 3,200 tonna és 7000 lóerős motorral működik. 1957-re atomenergiával hajtott repülőgép anyahajót terveznek. Ezek mind hadi célokat szolgálnak. A Szovjetunióban atommeghajtású jégtörő hajó építésén dolgoznak. A szakemberek véleménye szerint 10—15 év múlva minden nagyobbméretű tengeri hajó atommeghajtású lesz.

Ennek földrajzi szempontból főleg az Északi Jeges Tenger és Óceánia szigetvilágának hajózásában lenne nagy jelentősége, mert ezeket a területeket rendszeres, hosszújaratú és nagyméretű tengeri hajók csak kivételesen keresték fel az üzemanyag (szén, olaj) nehéz utánpótlása miatt.

A vasúti közlekedés számára is terveztek már atommeghajtású mozdonyokat, de a szovjet szakemberek számításai alapján csak akkor volna gazdaságos, ha 3 m nyomtávolságú vasútnak építenének.

**A radiológiai hatás a bioszféra szempontjából.** Az atomipar létesítése és az atombomba alkalmazása terén az atmoszféra, hidroszféra és litoszféra tényezőit figyelembe kell venni a sugárfertőzés szempontjából.

Nagy teljesítményű atomreaktoroknál, akár levegő vagy vízhűtés esetében, tekintetbe veszik az állandó szelek irányát, a víz mennyiségét, folyási irányát és áramlási sebességét. A leg gondosabb kezelés mellett is, főleg üzemzavar esetében, sugárhatású izotóp elemek kerülhetnek a levegőbe. Ezért a ventilációs kéményeket legalább 100 m magasra építik, és lehetőleg olyan helyen telepítik a nagy üzemeket, ahol a közvetlen környéke nem lakott hely. A hűtővíz esetében a felhasznált folyók és tavak vizének megfelelő elvezetéséről kell gondoskodni, nehogy a vízmenti települések radiológiai fertőzést szenvedjenek.

Az atombomba robbanása következtében bekövetkező sugárfertőzést milyen mértékben befolyásolják a légköri és a tengeri viszonyok, azt legjobban az 1954. március havában Japántól D. Ny.-ra, az Egyenlítő közelében levő Bikini szigetekenél végrehajtott atom- és hidrogénbomba kísérletek következményei igazolták Japánban. [5]. A robbanásakor keletkező szokásos izotóp-részek mellett aktív calcium 45 és kén 35 izotópot is találtak, a calcium valószínűleg a fehér korallból eredt. Ezek a sugárzó aktív részecskék a szél útján jutottak el Japánba, a robbanás helyétől légvonalban több mint 3000 km-re, majd az esővel együtt lecsapódtak. Egy hónap múlva áprilisban, az oszakai egyetem laboratóriumában G. M. számlálóval megvizsgálták az esővizet, 1 liter esővíz percenként 140 lökést mutatott; májusban Kyotóban 86 ezer, majd később 20 ezer és 15 ezer

lökést mutatott. Ezek az adatok is igazolják, hogy a légköri viszonyok mennyire kiterjeszthetik a sugárfertőzés területét.

A tengeri áramlások pedig sugárfertőzést mutató haltetemeket, kókuszdíót, és egyéb tárgyakat szállítottak különböző irányba, Japán és a dél-csendes óceáni szigetvilág felé.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a radiológiai hatások szempontjából a bioszférát alkotó elemek különbözőképpen reagálnak. A rádióaktív sugárzás és a magreakciók alkalmával felszabaduló neutronok hatására a kőzetalkotó és egyéb elemekből különböző radioaktív izotóp elemek keletkezhetnek. A radioaktív sugárzás hatását, a sugárzás erősségével megaelektronvoltokban ( $1 \text{ Mev} = 10^6 \text{ elektronvolt}$ ,  $1 \text{ elektronvolt (ev)} = 1,601 \cdot 10^{-12} \text{ erg.}$ ) és a sugárzó hatás időtartamával, a felezési idővel mérik. Földrajzi szempontból elsősorban a felezési idő fontos, vagyis ama időtartam, amikor a keletkezett radioaktív izotóp elem sugárzó hatása a felére csökken.

Néhány leggyakrabban előforduló kőzetalkotó elem izotópjainak felezési ideje és keletkezési módja a következő (g = gammasugárzás, n = termikus neutron, p = proton) [6].

Jele	Tömegszáma	Féldő	Keletkezési mód
Ca	45	152 nap	Ca (n,g).
Cl	36	$4,10^5$ év	Cl (n,g).
Fe	55	2,94 év	Fe (n,g).
Fe	59	45,1 nap	Fe (n,g).
K	42	12,4 óra	K (n,g).
Na	24	15 óra	Na (n,g).
P	32	14,3 nap	P (n,g). S (n,p).
S	35	87,1 nap	S (n,g). Cl (n,p).
Si	31	2,6 óra	Si (n,g).

**A rádióaktív izotóp szén (radiokarbon) a földrajzi kutatás szolgálatában.** A rádiokarbon vizsgálati módszert az archeológiában alkalmazzák a geokronológiai sorrend megállapítására, amely azonban földrajzi szempontból is jelentős a táj kutatás terén. Ezt a módszert az 1955. augusztusi genfi atomértekezleten ismertették. Ezt a vizsgálati módszert 45 ezer év távlatában használhatjuk, bizonyos szerves eredetű leletek korának a megállapítására.

Erre a célra rádióaktív szenet,  $C_{14}$ -t használnak, amely 6 protonból és 8 neutronból áll. A  $C_{14}^6$  a kozmikus sugárzás hatására a magasabb levegőrétegekben, 8—10 km magasságban állandóan keletkezik nitrogénből. A kozmikus sugárzás neutronja, a  $N_{14}^6$  atommagjából egy protont kilő és a helyére maga lép. Így a nitrogénből a rádióaktív  $C_{14}^6$  szén izotóp keletkezik. A rádióaktív szén rögtön oxigénnel egyesül széndioxiddá és szétoszlik a levegőben. Ez igen csekély mennyiségű, de felhalmozódik a növények és ezen keresztül az állatok szervezetében.

A kormeghatározást a sugárzás erősségének a mérésével végzik. Ehhez azonban ismernünk kell a  $C_{14}$  koncentrációt a lelet keletkezésének idejéből, ezen a téren feltételezéssel élünk és a mai hasonló anyagok  $C_{14}$  tartalmát vesszük alapul. Ilyen módon a sugárzás erősségének összehasonlításával geokronológiai meghatározást végezhetünk. A  $C_{14}$  eredeti meny-



nyisége 5568 év után felére, 11,136 év után negyedére csökken a sugárzás következtében és így 45 ezer év távlatában tudunk időmeghatározást végezni. Így pl. a rádiókarbonvizsgálatok és a geneológiai kutatások Új Zeelandban a polinéziaiak betelepülését és a korábbi protopolinéziai népesség eltűnését az i. u. 14. század közepére datálják.

Hátránya ennek a vizsgálati módnak, hogy csak szerves lelettel végezhetjük a meghatározást és ezt is szükséges elégetni, mert csak a hamu tartalmából történhetik a meghatározás.

Befejezésül meg kell említeni, hogy az atomenergia felhasználásával kapcsolatban nagy jelentőségük van az ún. »atomközösségek« létrehozásának, amelyek a kisebb államok részére is lehetővé teszik az atomkutatásba való bekapcsolódást és földrajzilag is kiterjesztik az atomenergia békés célokra való gyakorlati felhasználását, pl. a Dán—Norvég—Svéd atomközösség.

A Szovjetunió és a népi demokratikus államok Moszkvában 1956. március hó 27-én írták alá az »Egyesített Atomkutató Intézet« megalakulásáról szóló egyezményt.

A népi demokratikus államok közül Csehszlovákia nemcsak a világ egyik legrégebben ismert uránérc telepével rendelkezik, hanem a szakemberképzés terén is élen jár. Így Prágában működik a magtechnikai ipariskola, ahol atomipari technikusokat képeznek és 1955. szeptember 1-én nyílt meg a prágai Károly Egyetemen a technikai és magfizikai kar, ahol atomenergetikai mérnököket képeznek.

Végül befejezőként megállapíthatjuk, hogy az atomiparnak és az atomenergiának több olyan vonatkozása van, amelyeknek tájalakító hatásuk van és kölcsönhatásban vannak bizonyos földrajzi tényezőkkel. Ez pedig nem érdektelen a földrajzi vizsgáladás szempontjából.

#### IRODALOM.

- [1] Román Pál: Az atomenergia felhasználása békés célokra. Természet és Társadalom, 1954. augusztus, CXIII. évf. 8. sz. p 465—469.
- [2] Koczkár Ernő: Atomtechnológia. Természet és Társadalom, 1955. augusztus, CXIV. évf. 8. sz. p 458—461.
- [3] Nininger D. Robert: Hunting Uranium Around The World. The National Geographic Magazine, October 1954. Vol CVI, No 4, p 533—558.
- [4] Oxford Economic Atlas Of The World. 1954.
- [5] Yasuhsi Nishivaki: Az A- és H-bombák sugármérgezésének vizsgálata Japánban. Természet és Társadalom, 1955. február, CXIV. évf. 2. sz. p 101—105.
- [6] Hecht F. und Zacherl M. K.: Handbuch der mikrochemischen Methoden, II. Band, p 216. Springer Verlag, Wien 1955.
- [7] Korszunszkij: Az atommag. Közoktatásügyi Kiadóvállalat, 1951. p 1—356.
- [8] Broda Engelbert: Rádiókémia újabb eredményei. Akadémiai Kiadó, 1952. p 1—126.

#### ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Г. Форгач

Атомная промышленность с точки зрения симвоза и взаимодействия явлений жизни на поверхности земли является новым фактором. Автор изучает этот вопрос по следующим точкам зрения: 1. Атомная энергия как фактор биосферы. 2. Атомная

промышленность изменит относительное положение отдельных географических местностей. 3. Важными экономическими географическими факторами являются и технические материалы атомреакторов. 4. Использование атомной энергии в сообщении создает новые потенциальные энергии. 5. Радиологическое влияние с точки зрения биосферы. 6. Радиоуглерод ( $C_{14}^6$ ) с точки зрения географического исследования.

## DIE GEOGRAPHISCHEN BEZIEHUNGEN DER ATOMENERGIE

von

G. FORGÁCH

Die Atomindustrie bedeutet vom Standpunkt der Symbiose und Wechselwirkung der Lebenserscheinungen auf der Erdoberfläche einen neuen Faktor. Diese Frage behandelt der Verfasser nach folgenden Gesichtspunkten: Die Atomenergie als Faktor der Biosphäre. 2. Die Atomindustrie ändert die relative Lage der einzelnen geographischen Gegenden. 3. Die strukturellen Materien der Atomreaktoren sind ebenfalls wichtige wirtschaftlich-geographische Faktoren. 4. Die Verwertung der Atomenergie im Verkehrswesen schafft neue Energien der Lage. 5. Die radiologische Wirkung vom Standpunkte der Biosphäre. 6. Radiocarbon ( $C_{14}^6$ ) vom Standpunkte der geographischen Forschung.