

Biogeokémiai körfolyamatok és antropogén módosításuk

PAPP Sándor

Pannon Egyetem, Veszprém, Általános és Szervetlen Kémia Tanszék, Egyetem u. 2. 2800 Veszprém, Magyarország

Az emberi értelem a természetet – pusztán célszerűségi okokból – fizikára, kémiára, biológiára, geológiára osztja fel, ám figyelemmel kell lennünk arra, hogy a természetnek erről a felosztásról nincs tudomása.

R. Feynman

1. Bevezetés

Földünk ökológiai rendszereinek állapotát az emberi aktivitás – különösen a 20. század második felének kezdete óta – korábban nem tapasztalt mértékben és kiszámíthatatlanul módosítja. Ez a beavatkozás – a többi között – nyomon követhető a kémiai elemek biogeokémiai körforgásának változásaiban is, amely ciklusok a földi életet és a globális éghajlatot meghatározó módon befolyásolják.

Egy kémiai elem biogeokémiai körforgása – definíció szerint – a következőket jelenti: (1) az adott elem milyen mennyiségben, koncentrációban és mely vegyület (részecskefajta) formájában van jelen az egyes ökológiai rendszerekben (rezervoárok); (2) az egyes rezervoárok között milyen mértékű az anyagtranszport; (3) melyek azok a kémiai, biológiai és fizikai (geológiai) mechanizmusok, amelyek az anyagtranszportot szabályozzák; (4) a természeti vagy az antropogén anyagtranszport milyen környezeti változásokat hoz létre; (5) az utóbbiak hatására a természetben létrejövő szabályozó, kiegyenlítő mechanizmusok.

A biogeokémiai körfolyamatok vizsgálata nemcsak a természetről, annak komplexitásáról kialakított tudományos képünket bővíti, hanem számos gyakorlati kérdés megoldása szempontjából is kulcsfontosságú (globális éghajlatmódosulás, élelmiszertermelés, peszticidek és szintetikus anyagok globális jelenléte, transzportjuk, lebomlásuk stb.).

A körfolyamatok megértése – összetett voltak miatt – számos diszciplína integrációját feltételezi. Enélkül a társadalmi kérdések egész sorának megoldása kétségessé válik.

2. Körfolyamatok a természetben

A Föld fizikai (geológiai), kémiai és biológiai állapotát olyan transzport-, illetve átalakulási folyamatok összességével jellemezhetjük, amelyek közül számos körfolyamatként írható le. A körfolyamatok jellemzésére alapvetően két paramétert használunk: (1) az egyes rezervoárokból található elem-, illetve vegyület mennyiségek; (2) a rezervoárok közötti anyagtranszport mértéke. Alapvető kérdés, hogy a rezervoárok közötti anyagtranszport sebessége mi módon függ a bennük található anyagmennyiségtől, továbbá a külső tényezőktől. Sok esetben egy komponens rezervoáron belüli eloszlása figyelmen kívül hagyható.

A földi környezet spontán folyamatainak (transzportfolyamatok) körfolyamatként történő leírása elvileg abból a tényből kiindulva kézenfekvő, hogy a Föld ún. zárt rendszer, azaz környezetével (csillagközi tér)

csupán jelentéktelen anyagcserét folytat (szemben a Nap-Föld, Földcsillagközi tér energiacsérével). A körfolyamat közelítés számos előnnyel jár, ám a kezelésmódnak kritikus pontjai is léteznek.

A Föld bármely önkényesen választott, természetes vagy csak elvi határokkal rendelkező része a folyamatos anyagés energiaáramlás alapján nyitott rendszernek tekinthető, amelyben, szigorú értelemben véve, kémiai egyensúly nem alakul ki. Tetszőleges térfogatú rész, ún. „dobozként” kezelhető, amelybe anyag és energia áramlik, ezt követően fizikai (geológiai), kémiai és biológiai állapotváltozások játszódhatnak le, majd a térből anyag és energia távozik.

Bármely, a rendszerben tartózkodó, véges koncentrációjú anyag számára a stacionárius rendszer meghatározott kapacitású *rezervoárt* jelent. A rezervoár tehát adott mennyiségű anyaghalmozék, amelyet meghatározott sajátosságok jellemeznek, és amelyet adott esetben homogén eloszlású halmaznak tekinthetünk (oxigén az atmoszférában, kén az üledékes kőzetekben, stb.). Ha a rezervoár fizikai határainak méretével adjuk meg, akkor anyagtartalmát mennyiségével (M) jellemezhetjük (tömeg vagy mólszám). Azokat a folyamatokat, amelyek a rendszerben egy anyag koncentrációjának növekedéséhez vezetnek, *forrásnak* (Q), amelyek csökkenéséhez, *nyelőnek* (S) nevezzük. Az anyagáram nagyon gyakran arányos a rezervoárban lévő anyagmennyiséggel ($S=k \cdot M$). Jellemző paraméterek: az *anyagáram* ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$, $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$), illetve az *anyagáram sűrűsége* ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Tetszőleges anyagfajta *tartózkodási idejét* – nem tekintve a kémiai reakciót, mint lehetséges forrást vagy nyelőt – *átlagos áthaladási időként* definiálhatjuk, τ (turnover); reciproka az *áthaladási sebesség*: $\tau_i = M_i/Q_i$; S_i . (Az átlagos áthaladási idő azon idő, ami alatt a rezervoár anyagkoncentrációja nullára csökken, ha $Q = 0$, és a nyelő (S) anyagárama állandó marad.) Stacionárius állapotban egy komponens koncentrációjára: $dc_i/dt = Q - S = 0$.

Ciklusról olyan rendszerek esetében beszélünk, ahol két vagy több rezervoár kapcsolódik össze, s körfolyamat jelleggel nagy mértékű anyagcsere játszódik le.

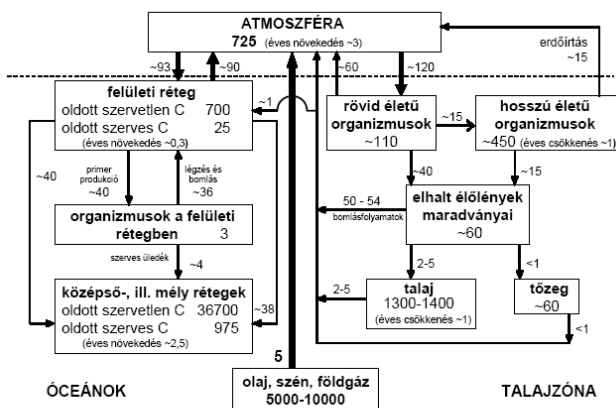
A *biogeokémiai körfolyamat* megnevezést alapvetően a biológiailag esszenciális elemek – C, O, N, S, P, H – globális, illetve regionális körforgásának leírására alkalmazzuk, bár az elv más elemek (pl. fémek) környezeti transzportjára is alkalmazható. A körfolyamatok modellezése – a rezervoárok jellegétől függően – lineáris, illetve nem lineáris rendszerként közelíthető meg. (Az utóbbira példa lehet a CO_2 -csere az atmoszféra és az óceánok felületi rétege között.)

A ciklusok jellemzésére az anyagmérleg – természetesen – nem elegendő. Fontos, hogy az ökológiai rendszerben lehetséges átalakulási és lebomlási mechanizmusokat is megismerjük, ily módon a kiindulási anyagok, a köztitermékek és a végtermékek koncentrációjának időbeli változását felderíthessük.

3. A karboniumciklus

A karboniumciklus két meghatározó folyamata a fotoszintézis és a biomassza lebomlása. A fotoszintézis három fő folyamatból áll: ciklikus foszforilezés, nemciklikus foszforilezés, szén-dioxid-asszimiláció. A két első folyamat fotokémiai reakció, a harmadik ún. sötétreakció. Oxidáló körülmények között a környezetben valamennyi szerves vegyület termodinamikailag instabil. Heterotróf mikroorganizmusok a szénvegyületeket asszimilatív (tápanyagfelvétel) valamint disszimilatív (légzés) folyamatban egyaránt lebontják. A reakció redoxipotenciálja a glükóz és a CO_2 standard állapotára vonatkoztatva $\text{pH} = 7$ -nél $U_{\text{H}} = -0.425 \text{ V}$ ($\text{pE} = -7.2$), tehát az oxidáció csupán olyan elektronakceptorok jelenlétében megy végbe, amelyek $\text{pH} = 7$ esetében pozitívabb redoxipotenciállal rendelkeznek. (A sor az aerob légzéstől a metán-, illetve hidrogénképződésig terjed). A szén ciklus meghatározó folyamatai az elmondottak mellett még a fázisátmenetek is.

A szén ciklus legfontosabb lépéseit a következő ábra mutatja be.



Rezervoárak és anyagáramok a karboniumciklusban
(10^{15} gC ; 10^{15} g a^{-1}), Bolin (1986)

Az emberi tevékenység során az egyszerű szénvegyületek globális mobilizációja mellett lokális vagy regionális karbonium-transzportra, továbbá az anyagáramot meghatározó biokémiai mechanizmusok módosítására is sor kerülhet. A különféle vegyipari technológiák révén előállított szerves vegyületek alkalmazása együtt járhat a különböző szinteken (sejt, organizmus, populáció, életközösség, ökológiai rendszer, bioszféra) megnyilvánuló igen jelentős hatással. Ehhez társul a fosszilis tüzelőanyagok energiahordozóként, illetve nyersanyagként történő felhasználása is. A karbonium körforgásának „kémiai módosítása” és az abból származó következmények felmérése a természeti környezetbe jutó antropogén anyagok környezeti viselkedésének minél pontosabb megismerését kívánja meg. A kérdések teljes körű megoldását tekintve – a jelentős haladás ellenére – ismereteink ma még meglehetősen hiányosak. A megfelelő kezelésmód kiválasztásához a tudományos-technológiai, a gazdasági és ökológiai szempontok szigorú egyeztetése vezethet el.

Hivatkozások

1. Papp Sándor: Biogeokémia – körfolyamatok a természetben. Veszprémi Egyetemi Kiadó 2002, 1-276. o.

Biogeochemical cycles and their anthropogenic modifications

Anthropogenic activity is affecting the natural environment in a profound way. Many of these human effects now occur on a scale capable of changing the global biogeochemical cycles upon which life and Earth's climate depend.

The term „biogeochemical cycles” is used to mean the study of the transport and chemical geological and biological transformation of substances in the natural environment.

Although biogeochemical cycles are important for their own sake and theoretically also, they also connect with important regional and global scale issues: (1) Food production and its dependence on temperature and other climatic factors, the availability of nutrients and the presence of toxic substances; (2) Global climate and the extent to which it may be affected by natural and technical factors; (3) Importance of stratospheric ozone for human health; (4) The behaviour of trace levels of synthetic chemicals and the pathways by which these compounds are dispersed and will be destroyed in the natural environment.

Many of the issues are important to society and it seems most unlikely that solutions to problems will be derived before nature and processes of the systems are understood.