

БИОГЕОХЕМИСКИ ЦИКЛУСИ

Љупчо Меловски
Славчо Христовски

Скрипта од предавањата за *екологија на терестрични
екосистеми* за еколошка насока и
биогеохемиски циклуси за наставна насока

Содржина

1	Вовед.....	4
2	Кружење на минералните материи во биосферата.....	5
2.1	Дефиниција и општи определби.....	5
2.2	Кружење на материи во водните екосистеми	8
2.2.1	Фосфор во аквариум и езеро	8
2.2.2	Основни принципи	11
2.3	Кружење на материи во шумските екосистеми	13
2.3.1	Примање (усвојување) на минерални материи од почвата (1).....	14
2.3.2	Биомаса и продукција (2 и 3).....	14
2.3.3	Плакнење (4 и 10)	17
2.3.4	Опад (6).....	20
2.3.5	Шумска простирка и брзина на разградување (7 и 8).....	20
2.3.5.1	Живи организми во процесот на деградација.....	21
2.3.5.2	Методолошки пристап.....	22
2.3.5.3	Механизми и фази на деградацијата	24
2.3.5.4	Фактори што ја определуваат брзината на деградација	24
2.3.5.5	Минерални материи во тек на деградацијата	27
2.3.6	Почвено дишење.....	29
2.3.7	Патишта на враќање на материите во кружењето (Резиме).....	29
2.3.8	Внес на вода и минерални материи со врнежите (9).....	31
2.3.9	Испирање на простирката (11)	32
2.3.10	Почвено испирање (12)	33
2.3.11	Површински истек (13).....	33
2.3.12	Изнес на вода и минерални материи (14).....	34
2.3.13	Трошење на минералите од матичниот супстрат во почвата (15)	34
3	Биогеохемиски циклуси на главните биогени елементи	34
3.1	Гасни циклуси	34
3.1.1	Биогеохемиски циклус на водата (хидролошки циклус).....	34
3.1.2	Биогеохемиски циклус на кислородот	36
3.1.3	Биогеохемиски циклус на јаглеродот	37
3.1.4	Биогеохемиски циклус на азотот	40
3.1.4.1	Азотофиксација	42
3.1.4.2	Трансформација на азотот во почвата.....	42
3.1.4.3	Извори на загадување со азот	47
3.2	Седиментациони циклуси	47
3.2.1	Биогеохемиски циклус на фосфорот	48
3.2.2	Биогеохемиски циклус на сулфурот	51
3.2.3	Кружење на катјоните (Na, K, Ca, Mg).....	55
3.2.3.1	Кружење на калциумот (Ca) во шумскиот екосистем во Хабард Брук	57
3.2.3.2	Кружење на натриумот (Na) во шумскиот екосистем во Хабард Брук	58
3.2.4	Кружење на микроелементите	58
3.2.4.1	Биогеохемиски циклус на живата (Hg)	61
3.2.4.2	Биогеохемиски циклус на оловото (Pb)	63
3.2.4.3	Кружење на алуминиум (Al) во сливот на Хабард Брук, САД... ..	64

3.2.4.4	Кружење на ураниум (U) во Флодел Крик, САД.....	66
3.3	Кружење на органски хранливи материи	66
4	Нарушување на циклусите и значење на познавањето на биогехемските циклуси за човекот	67

1 ВОВЕД

Хемиските елементи (во тој контекст и сите елементи што ја градат живата материја) обично циркулираат во биосферата по карактеристичен пат од надворешната средина во организмите и повторно во надворешната средина. Материите се извлекуваат од надворешната средина (неживата компонента на екосистемите), преминуваат низ продуцентите, консументите и редуцентите и се враќаат назад во средината (Сл. 1). Тие патишта (на одделни елементи), кои се затворени до различен степен (поголем или помал), се нарекуваат **биогеохемиски циклуси**. Движењето на елементите и неорганските соединенија неопходни за животот се нарекува **кружење на минералните материи** (нутриенти, хранливи материи), односно **циклуси на одделните минерални материи**. Некои од биогените елементи се потребни за организмите во поголеми количества (макроелементи - С, О, Н, N итн.), додека некои во помали, дури некогаш и во минимални количества (микроелементи). Притоа, не секогаш потребите се паралелни со достапните количества (пр. азот во почвата го има многу малку...). Но, без разлика на потребите, сите биогени минерални материи (заедно со сите други елементи) учествуваат во биогеохемиските циклуси.

Во кованицата, "био" се однесува на живите организми, додека "гео" на литосферата (матичниот супстрат на почвата), почвата, атмосферата и хидросферата. Геохемијата е гранка на природните науки што го проучува хемискиот состав на Земјата и миграцијата на елементите помеѓу различните делови на земјината кора и океаните, реките и другите водни маси. Оттука, биогеохемијата се занимава со проучување на прометот на материи помеѓу живите и неживите компоненти на биосферата. Терминот се прифатил во науката по објавувањето на монографските работи на Хачинсон (1944 и 1950 година), но за основоположник може да се смета Вернадски (воедно Вернадски најтемелно го разработил учењето за биосферата).

Во рамките на секој циклус може да се разликуваат два дела (два "фонда"): (1) *резервен фонд* - поголемата маса бавно движечки материи, во основа не се врзани со организмите; (2) *активен, прометен фонд* - помал по маса, но далеку поактивен, за кого е карактеристичен брз промет помеѓу организмите и нивното непосредно опкружување. Понекогаш резервниот фонд се нарекува "недостапен" фонд (недостапен или тешко достапен за примање од организмите), додека активниот, прометниот фонд - "достапен". Во секој случај, елементите во природата не се рамномерно распоредени во екосистемот и не се наоѓаат насекаде во една иста хемиска форма.

Биогеохемиските циклуси може да се класифицираат во два главни типа:

- **гасни циклуси** (со резервен фонд во атмосферата или хидросферата) - минералните материи поминуваат дел од кружењето во атмосферата во гасовита агрегатна состојба, и тоа или како елементи или како неоргански соединенија (оксиди или други); такви се биогеохемиските циклуси на главните биогени елементи - С, О, Н, N (водата како биогена материја исто така);
- **седиментациони циклуси** (со резервен фонд во земјината кора) - дел од циклусот минералните материи го поминуваат како неактивни форми или

соединенија во земјината кора или во седиментите на океаните; на тој начин тие се за подолг временски период исклучени од кружењето.

Во литературата протоците на одредена материја од еден резервоар во друг (без разлика дали се работи за премин на јаглерод во форма на CO_2 од атмосферата во растенијата или од атмосферата во хидросферата или било кој друг) се нарекуваат *флукови* (протоци). При тоа нема разлика дали се работи за резервоар од активниот (прометен) фонд или од резервниот.

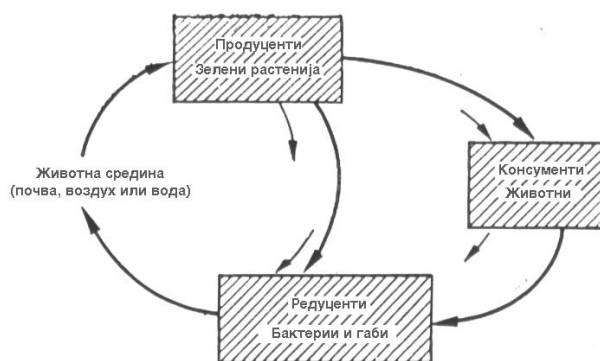
Престојот на одреден елемент во некој од резервоарите се нарекува време на престој (на англиски - residence time). Тоа е време потребно вкупното количество од одреден елемент да проциркуира од еден во друг резервоар, обично од живата компонента во неживата.

2 КРУЖЕЊЕ НА МИНЕРАЛНИТЕ МАТЕРИИ ВО БИОСФЕРАТА

2.1 Дефиниција и општи определби

Под кружење на минералните материи се подразбираат биогеохемиските циклуси на биогените елементи, водата или некои други соединенија што влегуваат во исхраната и метаболизмот на растенијата (со исклучок на токсините и материите што се примаат како сигнали за однесување). Затоа се употребува терминот "минерални материи" (се употребува во физиологијата - исхрана на растенијата) иако не е точен или барем не е прецизен. Често се употребува и "хранливи материи".

Размената на материи (и енергија) помеѓу живите и неживите делови на биосферата се остварува преку хранителните мрежи воспоставени на ниво на екосистем. Но, кружењето секогаш ги преоѓа границите на екосистемот (секој екосистем прима материја од надвор и изнесува материја надвор од своите граници). Затоа обично се вели дека биогеохемиските циклуси се одвиваат во биосферата, што е поправилно. Сепак, екосистемот е основна единица во биосферата во која се одвиваат саморегулирачките процеси на кружење на материја и проток на енергија.

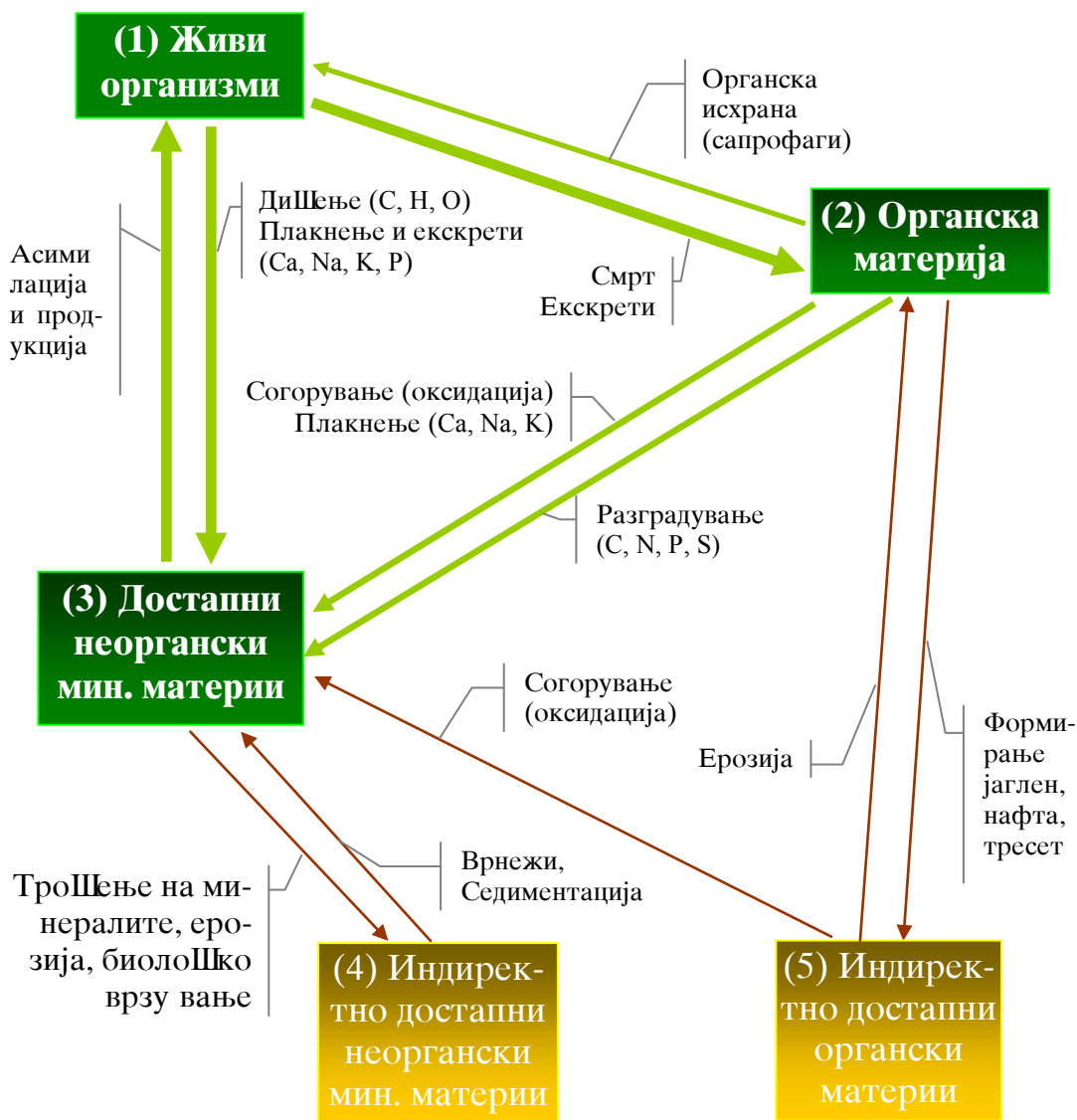


Сл. 1 Упростена Шема за кружење на материи

од движењето на енергијата. Понекогаш циклусите на елементите излегуваат од рамнотежа така што тие се акумулираат во системот или пак се оддалечуваат од него (на пример, акумулација - образување јаглен, нафта, тресет кога анаеробните

За разлика од енергијата, биогените елементи се задржуваат во екосистемот при што непрекинато преминуваат од нивните неживи компоненти во живите организми и обратно, од неоргански форми преминуваат во органски и обратно. Секој хемиски елемент има свое карактеристично кружење, но сите тие се одвиваат заедно и се водени

услови го зпречуваат разградувањето со микроорганизмите; загуба - ерозија). Но, обично се смета дека екосистемите во природата се наоѓаат во стационарна состојба при што изнесот на материја е урамнотежен со внес од други системи од атмосферата или од матичниот супстрат на почвата. Покрај тоа, сите тие загуби и придоаѓања обично не се големи во споредба со брзината на кружење на самите биоелементи во самиот систем.



Сл. 2 Блок-дијаграм на модел за кружење во екосистем (означени се некои од најзначајните патишта на прометот на минерални материи)

(зелени блокови - активни компоненти/блокови; кафеави блокови - дополнителни компоненти; зелени стрелки - процеси помеѓу активните блокови; кафеави стрелки - процеси помеѓу послабо активните блокови; дебелината на стрелките е соодветна на интензитетот на процесите).

Размената на биогени елементи помеѓу живите организми и неорганските резерви (фондови) во најголемиот број екосистеми е избалансиран. На пример, циклусите на јаглеродот и кислородот се обезбедени од одвивањето на двата најважни комплементарни процеси - фотосинтезата и дишењето. Азотот, фосфорот и сулфурот преминуваат низ далеку посложен пат во екосистемот,

претрпувајќи различни трансформации при кои значајна улога имаат микроорганизмите со специјализирани метаболички функции.

Во однос на кружењето на материи, екосистемот може да се претстави во вид на редица блокови преку кои поминуваат различни материјали и во кои тие материи можат да се задржуваат во тек на различни временски периоди. (Сл. 2).

На Сл. 2 се прикажани процесите што обезбедуваат пренос на биогените елементи во различните компоненти на екосистемот (означени како блокови). Асимилацијата и одвивањето на продукцијата се спроведува со преминот на минералните материи од неорганскиот блок во органскиот. Примарната продукција претставува главна етапа за кружењето на главните минерални материи (C, O, N, P, S), додека други неопходни елементи за животните, како што се Na, K, Ca, (покрај тие што ги добиваат директно со исхрана од растенијата) можат да ги снабдат и со пиење, од водата.

Дел од јаглеродот и кислородот се враќа директно (непосредно) во фондот на достапни неоргански материи преку процесот на дишење (често преку сложени патишта во кои се опфатени етапи од синцирите на исхрана). Калциумот, натриумот и јони на други минерали се плакнат од листовите и другите делови на живата фитомаса, така што многу бргу се вклучуваат повторно во кружењето. Поголемиот дел од јаглеродот и азотот вклучени во живата биомаса со процесите на асимилација, се пренесува во блокот на мртва органска материја (детритус) по изумирањето на организмите или пак со екскреција во текот на животот. Некои минерални материи од блокот на органска материја можат да бидат вратени во блокот на живите организми директно преку исхраната на сапрофагните организми, но главно тие материи по пат на плакнење и целосно разградување стануваат достапни за продуцентите (влегуваат во блокот на достапни неоргански материи).

Размената помеѓу фондовите што учествуваат активно во кружењето на материите во биосферата и огромните резервоари на индиректно достапни биоелементи акумулирани во атмосферата, варовниците, камениот јаглен, како и во горниот слој на литосферата се одвива многу бавно, главно како резултат на геолошките процеси.

Биогените елементи се среќаваат во живите организми, воздухот, водата, почвата (атмосферата, хидросферата, педосферата и литосферата) во различни форми. На пример, кислородот во атмосферата се содржи во гасовита форма (молекуларен кислород - O_2) или во вид на CO_2 ; во водата се наоѓа како растворен, но покрај тоа се содржи во самата вода како нејзин составен елемент (со водородот); во литосферата кислородот се среќава како оксид на разни метали (Fe_2O_3 на пример) или во соли (на пример $CaCO_3$).

Брзината на преминување на одреден елемент од едно неорганско соединение во друго и неговата достапност во неорганска форма за живите организми силно варира. Најзначајниот фонд на кислородот (преку 90% од вкупното количество) се наоѓа во површинскиот слој на Земјата (како калциум карбонат во седиментните варовнички стени). Во таква форма тој е недостапен за организмите (исклучок - при некои вулкански ерупции и слично). За разлика од кислородот, азотот главно се среќава во гасовита форма, како елементарен азот во атмосферата. Растенијата пак, го асимилираат главно како нитратен азот, растворен во водата или во почвата (почвената вода). Без разлика на огромното

количество, атмосферскиот азот игра незначителна улога во кружењето на материи.

Процесите на асимилација и разградување, со чие учество практично се одвива кружењето на биогените елементи во биосферата, се тесно поврзани со усвојување и ослободување на енергија од организмите. Затоа, патиштата на биоелементите во тек на кружењето се паралелни на протокот на енергија низ екосистемот. Најтесно поврзан со прометот на енергија во екосистемот е јаглеродот заради тоа што најголемото количество асимилирана енергија во фотосинтезата се содржи во органските јаглеродни соединенија (особено во ковалентните врски со водородот). При најголемиот број процеси што се одвиваат со ослободување на енергија се ослободува јаглерод во вид на јаглероден диоксид (главен процес при тоа е дишењето). При метаболизмот на соединенија што содржат азот, фосфор и сулфур, тие се задржуваат во организмот со оглед на тоа што тие соединенија се обично структурни (протеини, нуклеински киселини). Заради тоа преминот на овие елементи низ секој трофички степен е забавен во споредба со средното време за пренос на енергијата.

2.2 Кружење на материи во водните екосистеми

За дефинирање на принципите на кружењето на материи во екосистемот може да послужи примерот за прометот на некои јони (особено фосфор) во аквариум или мал воден стоечки екосистем. Покрај тоа, комплексните шумски екосистеми се исто така погодни за определување на основните принципи на биогеохемиските циклуси.

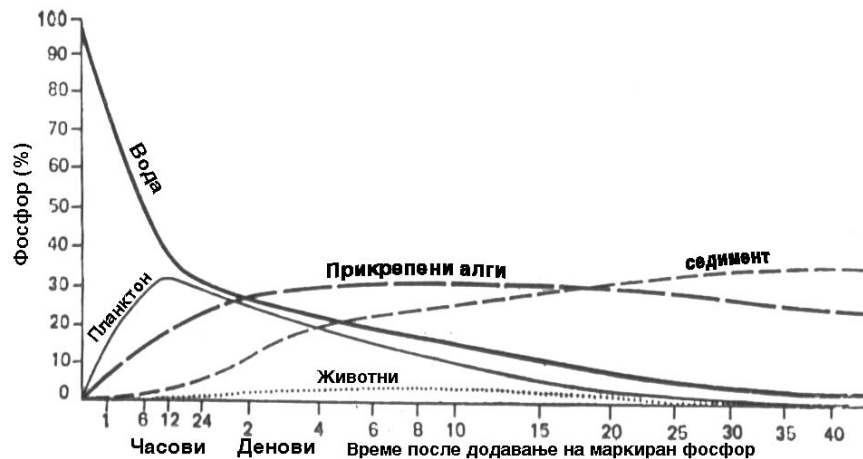
2.2.1 Фосфор во аквариум и езеро

Фосфорот игра главна улога во определувањето на продукцијата на планктонските заедници. За одредување на таа улога, како и за начините на преоѓање на фосфорот од водата во планктонот и бентосните заедници, сè до детритусот на дното, може да се искористи природна вода од бара или езеро со организмите што живеат во неа, преместена во аквариум. За следење на фосфорот може да се искористи радиоактивен фосфор (P^{32}). Тоа се таканаречени експерименти во микрокосмос (во конкретниот случај - 200 литров аквариум). Во аквариумот се додава 200 миликири P^{32} во вид на фосфорна киселина (растенијата примаат фосфати!).

По додавањето на радиоактивниот фосфор се забележуваат промени, сумирани во понатамошниот текст и на Сл. 3.

1. Во почетокот се забележува многу брзо преместување на фосфорот од водата во планктонските организми и обратно во водата. Во конкретниот експеримент половината од додадениот фосфор преминала во планктонот (претежно зелени алги) за два часа. За 12 часа распределбата на фосфорот помеѓу водата и планктонот била во стабилна рамнотежна состојба (тоа претставува максимална акумулација во планктонот - над 90%, а останатото во водата). Во други експерименти е забележано многу побрзо достигнување на наведените состојби. Таквото брзо преместување на фосфорот во планктонот се должи на негова адсорпција на површината на клетките и апсорпцијата внатре во нив. Значењето на овој процес станува уште поголемо кога се знае дека масата на планктонот во однос на масата на

водата е неспоредливо помала. Оттука следува дека акумулацијата на фосфорот во планктонот е огромна, а неговата концентрацијата е 1000 пати поголема од таа во водата.



Сл. 3 Движење на радиоактивниот фосфор во аквариумски микрокосмос - количество (% од внесеното) обележан фосфор во однос на времето (корено-квадратна скала)

2. Донекаде побавно, во тек на првите часови на експериментот, обележаниот фосфор навлегува во алгите прикрупени на сидовите на аквариумот и во милестите седименти на дното. Максимална содржина на единица маса алги и приближна рамнотежа со водата била достигната по 24 часа. (Воопшто, колку покрупен организам, односно со поголема маса и резерви фосфор, толку помала брзина на цикличниот промет на тие резерви и толку подоцна се достигнува рамнотежата, но и толку побавно се вршат отстапувањата). Со примањето на дел од фосфорот од страна на бентосните алги, неговото количество во планктонот и водата се намалува. Без разлика на постигнатата рамнотежа, количеството на обележан фосфор се зголемува во алгите (нивната маса расте до шестиот ден) за сметка на постепено опаѓање во водата.
3. Радиоактивниот фосфор навлегува во животните (ситни водни инсекти што се хранат со фитопланктонот; полжавчиња што се хранат со алгите на сидовите на аквариумот) побавно отколку во нивната храна (алгите). Брзината на навлегување се менува во зависност од големината и другите карактеристики на животните и карактеристиките на храната. Преку фитофагните животни (се хранат со фитопланктонот), фосфорот доаѓа до грабливите животни (риби што се хранат со водни инсекти). Без разлика на тоа што брзината на примање на фосфорот одејќи кон погорните членови во синџирите на исхрана се намалува, неговата концентрација во животните може да биде многу голема.
4. Во последната фаза, делот на обележаниот фосфор се зголемува и во тињата на дното, во талогот (исталожен планктон и екскременти на животните), како и во слојот микроорганизми што се образува на сидовите на аквариумот. За цело тоа време се одвива одредена размена на фосфор помеѓу водата и трите споменати делови на "екосистемот". Покрај тоа, може

да се забележи и премин на фосфор директно од водата и од активната циркулација помеѓу водата и организмите, "надолу" кон тињата - помалку подвижни форми врзани во талогот и тињата. На крај, после 45 дена од експериментот, во тек на постепената акумулација, три четвртини од првичното количество додаден фосфор преминува во тие резерви - помалку активни форми на циклусот (резервен фонд).

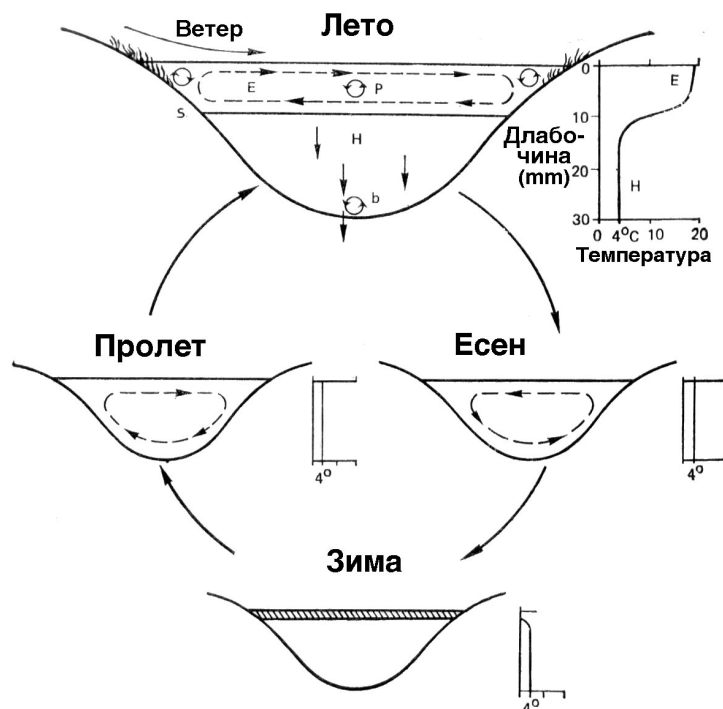
Закономерностите на преносот на фосфорот од прикажаниот експеримент, во општи црти ги илустрираат и закономерностите на циркулацијата и на другите материи. Се разбира, деталите се различни. Покрај тоа, покажано е дека принципите на кружење на фосфорот во езерата е во основа сличен со тие од експериментот во аквариум.

Додадениот фосфор во езерата многу бргу се усвојува од планктонот и бактериите, а само мал дел останува во водата. Продолжено и побавно усвојување се одвива од *вкоренетите бентосни растенија* вдоль литоралот, потоа акумулација во телата на животните и сапропелот (седиментираниот органски талог и тињата). Васкуларните растенија и харите од литоралот на езерото се аналогни на алгите од сидот на аквариумот од претходниот експеримент. Но, кај растенијата прометот на фосфорот вклучува два дела, односно два процеса што се одвиваат со различна брзина - брза апсорпција и издвојување од страна на епифитните дијатомејски алги и други микроорганизми (на стеблата на водните растенија) и бавна миграција низ сопствените ткива на растенијата. Учеството на макрофитите (васкуларните растенија и харите) во кружењето на материите и општата продуктивност кај повеќето езера е големо, а кај помалите езера и бари и мочуришта тоа е значително поголемо од планктонот.

Постојат повеќе специфики на кружењето на минералните материи во природните езерски екосистеми. Особено значајни се сезонските промени во активноста на живата компонента на тие екосистеми, со исклучок на тропските езера. [Морињата пак имаат свои специфичности, на пример струење на водните маси итн., реките се карактеризираат со отсуство на планктон (освен во големите бавнотечечки реки) и со голем внес и изнес на материи].

Летно време во подлабоките езера постои стратификација на водата условена од температурата (епилимнион и хиполимнион одделени со термоклина). Во тој период постои постепено таложување на одделни елементи (фосфор и други катјони), слично како во морињата и океаните, а размената на материи во планктонот и литоралните заедници се одвива интензивно. Одделно, постои кружење на бентосните организми во профундалот кои ги користат елементите што се таложат и дел од подвижните елементи во тињата. Дел од исталожените биоеlementи се отстранува од кружењето, влегувајќи во седиментот, а само мал дел се враќа повторно назад во водата.

Во текот на есента и пролетта, активноста на планктонот е најголема (настанува цветање на планктонот), а водата постојано се меша по цела длабочина заради изедначеноста на температурата. Зимно време температурата на водата е ниска по цела длабочина (површината може и да замрзне) така што активностите на живата компонента се сведени на минимум. (Сл. 4)



Сл. 4 Сезонски циклус во езеро во услови на умерена клима

Е - епилимнион; Н - хиполимнион; Т - термомклина (зона на разделување на топлата и студената вода); Р - планктон; s - крајбрежна заедница; b - бентос;

Можат да се изведат одредени заклучоци во однос на продуктивноста на езерата и додавањето минерални материи (во тој контекст и рибници како антропогени творби на пример), особено на примерот на фосфорот како лимитирачки фактор за продукцијата на водните екосистеми. Очигледно е дека со еднократно додавање на фосфор, за неколку недели неговата концентрација во водата ќе се врати на првобитното ниво (најголемиот дел постепено ќе се исталожи на дното од каде многу бавно и минимално може да се искористи - резервен фонд!). Тоа значи дека продукцијата се зголемува само на одредено време. Оттука, проблемите на еутрофикација на езерата денеска се резултат на перманентно внесување дополнителни количества фосфор и азот (и други минерали) со отпадните води (органски отпадоци и фосфорни детергенти).

Основен извор на фосфор (кој постојано се губи во активниот дел на екосистемот) во езерата претставуваат врнежите на водното огледало (површината на езерото) и внесот од притоците или ерозивните води и наноси - често уште позначаен извор. Циклусите на фосфорот и другите биоелементи во езерата можат да бидат уште посложени доколку постои истек (река што истекува од езерото - како Црн Дрим од Охридското Езеро). Само до една третина може да истече од езерото со истечните реки. Очигледно, продуктивноста на езерските екосистеми зависи од внесот на материи од нивното сливно подрачје.

2.2.2 Основни принципи

Од анализата на претходниот експеримент и кружењето на фосфор во езерата може да се формулираат неколку заклучоци.

1. *Улога на организмите во кружењето на биоелементите.* Материите интензивно циркулираат помеѓу водата и организмите, што се должи на ефикасното извлекување на минералните материи од водата од страна на организмите. Брзината на тие процеси и нивното влијание на содржината на минерални материи во водата зависат од реакцијата на организмите кон хемиските својства на средината, како и од влијанието на организмите врз тие својства. Акумулацијата постепено оди во правец на загуба на внесената материја во други делови на екосистемот (неактивни).
2. *Концентрацијата на минералните материи во организмите е релативно висока.* Концентрацијата на биоелементите во организмите е многу повисока (често повеќе илјади пати) одошто во водата иако таа зависи од многу фактори (покрај другите и биолошки - генетски условени фактори). Истото важи и за токсичните материи.
3. *Се одвива интензивно отстранување на материи од активната средина, а не нивна стабилна состојба (концентрација).* Внесените материи во екосистемот постепено се пренесуваат од активниот прометен фонд во помалку активниот или сосема неактивниот резервен фонд. При тоа тие многукратно преминуваат од водата во живите организми, но на крај секако ќе бидат отстранети од кружењето. Колку пати одреден биоелемент ќе процркулира помеѓу водата и организмите на различни нивоа во синџирите на исхрана зависи од активноста на планктонот, а потоа и другите организми, што значи, од еколошките фактори на средината или воопшто од функционалните карактеристики на водниот екосистем. Тоа важи и за еднократно внесени материи, чија концентрација ќе се намалува во правец на постигнување рамнотежна состојба. Доколку концентрацијата е постојано повисока од нормалната состојба (постојан внес од надвор) тогаш стабилноста на екосистемот се нарушува и продукцијата расте (процес наречен еутрофикација).
4. *Структурата на преносот на материи е сложена.* Сложеноста на преносот на материи во екосистемот произлегува од сложеноста на хранителните мрежи. Брзината и патиштата на пренос и трансформација на материјата се сосема различни во однос на различни елементи во ист екосистем и за одреден биоелемент во различни екосистеми.
5. *Единство (интегритет) на прометот во екосистемот.* Многубројните форми на преносот на материи, сложената размена на многу неоргански и органски материи, како и взаемните односи на организмите помеѓу себе и со средината го определуваат функционалното единство на екосистемот. Типот на кружење на материи во голем екосистем (езеро) претставува севкупен резултат на преместување на материјата во просторот (во водата или воздухот и во организмите) и неговите локални текови (пренос помеѓу организмите и средината и низ хранителните мрежи).

За подетално запознавање на циклусот на материи во водните екосистеми треба детално да се познаваат и процесите во резервниот фонд (тињата на дното е најбитниот резервоар на органски и неоргански материи). Иако со многу мал интензитет, од тињата постојано се мобилизираат нови усвоиви форми минерални материи на контактната површина со водата. Сепак, во споредба со внесот на материи од сливното подрачје (ерозија, влив, подземни води и подводни извори - пр. Охридско и Преспанско Езеро) количеството повторно мобилизирани

биоелементи од тињата е со мало значење за стабилноста на екосистемот и неговата функционална состојба. Практично, копното е основен резервоар за дополнување на минералните материи во водните екосистеми.

Специфично кружење во водните екосистеми има јаглеродот (CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-}), како и кислородот.

За спецификите на биогеохемиските циклуси на одделните биоелементи ќе стане збор во понатамошните поглавја.

2.3 Кружење на материи во шумските екосистеми

Кружењето на материјата во копнените екосистеми во голема мерка се разликува од кружењето во водните екосистеми иако основните принципи - учество на хранителните мрежи во кружењето, активните и резервните фондови - остануваат исти. Најкомплексни терестрични екосистеми се шумите. Тие ги содржат сите компоненти, и тоа добро структурирани така што се најрепрезентативни во поглед на структурата и функцијата од сите копнени екосистеми. Покрај тоа, многу е попрактично да се проучат некои аспекти од кружењето на минерални материи во шумите одошто во езерата.

Посложената и помасивната структура на шумите дозволува полесно да се разграничат различните организми и ткива и да се измери степенот на пренос на материи помеѓу нив. Анализата на содржината на биоелементи во ткивата на растенијата може да се надополни со мерења на биомасата и продуктивноста на тие растителни ткива. Потоа, потребно е да се определат количествата минерални материи што доаѓаат со врнежите до почвата, како и количеството на ткива и содржината на минерални материи во нив што се искористуваат од животните (доколку е возможно корисни податоци се тие за придвижувањето и оддавањето на минерални материи од растенијата директно во почвата). Ваквиот приод во анализата на кружењето на материја во шумските екосистеми ја покажува разликата во одвивањето на овој процес во копнени и водни екосистеми.

За попрецизно дефинирање на кружењето на материите во шумските екосистеми, потребно е да се изучат различни параметри од интерниот циклус (внатрешниот активен дел) и екстерниот (надворешен) циклус.

Таквите процеси и параметри опфаќаат:

1. примање на минерални материи (uptake)
2. биомаса и акумулација на минерални материи (immobilization, requirement)
3. продукција - распределба на биоелементите во трајни и едногодишни ткива и органи (requirement, immobilization)
4. плакнење - крошни и стеблен оттек (стек) и екскреција/рекреција (throughfall and stemflow)
5. искористена материја од консументите
6. опад и отпад - враќање на минерални материи (return),
7. (шумска) простирка - акумулација на минерални материи во мртвата органска материја
8. разградување на мртвата органска материја (деградација, декомпозиција, гниење итн.)
9. внес на вода и минерални материи со врнежите (input)
10. (измивање на крошните, стеблен стек)
11. плакнење на простирката (litter leachate)

12. почвено плакнење (soil leachate)
13. површински истек (run-off water)
14. изнес на вода и минерални материи (output)
15. трошење на минералите од матичниот супстрат в почвата (може и индиректно да се одреди (постојат методолошки потешкотии за директно одредување)

Компонентите од 9 до 14 се делови од хидролошки циклус.

2.3.1 Примање (усвојување) на минерални материи од почвата (1)

Најголемиот дел од елементите на минералната исхрана на растенијата и сите други организми во екосистемот доаѓаат исклучиво преку корењата на растенијата (само мал дел доаѓа со директна апсорпција од атмосферата и дел со внесување вода од животните). Корењата во почвата се разгрануваат на сè поситни разграноци завршувајќи со многу ситни трофички коренчиња и коренови влакненца преку кои растенијата се снабдуваат со вода и растворени минерални материи. Површината на корењата е најчесто неколкукратно поголема од површината на листовите во надземниот дел на растенијата (со кои се обезбедува кислород и јаглерод диоксид). Дури и во ваков случај, таа површина најчесто не е доволна за ефикасна минерална исхрана. Дополнителна апсорпциона функција (понекогаш и пресудна) играат габните хифи кои стапуваат во микориза со корењата на поголемиот број васкуларни (дрвенести) растенија. Апсорпцијата на минерални материи од почвата е селективен, активен процес за кој се троши енергија со оглед на тоа што е најчесто спротивен на концентрациониот градиент (не е проста осмоза).

2.3.2 Биомаса и продукција (2 и 3)

Од трофичките корења усвоените материи се пренесуваат преку спроводните и скелетните корења до стеблото и потоа до листовите и другите поактивни органи. Околу половината од нето примарната продукција на дрвјата се троши на формирање на дрвесината - прираст, а само една третина на листови (**види Екологија на терестрични екосистеми!**). Тоа сепак не ја одразува состојбата околу искористување на внесените биоелементи бидејќи нивната содржина во различни ткива е различна. Стеблата (заедно со крупните гранки) имаат најголема маса, но тие се составени претежно од мртви потпорни и спроводни ткива со малку протоплазма, така што главните биоелементи се застапени со мала концентрација и соодветно на тоа мало количество (непропорционално со нивната маса). Притоа, камбиумот и живата кора на стеблото и крупните гранки се карактеризираат со поголема содржина на биоелементи во споредба со дрвесината. (Таб. 1). Спротивно на тоа, листовите како активни органи се карактеризираат со далеку поголема концентрација на биоелементите во нивните ткива, следствено и нивно големо количество споредено со масата. Може да се каже дека околу три четвртини од сите минерални материи што учествуваат во кружењето и се користат од растенијата за формирање на нето примарната продукција се содржат во листовите.

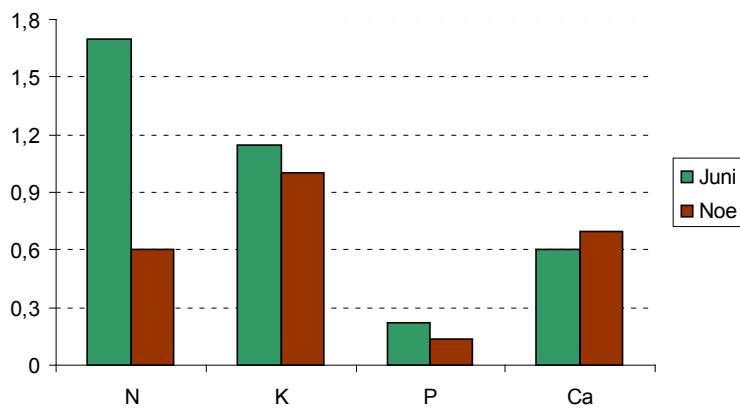
Таб. 1 Содржина на минерални елементи во ткивата на дабот плоскач (*Quercus frainetto*) во дабов екосистем на Галичица

%	листови	дрвесина	кора	гранки	корења > 5 mm	корења <5 mm
N	1,30	0,25	0,48	0,57	0,29	0,50
P	0,18	0,02	0,04	0,08	0,05	0,06
K	1,12	0,20	0,23	0,46	0,41	0,60
Ca	0,67	0,38	2,34	1,50	0,52	0,68

Содржината на минерални материи во другите едногодишни органи (цветови, плодови, пупки) е исто така многу висока, често и повисока од листовите, но со оглед на нивната маса (многу помала од листовите) тие имаат помало значење во кружењето (иако враќањето на минерали во почвата преку нив е значајно од аспект на континуирано снабдување на простирката и почвата со опад и минерали во текот на целиот вегетационен период). Слично значење имаат и растенијата од приземниот кат (залјести растенија).

Очигледно, постои обратна зависност помеѓу трајноста на ткивата на дрвјата и содржината на минерални материи во нив. Сепак, со оглед на масата, стеблата и гранките акумулираат значителни количества биоелементи кои се складираат повеќе десетици и стотици години и се отстрануваат од кружењето сè додека дрвјата не умрат и не се разградат (што е бавен процес со оглед на лигнинот во стеблата). Циклусот на минерални материи од почвата во дрвесината и обратно е многу бавен во споредба со другите делови од кружењето на биоелементи во шумските екосистеми. Може да се претпостави дека акумулација на големи количества материја, проследено со пропорционално мали количества биоелементи во трајните ткива е еволутивна адаптација на растенијата да стопанисуваат поефикасно со достапните минерални материи. Затоа активните ткива, богати со минерали, многу брзо ги враќаат во почвата и повторно ги искористуваат. Сепак, тоа не е секогаш предност. Во екосистемите што се развиваат на почви сиромашни со усвоиви форми на минерални материи, боровите имаат предност над листопадните видови заради тоа што ги користат истите материи за изградба на листовите во тек на три години (толку живеат нивните листови).

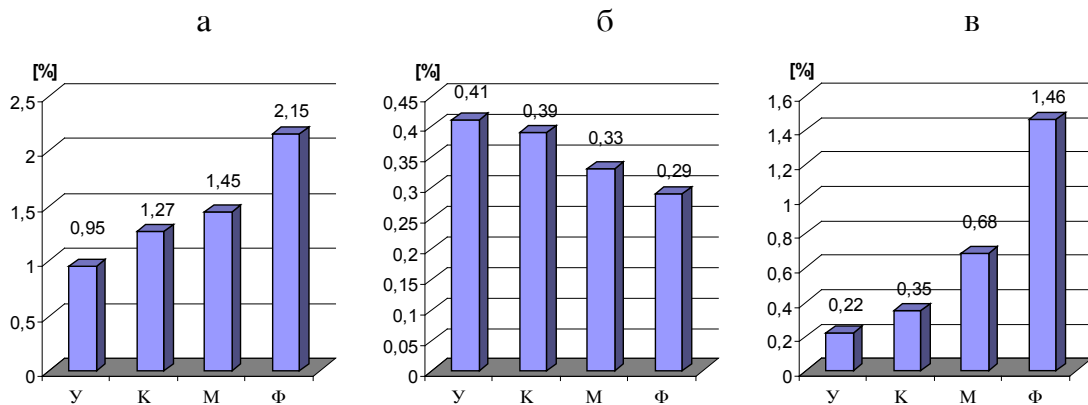
Штедењето на минерални материи се огледа и со еден друг процес - ретранслокација. Пред листопадот, дрвјата обично ги враќаат најважните биоелементи (N, P, S и некои други) од листовите во младите гранчиња, така што само дел од усвоените елементи се враќа во почвата со опадот. Тие материи се користат следната пролет за брз раст на новите листови и цветови (овој процес е значаен и заради фактот што на пролет активноста на корењата започнува подоцна од надземните органи, па потребата од внесени материи е исклучителна) (Сл. 5). Дека ретранслокацијата претставува заштеда на некои елементи, обично тешко достапни, или во мали концентрации во почвата, покажува и фактот што во евлови шуми ретранслокацијата на азотот е минимална бидејќи евлите се во симбиоза со азотофиксаторски бактерии кои обезбедуваат доволни количества азот. Евловите шуми се развиваат на многу влажни станишта (мочуришта, покрај реки) каде достапните форми азот се во многу мали концентрации, така што азотофиксацијата е најзначајниот извор на азот.



Сл. 5 Динамика на содржината на минерални материи (%) во листовите на дабот плоскач (*Quercus frainetto*) во дабов екосистем на Галичица (јунски и ноемвриски вредности)

Да додадам пример за Маврово и за листови и за гранчиња. Да се објасни индексот на ефикасност на ретранслокација со табела за Маврово

Да се објасни механизмот на ретранслокацијата со трудовите на



Сл. 6 Содржина на вкупни минерални материи (а), азот (б) и калциум (в) во четири шумски екосистеми во зависност од хидричкиот градиент: У - дабов екосистем (*Quercetum petraeae-cerris*) во Унгарија - влажна клима; К - брезов екосистем во Казахстан (умерено влажна клима); М - дабов екосистем (*Quercetum frainetto-cerris macedonicum*) на Галичица - умерено сува клима; дабов екосистем (*Quercetum ilicis*) во Франција - сува медитеранска клима

Некои елементи (на пример Ca) пак, ја зголемуваат својата концентрација во листови што стареат. Тоа веројатно не е апсолутно зголемување, туку релативно (во однос на преостаната маса од листот по ретранслокациските процеси и плакнењето). Се разбира, ваквите процеси не се битни во тропските шуми каде што и онака нема сезонско варирање. Кои биоелементи ќе се реутилизираат зависи од снабденоста на растенијата со минерали (од почвата), но и од биологијата на дадениот вид, како и други абиотички еколошки фактори. Во секој случај ретранслокацијата на азот и фосфор е секогаш присутна.

Акумулацијата на биоелементите во фитомасата зависи од абиотичките фактори. Во услови на сува клима се акумулира калциум (големо количество спроводни и потпорни ткива и кора богати со Ca (Сл. 6).

(Види учебник Екологија на растенијата од проф. Мулев - последна лекција! - **Минерална компонента во фитомасата**)

2.3.3 Плакнење (4 и 10)

Плакнењето на минерални материи се однесува на одмивање на растворливи материи со дождовната вода од фитомасата на екосистемот. Во шумските екосистеми главна улога во тој процес игра катот на дрвјата. Плакнењето се однесува на плакнење на крошните на дрвјата (листовите и гранчињата, на англиски се нарекува throughfall) и на поголемите гранки и стеблата (се нарекува стеблен оттек или стек - stemflow) (Сл. 7, 8 и 9). Растворените материи коишто се резултат на екскреција/рекреција од растителните ткива, се пренесуваат надолу, кон почвата, а од таму со перколацијата на водата во почвата (десцендентни текови), растворените материи се пренесуваат низ почвениот профил. Судбината на овие материи е различна: можат да бидат апсорбирани (усвоени) од корењата и микоризните габи на растенијата, можат да претрпат некои физичко-хемиски трансформации во почвата или можат да бидат пренесени десцендентно под кореновата зона така што го напуштаат екосистемот (изнес) (Сл. 10).

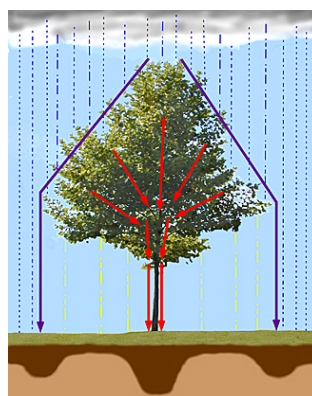
Содржината на водата од врнежите го менува значително хемискиот состав при поминување низ живата фитомаса (со плакнењето). Големо количество нискомолекуларни органски соединенија се додаваат во водата (резултат на екскреција или рекреција). Тоа може да се види индиректно од Сл. 10, преку прикажаните количества органски јаглород. Поголемиот дел на органската материја во плакнечката вода се состои од трисахариди (мелецитоза), а помалку од фенолни соединенија.

Исто така и различни биоелементи (види Сл. 10), особено лесноподвижните елементи како K и Na, или Mn и некои други, се враќаат на овој начин во големи количества назад во почвата (односно се вклучуваат повторно во кружењето на материи низ екосистемот), дури и повеќе отколку со опадот (спореди Таб. 2 и Таб. 3).

За разлика од нив, содржината на некои елементи, како што се азотот и фосфорот (особено нитратниот азот) не се менува во водата од стеблениот стек



Сл. 8 Изглед на еден собирач за дожд под крошни



Сл. 7 Шематски приказ на распределба на врнежите низ фитомасата - стеблен стек и низ крошни

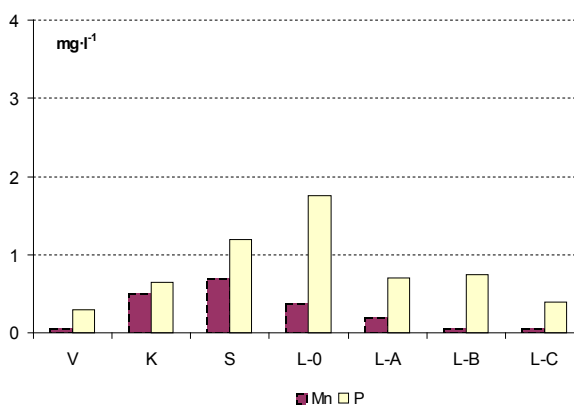
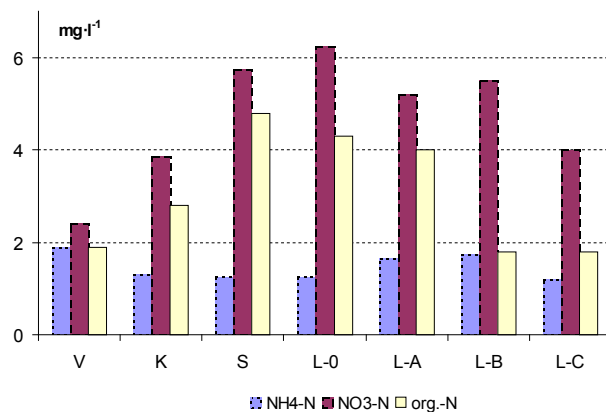
или онаа што минува низ крошните. Дури напротив, содржината на овие елементи може да биде поголема во врнежната вода отколку во водата по плакнењето на фитомасата. Тоа не е резултат на неподвижноста на овие елементи во ткивата на фитомасата, туку на нивно директно усвојување (апсорпција) од страна на листовите или почесто на епифитните организми (лишаи, мовови, алги).

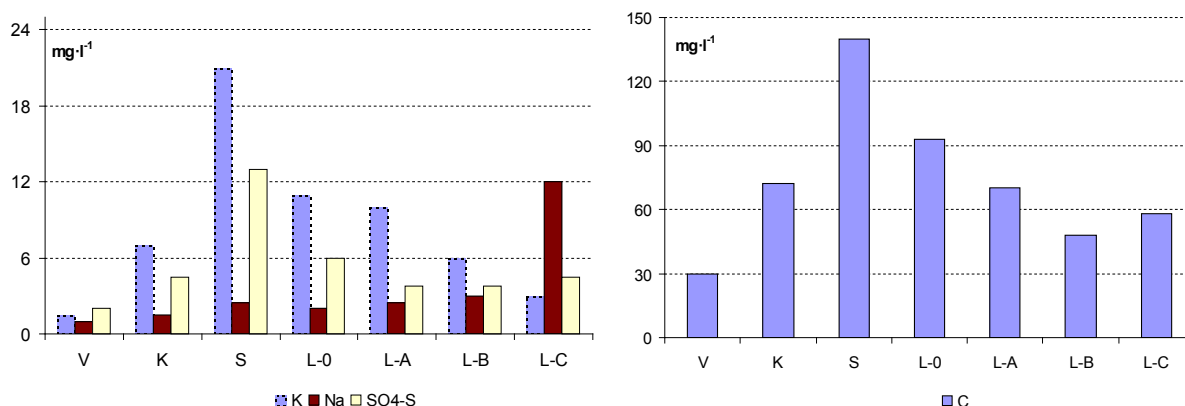
Исплакнатите материи и водата од крошните и стеблата на дрвјата влијаат врз развитокот и на кореновиот систем. (Растенија со доминација на хоризонтални гранки имаат површински разгранет коренов систем поради доминацијата на водата што капе од крошните над таа што се слева по стеблото. Обратно, растенијата со коси гранки имаат површински помал коренов систем со оглед на тоа што корењата сосема добро се снабдуваат со вода и исплакнети материи од водата што се слева по стеблата и соодветно на тоа влажни помал обем од почвата, главно околу пенот (Сл. 11). При тоа постои и варијабилност на внесените материи ...

Исплакнатите органски материи од фитомасата на екосистемот служат како храна и на некои почвени микроорганизми. На тој начин, влијанието на исплакнатите материи се проширува и на другите делови на екосистемот.



Сл. 9 Собирачи за стеблен оттек: 1. полиуретански прстен; 2. инка со црево; 3. собира на канта



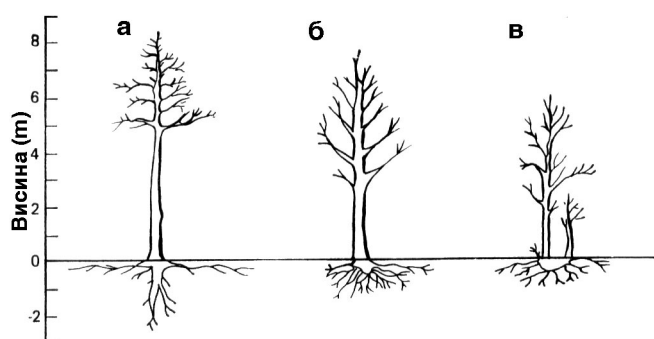


Сл. 10 Содржина на некои хранливи елементи во водата што циркулира низ екосистемот во дабовиот екосистем (*Quercetum frainetto-cerris macedonicum*) на Галичица (забележи: амонјачниот азот, за разлика од другите елементи, не се плакне туку се апсорбира од фитомасата - крошни и стебла наспроти дожд)

V - врнежи; K - крошни; S - стеблен оттек; L-0 - под шумска простирка; L-A - под хумусен хоризонт; L-B - под В хоризонтот; L-C - изнес, под С хоризонтот, односно под коренова зона

Таб. 2 Внес и изнес (приход и расход) на минерални материи ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god.}^{-1}$) во дабовиот екосистем (*Quercetum frainetto-cerris macedonicum*) на Галичица

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Mn
Внес (под крошни + стеблен оттек)	33,75	2,36	27,01	15,06	5,80	3,11	5,72	1,37
Изнес (под коренова зона)	1,96	0,11	0,58	1,92	0,75	1,36	7,06	0,01



Сл. 11 Профили на некои видови дрвја во однос на влијанието на распоредот на гранките во крошната врз градбата на кореновиот систем

Покрај хранливата вредност на исплакнатите материи, тие можат да имаат и инхибирачко дејство за некои организми (алелопатија). На тој начин растенијата можат да го регулираат распространувањето на други видови во нивната околина. (Алелохемиските материи - алеломони и кајромони - можат да се излачуваат и директно во почвата или пак во водата - во водни екосистеми.) (Види биотички еколошки фактори

од Општа екологија)

2.3.4 Опад (6)

Најголеми количества минерални материи се враќаат во почвата, односно се вклучуваат во кружењето, со опадот (Таб. 3 и Сл. 12). Отпадот има помало значење со оглед на продолженото време до изумирање на дрвјата; но, отпадот во зрели шумски екосистеми има исто значење со опадот со оглед на тоа што тој процес се одвива постојано.

Опадот се акумулира на површината на почвата и во зависност од брзината на разградување се формира подебел или потенок слој шумска простирка (или баз во тревестите екосистеми). Дел од минералните материи во опадот се плакне со водата што поминува низ шумската простирка, дел може да биде искористен од сапрофагните животни, а поголемиот дел подлежи на процесите на разградување од страна на редуцентите (види подолу - Разградување) со што минералните материи се трансформираат повторно во усвоиви форми за растенијата.



Сл. 12 Собирачи за опад

Таб. 3 Количества минерални материи што се враќаат со опадот на годишно ниво ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god.}^{-1}$) и се акумулираат во шумската простирка ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) во буковиот екосистем (*Calamintho grandiflorae-Fagetum*) на Бистра

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Mn	Тешки метали	Вкупно
Опад	52,8	2,7	20,2	134,3	5,3	0,69	0,52	3,14	0,16	219,81
Шумска простирка	290,2	15,6	37,35	713,9	24,42	17,5	1,7	15,75	1,40	1117,8

2.3.5 Шумска простирка и брзина на разградување (7 и 8)

Поголемиот дел од опадот и отпадот, а со нив и минералните материи кои треба повторно да се вклучат во процесите на кружење на материите низ екосистемот, не се разградува веднаш, туку подолго или пократко престојува на површината на почвата и се препокрива со нов опад. На тој начин опадот се акумулира на површината на почвата и формира континуиран слој на **шумска простирка**. Овој слој во различни екосистеми има различна дебелина и маса. Таа е резервоар на минерални материи кои постепено се ослободуваат во почвата со процесот на *деградација* со што се овозможува повторно искористување на био-елементите од страна на автотрофните организми.

Биогеоценотичката улога на шумската простирка во шумските екосистеми е огромна. Покрај значењето во поглед на структурата (**види копнени екосистеми**) таа игра важна улога во функционирањето на екосистемот. Во неа се акумулирани големи количества минерални материи при што од особена важност е ретенцијата на N со што се спречува неговото испирање во хумидниот период. (Таб. 3).

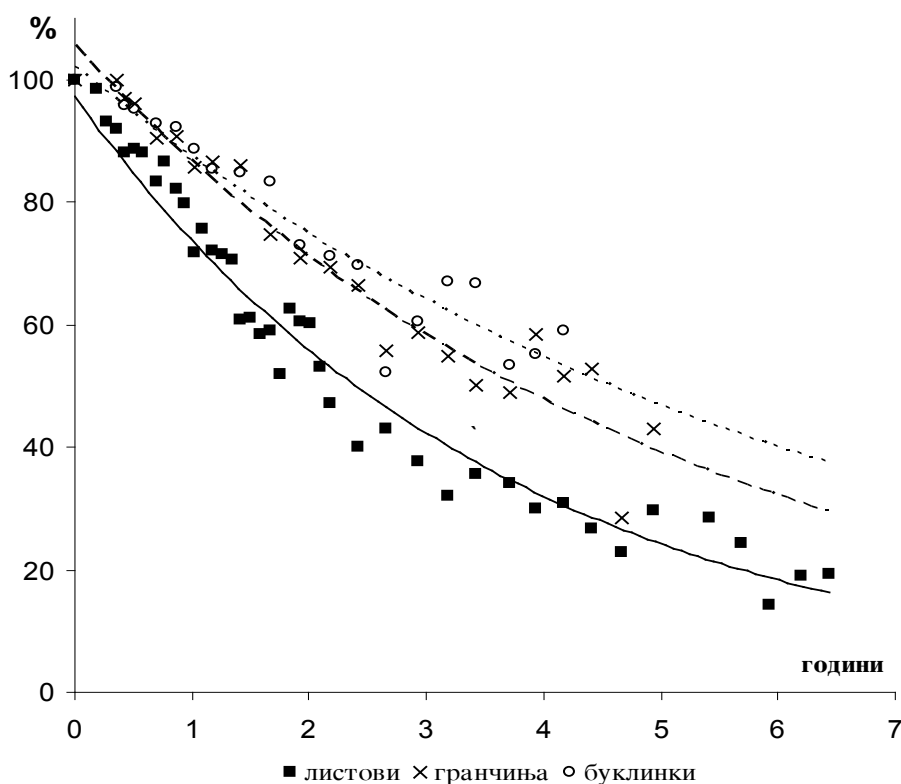
Брзината на деградација на мртвата органска материја е показател за интензитетот на метаболизмот на екосистемот т.е. ослободувањето на минерални

материи во почвата кои може да бидат искористени од страна на автотрофните организми т.е. продуцентите. Тоа е бавен процес од кој се ослободуваат мали количества минерални материи со што се регулира и продукцијата на шумскиот екосистем во квантитативен и квалитативен смисол.

Принципите на кои се базира деградацијата се заеднички за сите екосистеми: експоненцијално намалување на масата, постепено ослободување на минералните материи и влијанието на абиотичките и биотичките фактори. Сепак, постојат значајни разлики помеѓу процесите на деградација што се одвиваат во различни типови екосистеми. Познато е дека опадот од широколисните шуми побрзо се разградува во однос на опад од иглолисните шуми; буковите листови побавно се разградуваат од дабовите листови итн.

Со процесите на минерализација и хумификација се образува хумусот кој е преод помеѓу шумската простирка и минералниот дел на почвата. Во хумусот се складира значително количество минерални материи кои се ослободуваат со многу мала брзина. Во умерениот појас, брзината на деградација на хумусот изнесува 0,004 % годишно, а во тропските шуми - 3 % годишно.

Процесот на деградација се одвива по експоненцијален модел (Сл. 13) и се одликува со константа на деградација k ($m_t = m_0 \cdot e^{-kt}$).



Сл. 13 Брзина на деградација на листовите, гранчињата и буклинките во буков екосистем во Маврово, следена во тек на 6,5 години.

2.3.5.1 Живи организми во процесот на деградација

Процесот на деградација е поддржан од абиотичките фактори и микроорганизмите, габите, мезофауната и некои други организми. Крајните продукти на

деградацијата се CO_2 и јони кои живите организми може да ги асимилираат. Брзината на разградување на органската материја (основен процес во интерниот циклус на материја во екосистемот) во најголем степен зависи од сапрофитните микроорганизми, но во голем степен таа се должи и на активноста на почвените сапрофаги. Така, во дабова шума, листовиот опад за 140 дена топло време при учество на без'рбетниците се разложува за 55%, а при нивна изолација само за 9%. Особено голема улога во тој процес играат дождовните црви и малите членконоги (акарини и колемболи). Акарините и колемболите се покарактеристични за иглолисните шумски екосистеми. Тие во иглолисните шуми преработуваат до 50% од годишниот опад, а двопарноногите стоногалки - повеќе од 10%.

Влијанието на сапрофагите на растителната мртва органска материја се однесува на:

1. раздробување на остатоците при поминување низ органите за варење, преку силно зголемување на површината на искористениот материјал (акарините на пример, при исхраната со мртви иглички од бор, ја зголемуваат надворешната површина на опадот иглички за 10000 пати). Тоа овозможува поголема негова снабденост со кислород, вода, микроорганизми со што се забрзува неговото целосно разградување;
2. промена на хемизмот на искористениот опад за време на животинскиот метаболизам; екскрементите на различни сапрофаги содржат значително повеќе подвижни минерални материи отколку интактна почва (непроменета од сапрофагите) (види Таб. 4);
3. влијанието на микроорганизмите: количеството на бактерии во екскрементите на животните е поголемо отколку во почвата (на пример бројноста на бактериите во копролитите од дождовните црви е и до 2-3 пати поголемо отколку во почвата.

Таб. 4 Средна содржина на подвижни минерални материи во екскрементите на без'рбетните животни и почвата (mg на 100 g а.с.м.)

Екскременти или почва	$\text{NH}_3^+ - \text{N}$	P_2O_5	K_2O
Lumbricidae	31,75	12,28	103,8
Контролна почва	19,06	17,01	71,9
Enchytraeidae	43,65	4,25	58,1
Контролна почва	29,16	2,85	72,6
Sciaridae	44,96	17,36	127,8
Контролна почва	8,77	12,91	144,6
Tipulidae	56,78	9,45	108,9
Контролна почва	32,99	7,54	/

2.3.5.2 Методолошки пристап

Постојат повеќе методи за определување на брзината на деградација на мртвата органска материја:

I. Определување на односот помеѓу годишниот опад и биомасата на шумската простирка;

Брзината на деградација може да се процени од односот на биомасата на шумската простирка и биомасата на годишниот опад, но само во екосистеми каде

е постигната рамнотежна состојба. Познато е дека количеството опад се золемува до определено ниво со "стареење" на екосистемот, а слично на тоа се зголемува и масата на мртвата органска материја (шумска простирка, баз), такашто не сите екосистеми се во рамнотежна состојба.

Константата на деградација може да се определи според формулата на Jenny и соработниците (1949): $k = \frac{A}{A + F}$, каде A е годишното количество опад, а F е маса на шумската простирка.

II. Метод со огледни вреќички за деградација

Методот со огледни вреќички за деградација е широко употребуван во мерењето на брзината на деградација на мртвата органска материја. Резултатите кои се добиваат се понекогаш тешко споредливи заради различните услови во кои се одвиваат експериментите: димензии на вреќичките, големина на окцата на мрежата од која се направени вреќичките, положбата на вреќичките (на површината од шумската простирка или внатре во неа) итн.

Во вреќички изработени од инертен (пластичен) материјал со определени димензии на окца (обично 2 mm) се става дел од фракциите на опадот. Вреќичките се поставуваат на површината на почвата и на определени временски интервали се мери преостаната маса од мртвата органска материја во вреќичките т.е. се определува нејзиниот хемиски состав.

Константата на деградација (k) во фракциите од ОВД може да се пресмета според експоненцијалниот модел: $m_t = m_0 \cdot e^{-kt}$

каде m_0 е почетната маса m_t е преостаната маса во време t (години).

Констатирано се значајни разлики во проценетата брзина на деградација во зависност од големината на окцата на вреќичките. Потесните окца исклучуваат дел од животинските организми со што се добиваат пониски вредности за брзината на деградација. Пошироките окца овозможуваат учество на сите организми во процесот на деградација, но исто така овозможуваат изнесување на недеградиран материјал од вреќичките - особено дождовните црви кои се исхрануваат со мртвата биомаса, а до крај неразградените материи ги дефецираат надвор.

III. Метод на линеарна маса за иглолисни видови;

Ако земеме свежи иглички од некое иглолисно растение и ги поврземе по должина, тогаш 1 m од ваква низа има определена почетна маса. Доколку игличките деградираат, тогаш масата на низата (1 m) постојано се намалува.

IV. Следење на деградацијата на биомасата која не е затворена во вреќички, но е поставена во длабоки лизиметри;

Лизиметрите служат за определување на количеството вода кое минува низ определен хоризонт (слој) од почвата, а со тоа и содржината и количеството на минералните материи. Доколку во еден лизиметар се постави шумска простирка, тогаш може да се следи количеството минерални материи што се плакнат со врнежите во екосистемот т.е. оние минерални материи што се ослободуваат преку деградацијата.

V. Посредно определување преку протокот на CO₂ од почвата.

Ослободувањето на CO₂ од почвата е појава што се должи главно на активноста на разградувачите, а во помал дел на дишењето на корењата и педофауната. Значи, протокот на CO₂ од почвата може да се искористи како показател на интензитетот на деградацијата.

2.3.5.3 Механизми и фази на деградацијата

Механизмите на деградација може да се поделат на пет компоненти:

1. Абиотичка елувијација - плакнење на свежо паднатиот опад со дождовните води.
2. Абиотичка дезинтеграција (раздробување) - механичко раздробување под дејство на надворешните климатски фактори.
3. Абиотичка деградација (разградување).
4. Биотичка дезинтеграција - коминутиција или ситнење на димензиите на опадот од страна на макрофауната и мезофауната.
5. Микробна декомпозиција (разложување) - разложување на остатоците на опадот под дејство на микроорганизмите.

Според поновите согледувања, деградацијата минува низ три фази:

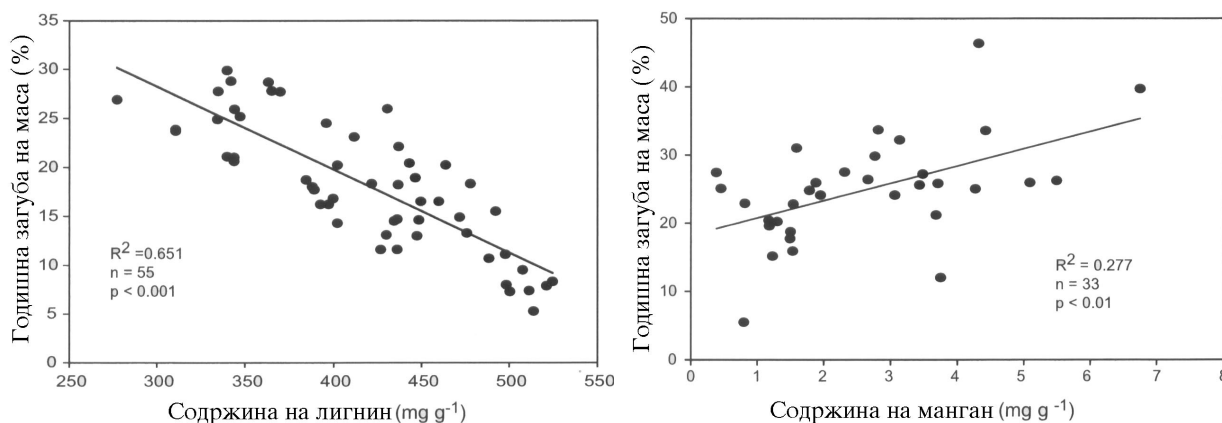
1. **Почетна фаза** - се карактеризира со плакнење на растворливата фракција и деградација на нелигнифицирана целулоза и хемицелулоза; се зголемува содржината на азотот и некои други елементи кои ја стимулираат деградацијата;
2. **Доцна фаза** - како што ткивото деградира, се зголемува партиципацијата на лигнинот, а брзината на деградација опаѓа. Содржината на лигнинот се зголемува заради побавното намалување во однос на биомасата и заради секундарната продукција на лигнин од страна на разградувачите. Лигнинот започнува да го инкорпорира азотот со што се иницираат и други кондензирачки реакции - со тоа се означува првиот чекор на хумификацијата;
3. **Крајна (завршна) фаза** - деградацијата е скоро целосно запрена. Преостанатата органска материја е тешко разградлива и силно модифицирана и ја претставува граничната вредност на деградацијата. Органските соединенија кои се продуцираат на крајот од деградацијата остануваат во хумусот долг временски период, некои дури 1000-10000 години.

2.3.5.4 Фактори што ја определуваат брзината на деградација

Факторите што ја определуваат брзината на деградација може да се опфатат со квалитетот на опадот, климатските фактори и живите организми кои учествуваат во деградацијата. Во поширока смисла, ваквата дефиниција ги опфаќа и покомплексните фактори како "екосистемскиот ефект" и богатството на видови. Во природата, често е тешко да се оддели влијанието на посебните фактори. Достапноста на егзогени извори на минерални материи од почвата или атмосферата исто така претставува значаен фактор, особено во услови на загадување.

Квалитет на опадот/шумската простирка: Очигледно е дека квалитетот на опадот (неговиот состав - хемиски карактеристики и структура - физички карактеристики) е главен фактор што ја детерминира брзината на деградација. Со цел на едноставен начин да се прикаже квалитетот на опадот, воведени се повеќе хемиски индекси за квалитетот кои се базираат на различни односи на јаглеродот, азотот, лигнинот, манганот (Сл. 14), полифеноли, холоцелулоза:лигноцелулоза

итн. Сепак, најчесто користен индекс е односот на јаглерод и азот (C:N), а во последно време односот лигнин:азот.



Сл. 14 Влијание на содржината на лигнинот и Mn врз брзината на деградација

Физичките карактеристики на опадот се многу помалку анализирани во однос на хемиските. Големината и површината на деловите од мртвата органска материја коишто деградираат имаат значителен ефект врз брзината на деградација, како и хемискиот состав, па дури и поголем од него.

Едафски фактори: Својствата на почвата имаат влијание врз процесот на деградација. Брзината на деградација директно зависи од содржината на некои минерални материи. Иста органска материја која деградира има различна динамика на ослободување на азот, во зависност од типот на почвата. pH на почвата влијае на мобилноста и формата на минералните материи, хемиските и физичките реакции, го дефинира изворот на јаглерод што се користи при деградацијата, влијае на нитрификацијата на минерализираниот азот итн.

Екосистемски ефект: Забележана е значајна разлика помеѓу деградацијата на листови од ист тип во екосистем од каде потекнуваат и друг тип на екосистем. Обично, деградацијата во "екосистемот-домаќин" се одвива побрзо. Проучувани се и ефектите на деградација во мешани шуми. Забележано е дека брзината на деградација на листови се менува во присуство на листови од други видови. Во најголем број случаи, мешаниот опад има позитивен ефект на брзината на деградација, но забележани се и инхибирачки материи кај некои листови коишто ја намалуваат брзината на деградација кај другите со кои се помешани.

Живи организми (бројност, диверзитет): Несомнено е дека процесот на деградација се одвива благодарение на активноста на живите организми. Затоа, логично е да се заклучи дека брзината на деградација е во позитивна врска со бројноста на популациите на видовите коишто се вклучени во деградацијата, а нивен основен супстрат за исхрана и обезбедување на неопходните минералните материи е мртвата органска материја. Постојат бројни истражувања со кои се потврдува дека највисоките константи на деградација кореспондираат со најголемата бројност на микроорганизмите, габите или мезофауната. Од активноста и типот на разградувачите зависи текот на деградацијата, ослободувањето на минералните материи и типот на хумус кој се формира во екосистемите. Што се однесува до богатството (диверзитетот) на видови, постојат помал број истражувања кои до крај не го расветлиле ова прашање. Сепак, утврдена е пози-

тивна корелација помеѓу брзината на деградација и богатството на видови, но во исто време и влијание на разновидноста на опадот (шумската простирка) врз богатството на видови. Некои истражувачи констатирале дека брзината на деградација на буковите листови е поврзана со количеството опад од тревестиот кат на растенијата во чисти букови шуми. Поголемото количество тревести растенија претставува погоден супстрат за мезофауната и макрофауната кои во тој случај користат и поголем дел од буковите листови во простирката.

Климатски фактори: Деградацијата е примарно биолошки процес, па затоа нејзината брзина зависи од температурата. Температурата има позитивно влијание на деградацијата и на ослободувањето на CO₂ од почвата како резултат на активноста на почвените организми. Влијанието е поизразено во почетните фази на деградација, додека во подоцнежните, деградацијата станува нечувствителна. Влажноста, во постарата литература, била сметана само како лимитирачки фактор на деградацијата, а приоритет и е давана на температурата. Во региони каде влажноста е висока преку целата година, деградацијата директно зависи од температурата. Но, во аридните региони влажноста е фактор што ја диктира брзината на деградација, а не температурата. Во истражувања на 28 локалитети во Средна и Северна Америка кои се однесуваат на 10-годишен период и опад од 27 видови е утврдено дека влажноста и температурата имаат подеднакво значење за брзината на деградација. Надморската височина влијае на процесот на деградација, пред сè, заради промената на температурата, влажноста и врнежите. Констатирано е линеарно намалување на брзината на деградација со зголемување на надморската височина (за листови од америчката бука - *Fagus grandifolia*): 2,4 % на секои 300 m (што одговара на промена од 0,5 °C). И врнежите имаат многу значајно влијание врз деградацијата, особено преку процесот на плакнење на минералните материи од шумската простирка. Кај листови со поголемо количество лесно-водорастворливи соединенија, врнежите може да имаат поголемо значење дури и од температурата и тоа во подголем период, не само во почетните фази.

Снегот во шумските екосистеми, може да има важна улога во деградацијата која се огледа во обезбедување на повисока температура во простирката и во механичкото раздробување на фракциите заради наизменичното замрзнување и одмрзнување во периодите со ниски температури. Со раздробувањето на мртвата органска материја се добиваат помали фрагменти кои се достапни за разградувачите. Наизменичното одмрзнување и замрзнување има стимулативен ефект на активноста на микроорганизмите во површинските слоеви на шумската простирка: со убивање на микробната биомаса, преживеаните микроорганизми рапидно ја зголемуваат својата активност користејќи ги мртвите клетки како супстрат. Покрај директното влијание на климата врз деградацијата, констатирано е дека со промена на климата доаѓа и до промена на квалитетот на опадот. Зголемувањето на содржината на азот (со зголемувањето на евапотранспирацијата и намалување на географската широчина) која корелира со уделот на тешко разградливата фракција, може да значи и побавна деградација во целост т.е. да ги намали позитивните ефекти на климата.

Климатски промени: Се претпоставува дека зголемувањето на температурата ќе влијае во поголема мера на процесот на деградација отколку на примарната продукција. Температурата позитивно влијае на интензитетот на деградација што е покажано во повеќе лабораториски експерименти. Влијанието на температурата

мора секогаш да се разгледува заедно со влажноста која може да претставува лимитирачки фактор. Забрзаната деградација ќе доведе до намалување на биомасата на шумската простирка. Не се знае точниот придонес на примарната продукција во услови на климатски промени т.е. дали ќе се зголеми количеството опад во шумските екосистеми. Од друга страна, зголемувањето на атмосферскиот CO_2 ќе го намали квалитетот на опадот т.е. неговата палатабилност што ќе предизвика забавување на деградацијата.

2.3.5.5 Минерални материи во тек на деградацијата

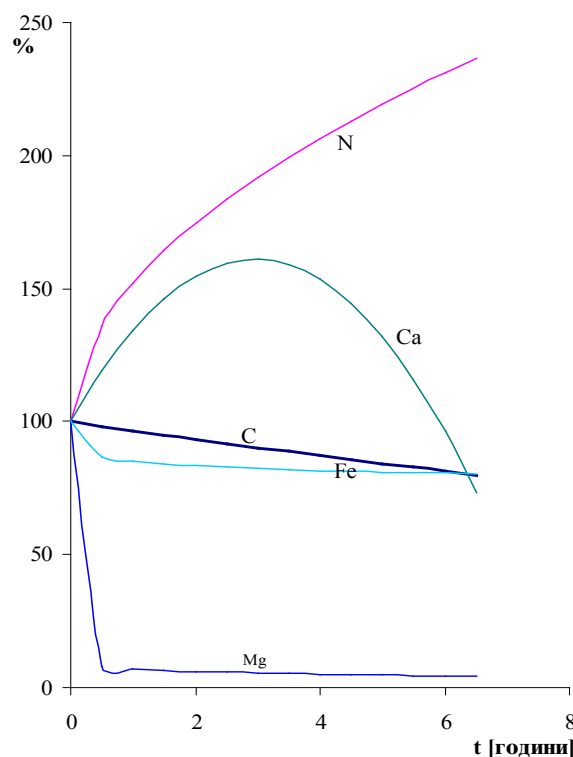
Најголем дел од минералните материи во шумските екосистеми, се обезбедуваат преку распаѓањето на почвените честички, а само азотот влегува во екосистемот преку процесот на азотофиксација на N_2 од атмосферата. Затоа, системите кои се сиромашни со потребните минерални материи, развиле механизми за нивна заштеда. Само за азотот во екосистеми со голема азотофиксирачка моќ нема такви механизми. Консеквентно на тоа, шумската простирка со процесот на деградација е главниот процес кој обезбедува заштеда на минералните материи и нивно ослободување во рамнотежа со потребите на автотрофната компонента на екосистемот.

Растенија што егзистираат во живеалишта сиромашни со минерални материи, ги искористуваат конзервативно и имаат ниски концентрации на минералните материи во ткивата и имаат повисока ретранслокација од старите органи. Ваквите растенија продуцираат "неквалитетен" опад којшто деградира многу бавно.

Минералните материи кои се лимитирачки се јавуваат во субоптимално количество и обично нивната содржина се зголемува во почетните фази, додека минералните материи што ги има во поголемо количество отколку што им се потребите на разградувачите може да бидат ослободени уште на почетокот на деградацијата.

Некои од минералните материи (N, K) имаат предвидлива динамика во зависност од нивната почетна содржина, додека за останатите (Ca, Mg, Mn) не е констатирана определена шема за динамиката на содржината.

Според динамиката на содржината што ја покажуваат во тек на деградацијата, минералните материи може да се поделат во три групи (Сл. 15):



Сл. 15 Динамика на масата на минералните материи [%] во тек на процесот на деградација на листовите во буковиот екосистем во Маврово

1. елементи чија содржина се зголемува со текот на деградацијата (N и Ca),
2. елементи кои се губат побрзо отколку биомасата (Mg) и
3. елементи кои исчезнуваат повеќе или помалку паралелно со деградацијата на биомасата (Fe).

Минералите од првата група се обично дефицитарни, па микробиолошката побарувачка за нив е висока, а од втората група се оние кои се слабо врзани за структурните компоненти и минерализацијата не е неопходна за нивно ослободување.

Динамиката на минералите во тек на деградацијата е контролирана од три основни групи фактори:

1. биолошки (важни за N, Ca, Mg, S и Mn-индиректно) - опфаќаат имобилизација од страна на микроорганизмите и фиксација од атмосферата (азотофиксација),
2. физички - опфаќаат плакнење (K, Na) и атмосферската депозиција (Na, Pb, Cd, Zn).
3. хемиски фактори кои дејствуваат преку јоноврзувачки процеси на органските лиганди кои се секундарни продукти на деградацијата. Тие се најважни фактори кои заедно со биолошките и физичките доведуваат до формирање на хумус преку деградацијата на примарните органски супстанции и синтезата на хумусни супстанции (хумински и фулвокиселини). Хемиската адсорпција за хумусните материи е важна за Fe, Al, Zn, Pb, Cd. Јоноврзувачката способност на хумусните материи за јоните на тешките метали ја надминува можната биолошка имобилизација во помалку деградираните слоеви на прос-тирката.

Содржината на N континуирано се зголемува во тек на деградацијата, Покачувањето на содржината може да се објасни со потребата на почвените микроорганизми за азот, како и негово инкорпорирање во лигнинот - ендегени чинители. Егзогените фактори придонесуваат за зголемување на содржината, но и на апсолутната маса на N. Според различни истражувачи, егзогените фактори се должат на:

1. адсорпцијата на азотот (NH_4^+) од минералниот дел на почвата;
2. асимбиотска бактериска азотофиксација - микробната азотофиксација во шумската простирка изнесува $0,3\text{--}3,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ азот;
3. сува депозиција на NH_3 и HNO_3 (дополнета со врнежи под крошните што може да ги надмине другите фактори, особено азотофиксацијата);
4. инвазија на габни хифи во фракциите на шумската простирка и населување на фауната и
5. фекални отпадоци од филофагните (листојадни) инсекти од крошните на дрвјата

Калиумот во тек на деградацијата може да има неколку типови на динамика. Најкарактеристична е двостепена динамика: 1. намалување во *почетната фаза* како резултат на плакнењето на мобилната фракција и 2. зголемување во *касната фаза* како резултат на населување на разградувачите.

Повеќе минерални материи (Ca, P, тешките метали) имаат двостепена динамика која означува акумулирање во еден дел од деградацијата, а потоа нивно ослободување и пад на содржината (види Ca на Сл. 3)

2.3.6 Почвено дишење

Количеството на шумската простирка и нејзината динамика главно зависат од брзината на разградувањето на поодделните компоненти на шумската простирка акумулирани на површината на почвата со опадот. За да се оцени моменталната состојба на акумулираната маса на шумската простирка не е доволно познавањето на брзината на разградувањето на главните компоненти од опадот кои ја градат шумската простирка, бидејќи комбинацијата од овие компоненти, заедно со надворешните едафско-климатски фактори, формираат нов квалитет кој манифестира поинаква брзина на разградување како резултат. Од екосистемски аспект поважна е брзината со која целата шумска простирка се разградува, а не нејзините компоненти поодделно. Како показател за интензитетот со кој се одвиваат процесите на разградување може да послужи биолошката активност која се одвива во шумската простирка и горните почвени слоеви. Оваа активност наједноставно може да се следи со одредување на интензитетот на дишењето на живата компонента преку одредување на ослободениот CO_2 од површината на почвата и простирката. Интензитетот на почвеното дишење е директен показател за интензитетот со кој се одвиваат процесите на разградување на мртвата органска материја, бидејќи сите организми - мезо и макрофаума и микроорганизми - што учествуваат во процесите на раздробување и разградување - го даваат вкупното почвено дишење. Во оваа сума секако влегува и дишењето на кореновите системи од растенијата кое може да варира во широки рамки во зависност од екосистемот и периодот на годината.

Уште Lundegardh (1921) апсорпцијата на кислород и емисијата на CO_2 од почвата ја нарекол почвено дишење. Почвеното дишење е секако најдиректна мерка за активноста на организмите кои живеат во почвата. Најчесто, ослободувањето на CO_2 од почвата е земено како најуспешна релативна мерка за почвениот метаболизам. Reichle (1977) наведува дека, општо, почвеното дишење е многу подобар показател за метаболичката активност на почвата отколку биомасата на педобионтите. Особено микробиолозите го земаат ова како мерка за микробната активност, иако е поврзано со многу потешкотии и неточности бидејќи не е доволно познат процентот на издвоените метаболити од активноста на педобионтите кои не се оксидираат до крај (CO_2), туку во форма на метан или CO се губат во атмосферата; или како алкохоли, киселини и друго се губат во дренажните води. Учеството на дишењето на корените од растенијата е исто така значајно. Учеството на фауната во почвеното дишење од 10-20% што секако не го рефлектира вистинското значење на оваа компонента во почвениот метаболизам и особено брзината на разградување. Изборот на методата за одредување и следење на почвеното дишење игра значајна улога во конечното согледување на активноста на педобионтите.

2.3.7 Патишта на враќање на материите во кружењето (Резиме)

Во хранителната мрежа може да се издвојат два основни патишта на враќање на минералните материи во кружењето на материја:

- I. Примарна екскреција на животните, и
- II. Разложување на мртвата органска материја од страна на микроорганизмите

Доколку двата патишта се одвиваат заеднички во екосистемот, тогаш првиот доминира во планктонските заедници и другите екосистеми каде што протокот на енергија се одвива главно преку животните - фаготрофната компонента (синцири на исхрана), додека другиот доминира во степи, шуми и други екосистеми каде што основниот проток на енергија се одвива преку детритофагната хранителна мрежа.

Постои можност да се издвои и трет пат - директно предавање материја од растение на растение со симбионтски микроорганизми.

Основните патишта на враќање на минералните материи во неживиот дел на екосистемот се прикажани на Сл. 16. Шемата претставува блок-модел конструиран на сличен принцип како и моделите на хранителните мрежи, но во овој случај е прикажано кружењето на минералните материи, а не еднонасочниот пренос на енергија.

Патот I е карактеристичен за морињата, односно во екосистеми каде планктонот е главен продуцент на органска материја (со оглед на површината на морето, бентосните растенија имаат незначителна улога). Екскрецијата на планктонските животни (особено микрозоопланктонот) игра главна улога во враќањето на усвоитевте форми азот и фосфор (но и другите елементи). Покажано е, при мерењето на брзината на прометот во морски екосистеми, дека зоопланктонските организми во текот на својот живот ослободуваат во водата растворливи минерални материи неколкукратно повеќе отколку што изнесува количеството на тие материи во телата на истите организми (она количество што по изумирањето ќе се разгради со помош на микроорганизмите). Регенерацијата на другите биоелементи (освен фосфор и азот) се одвива на ист начин, иако за тоа постојат помалку податоци. Ослободените материи (заедно со одредено количество CO_2 кое исто така се ослободува) директно се искористуваат од фитопланктонот, без да бидат подвргнати на разградување од бактериите. Покажано е дека масата и бројноста на бактериите во морската вода е значително помала од масата на бактерии на ист волумен почва.

Во други екосистеми улогата на патот I за враќање на минерални материи во кружењето е пропорционална на учеството на животните (фаготрофната компонента) во трансферот на материја и енергија во екосистемот). Затоа терминот "редуценти", кој се однесува главно на бактериите и габите, треба да се прошири на дел од животинската компонента (како што видовме во делот за разградување, улогата на животните во тој процес не е само индиректна - за раздробување).

Во копнените екосистеми и помалите водни екосистеми доминира вториот пат на враќање на минералите во кружењето. Таму основна улога во кружењето имаат бактериите и габите. Тие со процесот на разградување (и други пропратни процеси) овозможуваат разложување на материите од изумрената органска материја и нивно ослободување во неживиот дел од екосистемот. Тие процеси се многу сложени и разнообразни.

На шемата (Сл. 16), патот III е прикажан со испрекината линија затоа што сè уште не е директно потврдено, а од друга страна не зафаќа значаен дел во општото кружење на материјата во биосферата. Враќањето на материја од растение на растение е возможно преку симбионтски габи или други микроорганизми. Се однесува скоро исклучително на тропските екосистеми.



Сл. 16 Основни патишта на враќање на минералните материи во кружењето

Патот означен со "автолиза" на шемата може да се смета како пат IV (во принцип, тој е сличен на патот I и може да се смета како негова варијанта). Се однесува на ослободување на материи од телата на изумрени животни и растенија, како и од фекалии, но без учество на микроорганизми. Во некои влажни станишта, кај организми со мал волумен во однос на површината (мали организми) делот на ослободени растворливи материи пред да почне микробиолошкото разградување може да достигне 25-75%. За овој пат не треба дополнителна енергија, исто како и за првиот пат.

2.3.8 Внес на вода и минерални материи со врнежите (9)

Врнежите (дожд, снег) при кондензацијата и паѓањето на горната граница на екосистемот во себе раствораат и носат различни материи, составен дел на атмосферата (аеросоли). Материите што ги раствораат дождовите, можат да бидат од екосистемот до кој врнежите доаѓаат, но најчесто и во најголема мерка тие се по потекло од многу оддалечени територии, односно екосистеми, донесени со воздушните движења. Материите во атмосферата можат да потекнуваат од природни процеси (еолска ерозија, екскрети на растенија - етерични масла и друго), како и од антропогени активности (денеска антропогената компонента најчесто ги надминува природните материи во атмосферата).

На тој начин екосистемот се снабдува со дополнителни количества минерални материи и органски јаглород (заедно со тоа и полен, спори итн.), т.е. со нови, дополнителни количества материја која веднаш се вклучува во кружењето на дадениот екосистем.

Хемискиот состав на врнежната вода варира во широки рамки во различни подрачја. Зависи од близина на море (повеќе хлориди и натриум), од покровноста на соседните подрачја (голи подрачја - повеќе калциум и метали), од антропогените активности (сточарски фарми - големи количества амониум, фосфор; индустрија - сулфати и други материи), како и од други фактори (Таб. 5; Сл. 8 - ист тип на собирачи, но поставени над крошните и Сл. 17)

Врнежната вода на патот до почвата поминува низ живата фитомаса на екосистемот и при тоа врши плакнење на дополнителни количества материја (види 4 и 10 претходно).



Сл. 17 Кула од метална конструкција за поставување на собирачи над крошните и друга апаратура

Таб. 5 Внес на минерални материи ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$) со врнежите во дабов екосистем (*Quercetum frainetto-cerris macedonicum*) на Галичица

	C	N	P	S	Cl	K	Ca	Mg	Fe	Na	Mn
Внес (со врнежи)	121,3	29,76	1,33	13,43	42,58	7,5	9,93	2,53	2,86	5,17	0,17

2.3.9 Испирање на простирката (11)

На патот до почвата, врнежната вода поминува низ простирката. Таму настанува најголема промена на хемизмот на водата (Сл. 10). Како што веќе видовме, во простирката се одвиваат интензивни и најразновидни процеси - активност на фауната и микробиолошката компонента, разградување). Најголемиот дел од ослободените растворливи материи од органската материја што се разградува се раствора во врнежната вода и се пренесува надолу (десцендентно) до минералниот дел на почвата. Дел од тие материи веднаш се апсорбира од габните мицелиуми и трофичките коренчиња што ги има во простирката, но најголемиот дел оди во хумусниот хоризонт на



Сл. 18 Изглед на лизиметарската јама во која се поставени кантите за собирање на цедната вода од лизиметарските плочи на различни длабочини во почвата

почвата. Количеството вода и во неа растворените материи се одредува со помош на т.н. лизиметри (Сл. 18)

2.3.10 Почвено испирање (12)

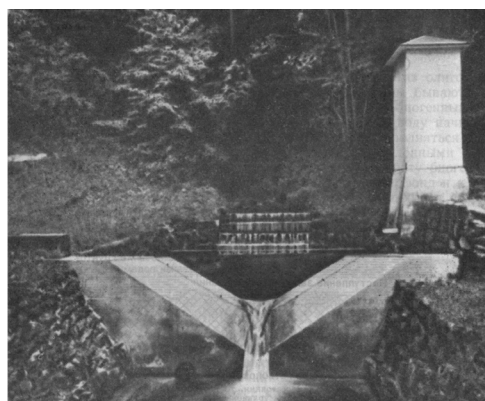
При поминување на водата низ почвените хоризонти, се врши силна промена на нејзиниот квантитет и квалитет. Голем дел од водата се апсорбира од корењата на растенијата (заедно со неа и голем дел од растворените минерални материи), а дел се пренесува во подолните хоризонти (во аридните подрачја обично водата целосно се апсорбира од растенијата или служи за пополнување на резервите вода во почвата до ретенционен капацитет, додека десцендентно движење до под кореновата зона има само во хумидните подрачја или во највлажниот дел од годината во семиаридните подрачја - есен или топење на снеговите).

Во зависност од типот на почвата, активноста на микроорганизмите, активноста на корењата на растенијата и други фактори, хемискиот состав на перколационата вода (што се движи низ почвата) значајно се менува. Некои елементи можат дури и да бидат додадени зависно од трошењето на примарните почвени минерали (15) или други карактеристики на почвата (на пример кисели почви - сулфати, алуминиум итн.) (види Сл. 10 и Таб. 2).

2.3.11 Површински истек (13)

Таб. 6 Годишен внес на материја од копното во светскиот океан

Копно	Внес	
	$t \cdot km^{-2}$	Вкупно (10^9)
Северна Америка	634,0	1,96
Јужна Америка	414,3	1,20
Африка	181,3	0,54
Австралија	297,5	0,23
Европа	233,0	0,32
Азија	3962,0	15,91
Вкупно	/	20,16



Сл. 19 V-образна брана за мерење на протокот на површинската истечна вода

Површинскиот истек го претставува количеството вода (и во неа растворените материи) што се слива по површината на почвата (на кос терен). Во добро развиен, недеградиран шумски екосистем (слично и во тревести екосистеми) површинскиот истек е минимален (Сл. 19). Тој се појавува при невообичаено силни и долготрајни дождови или при нагло топење на снегот. Голем дел од површинскиот истек претставува загуба на вода и минерални материи за екосистемот со оглед на тоа што голем дел од површински истечната вода завршува во потоците што се создаваат во доловите и потоа во реките што се формираат на дадено сливно подрачје. Во деградирани екосистеми овој изнес на материја може да биде многу голем (многу поголем од изнесот со подземните води - 14). За споредба,

види табела за количествата исплакнет материјал од копнените екосистеми и пренесен во морињата (Таб. 6).

2.3.12 Изнес на вода и минерални материи (14)

Во нормални услови (добро склопена вегетација во екосистемот и рамен терен) главниот изнес на материја од екосистемот го дава водата и во неа растворените материи што се процедува во почвата под кореновата зона, односно под длабочината до која допира главната маса на корењата.

Количеството материја што ќе се изнесе во текот на годината со подземните води зависи од хидротермичките услови (влажна клима - повеќе исцедена вода), од физичко-хемиските карактеристики на почвата, од интензитетот на одвивање на биолошките процеси во почвата и во подземната маса на организмите итн. (види Таб. 2).

2.3.13 Трошење на минералите од матичниот супстрат во почвата (15)

Трошењето на примарните минерали што ја градат почвата е процес кој постојано се одвива и зависи од хидротермичките услови како и од активноста на живата компонента на екосистемот (за поединости, [види Педологија](#))

Количеството ослободени растворливи форми минерални материи не може директно да се одреди поради методолошки потешкотии, но може индиректно (преку одредување на разликите во внесот и изнесот на материја и потребите на растителната компонента). Практично со трошење на почвените минерали се надополнува кусокот на нутриенти за изградба на фитомасата.

3 БИОГЕОХЕМИСКИ ЦИКЛУСИ НА ГЛАВНИТЕ БИОГЕНИ ЕЛЕМЕНТИ

Покрај кружењето во биолошки активниот дел на екосистемот (кое беше поподробно опишано во претходниот текст), кружењето на материите го зафаќа и помалку активниот (небиолошки) дел. Во овој дел ќе бидат прикажани глобалните циклуси на некои биогени елементи, и тоа принципите на кружење заедно со квантитативно определување на времето и количествата материја што кружи - флуковите и ретенцијата во одделните компоненти од биосферата.

За определување на структурата и функцијата на екосистемите најчесто е поважно да се оцени брзината на размена или преносот на материи (флукови) отколку количеството на материја во дадено време и на дадено место (минераломаса, резервоари).

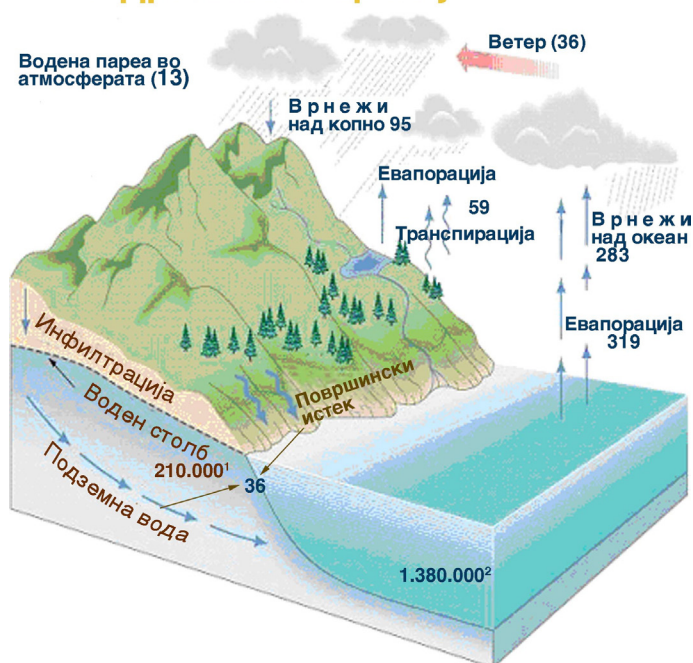
3.1 Гасни циклуси

3.1.1 Биогеохемиски циклус на водата (хидролошки циклус)

Зашто е важен циклусот на водата (а не одделно кислород и водород)?

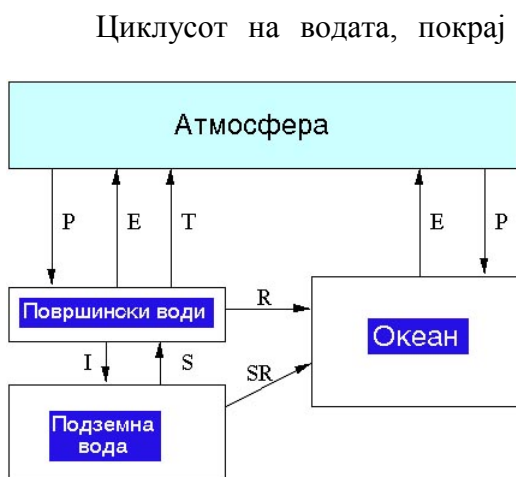
1. Водата е многу важна за функционирање на живите организми
2. Заедно со водата се движат и други минерални материи и соединенија - растворени.

Хидролошки циклус



Сл. 20 Приказ на хидролошкиот циклус (1-површинска вода; 2-вода на океанот)

Сл. 21.



Сл. 21 Блок-дијаграм на хидролошкиот циклус

(P-преципитација; E-евапорација; T-транспирација; I-инфилтрација; S-извори; R-површински истеки; SR-подземни води)

Оттука следува дека врнежите што паѓаат на површината на океаните и морињата се помалку по количество од испарената вода од истата површина. Поголемиот дел водена пара што се донесува над копната со ветрови од океаните се

Водата учествува во редица реакции во фотосинтезата (што значи продукција на органска материја), но најголемиот дел на водните флукови (потоци) што протекуваат низ екосистемот се поврзани со процесите на испарување (евапорација), транспирацијата и врнежите. Врската на евапорацијата и транспирацијата со фотосинтезата е во тоа што тие процеси протекуваат со помош на енергијата од сонцето. При кондензацијата на водената пара во воздухот (причина за врнење дожд) потенцијалната енергија што се содржи во пареата се ослободува во вид на топлина, слично како и при дишењето на растенијата и животните.

Кружењето на водата е прикажано шематски на Сл. 20 и

Циклусот на водата, покрај движењето на самата вода како биогена материја, има решавачко влијание и врз движењето на кислородот и водородот во екосистемот. Организмите брзо ја губат водата по пат на испарување и екскреција - целокупната вода во еден организам за време на неговиот живот може да се обнови неколку стотини и илјади пати.

Циклусот на водата, или **хидролошкиот циклус**, ги поседува сите основни карактеристики на секој друг циклус; тој исто така е избалансиран во рамките на целата земјина топка и се сведува на движењето на енергијата. Затоа може да се искористи како модел за прикажување на одреден циклус.

Врнежите што паѓаат на копното го надминуваат испарувањето и транспирацијата од копнените екосистеми.

кондензира таму каде што побрзото загревање и ладење (над копното) предизвикува вертикални струења на воздухот (исто така: над копното има повеќе кондензациони јадра создадени од честички со природно и антропогено потекло). Нето флуксот на водена пареа од океаните кон копно го избалансирава количеството вода што се слева од копно во океанските басени со реките.

Количеството на истраспирирана вода може да се опoredели врз основа на транспирациониот коефициент (ефективноста на транспирација) и продуктивноста на фотосинтезата во биосферата. Проценето е дека на копнениот дел на биосферата продукцијата изнесува $1,1 \cdot 10^{17}$ g сува материја. Ако за еден грам продуцирана материја се транспира во просек 500 g вода, тогаш вкупната транспирација во биосферата изнесува $55 \cdot 10^{18}$ g вода. Колку и да е непрецизна таа проценка, сепак е јасно дека растенијата играат главна улога во кружењето на водата. (Примерот за Хабард Брук и исечената шума и тука е соодветен - 200% се зголемил површинскиот истек, главно поради отсуство на апсорбирана и истраспирирана вода).

Според оценките, количеството енергија што го придвижува хидролошкиот циклус е огромно (изнесува $\frac{1}{5}$ од вкупната сончева енергија што доаѓа до површината на Земјата). Потокот на вода во хидролошкиот циклус е определен со испарувањето, а не со врнежите. Практично, енергијата се троши на испарување, а престојот на водена пареа во воздухот е многу краток, така што интензитетот на врнежи зависи од интензитетот на евапотранспирација.

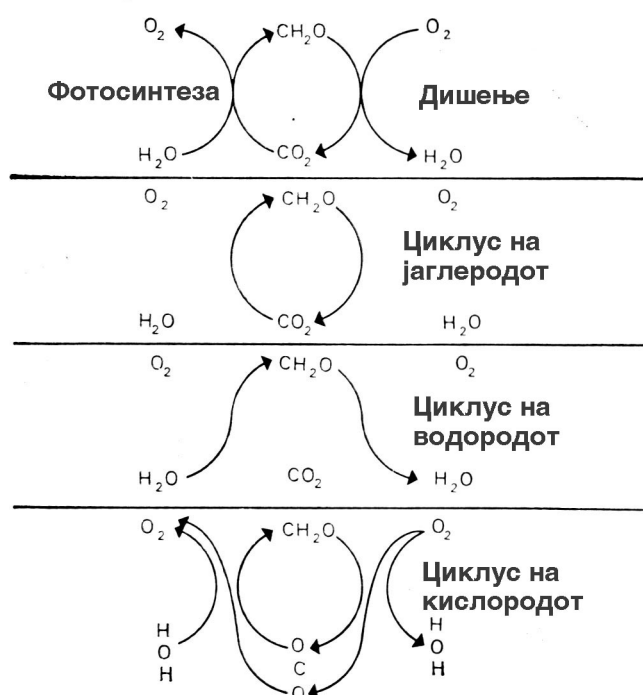
Водата што се содржи во атмосферата, распределена рамномерно по површината на Земјата би формирала слој од 25 mm. Просечното количество врнежи на Земјата за една година изнесува 650 mm што е 25 пати повеќе од моменталната содржина на водена пареа во атмосферата. Тоа значи дека водената пареа во атмосферата (атмосферски фонд) годишно 25 пати го завршува циклусот. Значи дека просечно циклусот трае две недели. Содржината на вода во реките, езерата и океаните е стотици илјади пати поголема од таа во атмосферата. Сепак, таа вода протекува низ тие два фонда со иста брзина, доколку се земе дека евапотранспирацијата е еднаква на врнежите во глобални рамки. Средното време на преносот на течната вода на површината на Земјата е 100.000 пати поголемо (3650 години) од преносот на вода во атмосферата.

3.1.2 Биогехемиски циклус на кислородот

Кислородот се наоѓа на второ место (по азотот) по содржина во атмосферата. Заради тоа што кислородот насекаде во надземната средина се наоѓа во големи количества, на неговиот циклус обично му се придава помало значење во споредба со циклусите на другите елементи, особено на јаглеродот, азотот, фосфорот итн. Циклусот на кислородот е релативно едноставен, но ги поседува сите основни блези на циклусите на биогените елементи во екосистемите.

При изучувањето на циклусот на кислородот еколозите обично разликуваат патишта поврзани со хемиски врзаниот кислород во органските соединенија и патишта поврзани со водата (во живиот дел).

Во атмосферата се содржат околу $1,1 \cdot 10^{21}$ g кислород. Но, многу повеќе се наоѓа во врзана состојба во молекулите на водата, солите, како и оксидите од различни минерали во земјината кора (кон овој фонд растенијата и животните немаат пристап).



Сл. 22 Шематски приказ на циклусот на јаглерод, водород и кислород во процесите на фотосинтеза и дишење

Веќе спомнавме дека приближно 10^{17} g јаглерод (поточно $1,1 \cdot 10^{17}$ g) се асимилира годишно со примарната продукција. Ако се земе дека при фотосинтезата на секој фиксиран јаглероден атом се ослободуваат два атома кислород, тогаш зелените растенија ослободуваат секоја година околу $2,7 \cdot 10^{17}$ g кислород (кислородот по маса е за $^{16}_{12}$ повеќе од јаглеродот). Тоа количество соодветствува на $1/2500$ дел од содржината на кислород во атмосферата, што значи дека времето на кружење на кислородот во атмосферскиот фонд е 2500 години (ако се занемари размената на кислород помеѓу атмосферата и површината на океаните).

Циклусот на кислородот не е до толку едноставен (рамнотежа помеѓу фотосинтезата и дишењето) доколку се земе дека водата влегува во сложени реакции во текот на фотосинтезата и респирацијата.... (Сл. 22)

Како што веќе беше кажано, циклусот на водата, покрај движењето на самата вода како биогена материја, има решавачко влијание и врз движењето на кислородот и водородот во екосистемот.

3.1.3 Биогехемиски циклус на јаглеродот

Познавањето на резервоарите и флуковите од циклусот на јаглеродот во биосферата има огромно значење во денешно време. Тоа произлегува од нарушувањата на циклусот со внесување дополнителни количества јаглерод во кружењето од согорувањето на фосилните горива (делови од резервоарот отстранети од кружењето одамна во геолошката историја. Наручувањето на циклусот на јаглерод (зголемување на неговото количество во атмосферскиот фонд) предизвикува глобално затоплување на климата.

(1) Биолошкиот дел на кружењето на јаглеродот во екосистемот е далеку поедноставен од кружењето на кислородот. Во него учествуваат само органските соединенија и јаглеродниот диоксид (Сл. 22). При тоа фотосинтезата на

растенијата и респирацијата на сите организми во биоценозата се потполно комплементарни.

Целокупниот јаглерод асимилиран во текот на фотосинтезата се вклучува во синтезираните јаглеводороди, додека целокупниот јаглерод од органските соединенија во процесот на респирација се трансформира во јаглероден диоксид.

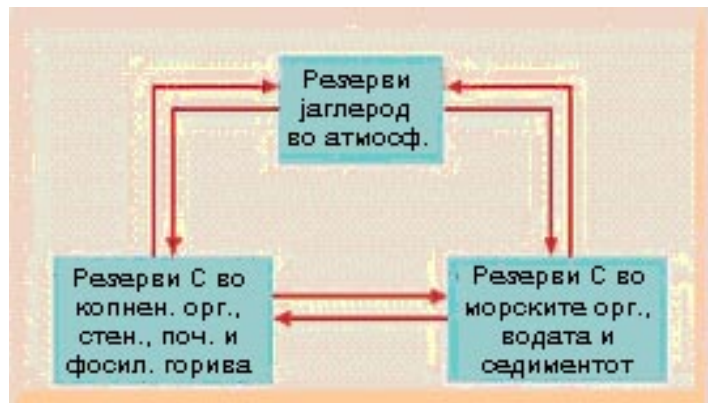
(2) Пошироките

фондови на јаглеродот од неорганско потекло - атмосферскиот CO_2 , растворениот CO_2 (бикарбонатите) и карбонатните седименти - учествуваат во кружењето на јаглеродот во различен степен (Сл. 23).

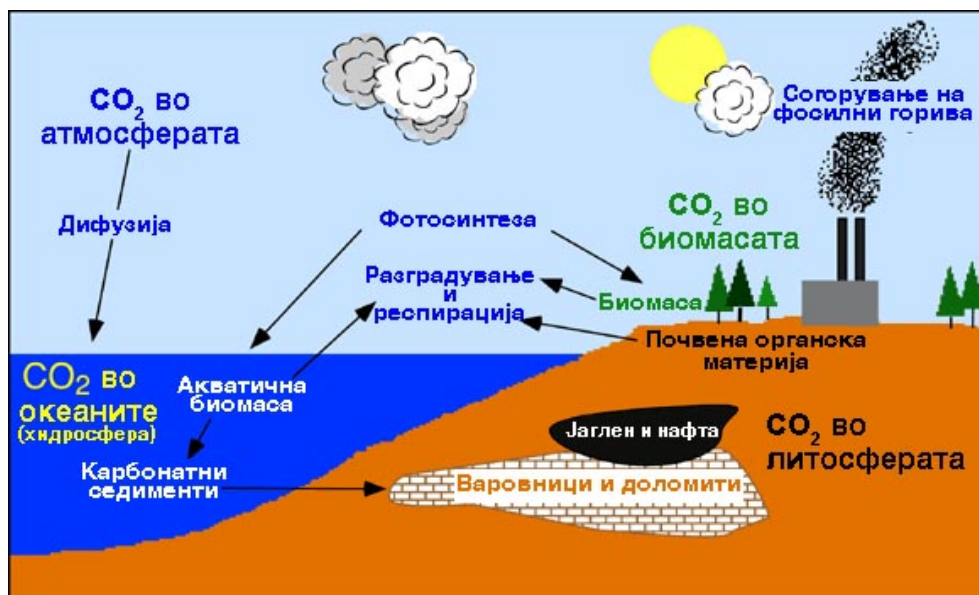
(3) Размената помеѓу јаглеродот од помалку активните фондови (вулкански седименти, карбонатни седименти - варовници, камениот јаглен, нафтата) со другите поактивни фондови се одвива многу бавно, така што влијанието на тие форми јаглерод на краткорочното функционирање на екосистемите е незначително.

Шематскиот приказ на циклусот на јаглерод е даден на Сл. 24 и 25. Растенијата годишно асимилираат околу $100-120 \cdot 10^{15}$ g јаглерод од кои $40-50 \cdot 10^{15}$ g се враќаат во атмосферскиот фонд на јаглероден диоксид поради респирацијата на растенијата. Останатите $50-60 \cdot 10^{15}$ g ја обезбедуваат продукцијата и дишењето на животните, бактериите и габите. При анаеробна респирација се продуцира мало количество метан (CH_4) кој се трансформира во јаглероден диоксид во атмосферата со помош на фотохемиски реакции. Растенијата и животните годишно вградуваат во себе од 0,25 до 0,30% јаглеродот што се содржи во атмосферата (CO_2) и во океаните (јагленова киселина - бикарбонат). Произлегува дека целокупниот активен неоргански фонд на јаглеродот ќе го заврши циклусот за 300-400 години. Со оглед на тоа што размената на јаглероден диоксид помеѓу атмосферата и океаните протекува бавно, на куси интервали, двата активни фонада (атмосферскиот и океанскиот) може да се разгледуваат издвоено. Така, во терестричните екосистеми во циклусот на јаглеродот годишно се вклучуваат 12 % од вкупниот атмосферски CO_2 . Тоа значи дека времето потребно за целокупниот атмосферски јаглерод да заврши еден циклус е 8 години (1/0,12).

Согорувањето на фосилните горива (јаглен и нафта) ја зголемува содржината на јаглероден диоксид во атмосферата. Иако количеството на ослободен јаглероден диоксид од фосилните горива изнесува околу 5% од вкупниот јаглерод што учествува во кружењето, сепак тоа го надминува количеството што се апсорбира годишно со фотосинтезата. Додатно, во атмосферата трајно се ослободуваат и околу 2% ($0,6-2,6 \cdot 10^{15}$ g) јаглерод од дефорестација - уништување на шумите.

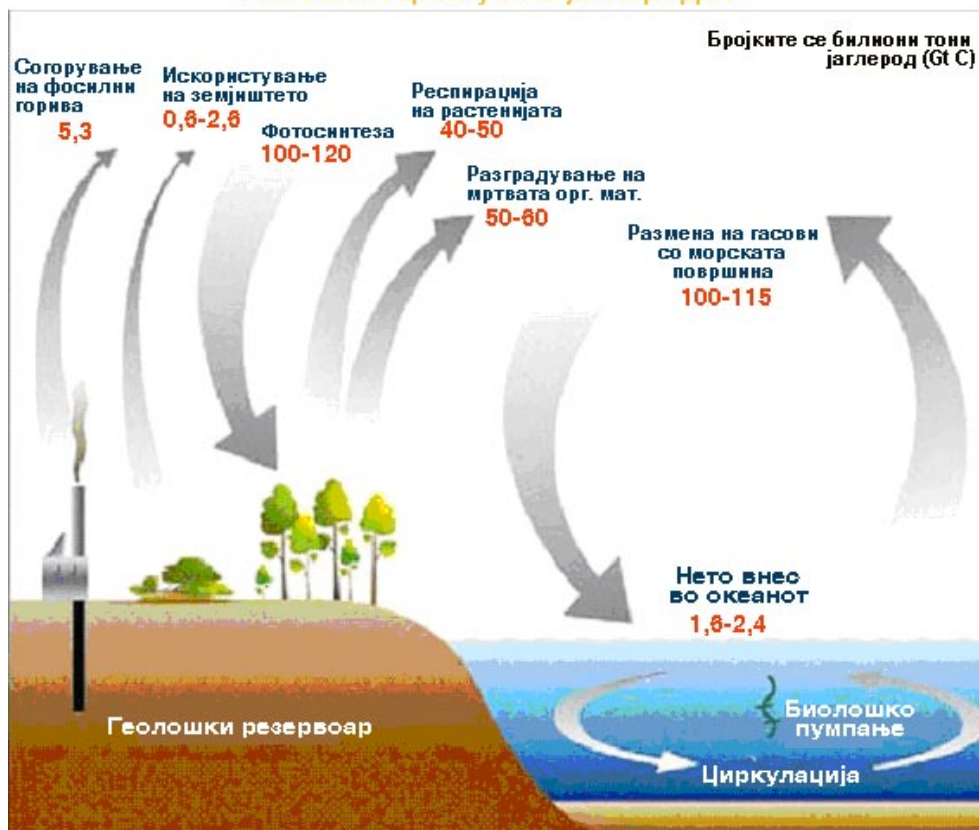


Сл. 23 шематски приказ на размена помеѓу фондовите на јаглерод



Сл. 24 Шематски приказ на циклусот на јаглеродот со антропогено влијание

Глобален циклус на јаглеродот



Сл. 25 Циклус на јаглеродот со фондовите и флукови (искористување на земјиштето се однесува на сечење на шумите)

Зголемувањето на концентрацијата на CO_2 во атмосферата не оди со тој процент (фактички помалку од половина). Сепак, во последните 150 години, содржината на CO_2 во атмосферата е осетно зголемена (глобално затоплување!).

Главните резервоари на јаглерод се: атмосфера, шуми, почви, океан (активни фондови), фосилни горива и карбонати (резервни фондови - неактивни) (Таб. 7 и Таб. 9).

Според просечната денешна вредност на содржината на CO₂ во атмосферата (358-365 ppm), иако таа варира од сезона во сезона и од подрачје до подрачје, во атмосферата се складираат 750 Gt јаглерод во форма на јаглерод диоксид. Вредноста од 610 Gt соодветствува на јаглеродот складиран главно во целулозата, но и другите органски материи на терестричната вегетација.

Таб. 7 Резервоари на јаглерод во биосферата

Резервоари на јаглерод во биосферата	Количество (Gt)
Атмосфера	750
Шуми	610
Почви	1 580
Океан - површински	1 020
Океан - во длабочините	38 000
Фосилни горива	5 000
јаглен	4 000
нафта	500
природен гас	500
Варовници*	100 000 000

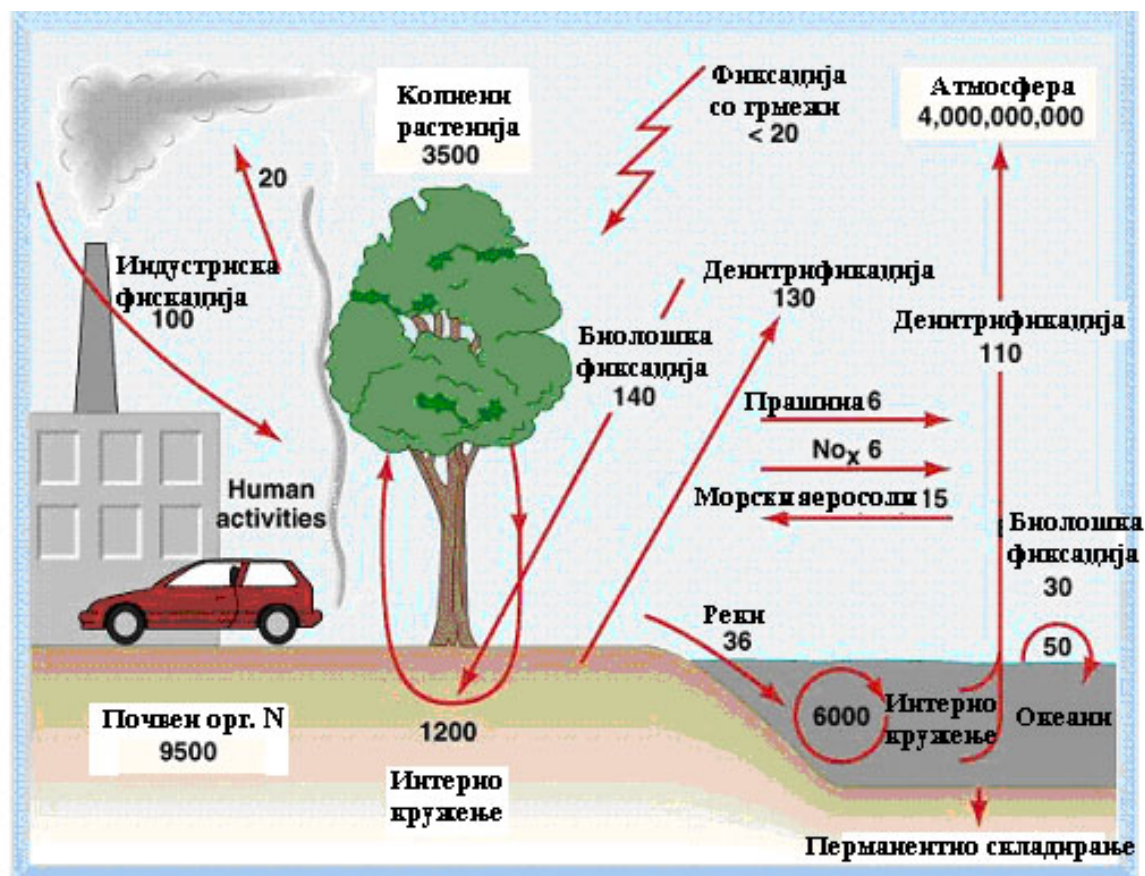
* Не спаѓа целосно во биосферата

3.1.4 Биогеохемиски циклус на азотот

Биогеохемискиот циклус на азотот припаѓа во групата на гасни циклуси. Познавањето на биогеохемискиот циклус на азотот е важно од неколку причини: 1. азотот е есенциелен елемент за сите живи организми, 2. во екосистемите се среќава во мали количества и претставува лимитирачки елемент и 3. привлекува внимание од аспект на загадување на животната средина, особено заради формирањето на кисели дождови.

Основни карактеристики на циклусот на азотот по кои се разликува од циклусот на јаглеродот се:

1. Повеќето организми немаат способност да го асимилираат азотот од атмосферата;
2. Не учествува директно во процесот на дишење и ослободување на енергија; влегува во состав на протеини и нуклеински киселини;
3. Деградацијата на органските соединенија што содржат азот до неоргански форми на азот е процес во повеќе степени во кој учествуваат специјализирани микроорганизми и
4. Поголемиот дел од трансформациите на азотот се одвиваат во почвата, а азотот е достапен за растенијата во растворена форма.



Сл. 26 Биогеохемиски циклус на азотот. Резервите (□) и годишниот проток (→) во 10^9 kg N. Забележете дека индустриската азотофиксација е скоро еднаква со глобалната биолошка азотофиксација (според Sönderlund & Rosswall 1982).

Биогеохемискиот циклус на азотот е претставен со различни форми на азот и нивните меѓусебни односи преку комплексни интеракции. На Сл. 26 е прикажан упростен циклус на азотот што ги илустрира интеракциите на различните форми азот, вклучувајќи: атмосферски азот (N_2), амонјак (NH_3), амониум јон (NH_4^+), нитритен јон (NO_2^-) и нитратен јон (NO_3^-). Секоја од овие форми на азотот има посебни својства во однос на нивното искористување од страна на растенијата и во однос на нивното влијание врз водните ресурси.

Азотот од атмосферата преоѓа во почвата и водните екосистеми со процесот на азотофиксација каде влегува во состав на живите организми и во мртвата органска материја. Дел од азотот во почвата може да премине во водните екосистеми преку истечните води (реки). Азотот од почвата и водата, преку процесот на денитрификација, се враќа во атмосферата. Само мал дел од азотот во океаните се седиментира и се исклучува од глобалниот циклус за неколку милиони години, но тоа количество се надоместува со вулкански ерупции.

Азотот во живите организми учествува со 3 %. Растенијата асимилираат вкупно $8,6 \cdot 10^9$ t азот годишно што претставува помалку од 1 % од активниот фонд на азотот. Според тоа времето за обрт на азотот изнесува повеќе од 100 години.

Се претпоставува дека во надворешната обвивка на Земјата (литосфера и астеносфера) има околу $1,6 \cdot 10^{17}$ t азот (Таб. 8). Овој азот е најинертниот дел кој практично не учествува во биогеохемискиот циклус, а негови делови се јавуваат во вид на амонјак и гасовит азот како резултат на вулкански ерупции.

Резервоарите каде доминантно се складира N_2 (атмосфера, океани) имаат долги ретенциони времиња. Резервоарите каде се складира фиксиран азот (почва, растенија) имаат пократко ретенционно време.

Таб. 8 Количество азот во главните резервоари од биогеохемискиот циклус со нивно процентуално учество и време на обрт

Резервоар	Тони	%	Обрт (години)
Биосфера	2.8×10^{11}	0.0002	14 милиони
<i>копнени растенија</i>	3.5×10^9		50
Хидросфера	2.3×10^{13}	0.014	20000 ^s
Атмосфера	3.86×10^{15}	2.3	10 милиони
Геосфера	1.636×10^{17}	97.7	
<i>надворешна обвивка</i>	$0.13 - 1.4 \times 10^{16}$	0.78-8.4	
<i>почва и седименти</i>	$0.35 - 4.0 \times 10^{15}$	0.21-2.4	200
<i>литосфера и астеносфера*</i>	1.6×10^{17}	95.6	

^s 1000 за растворен N_2

3.1.4.1 Азотофиксација

Азотот во атмосферата учествува со 78 % и е во вид на N_2 . Азотот стигнува до површината на Земјата во форма на амониум и нитрати како резултат на биолошката азотофиксација, атмосферската азотофиксација (атмосферските празнења и врнежи) и загадувањето од индустријата. Од Сл. 26 може да се види дека атмосферските празнења учествуваат со помалку од $20 \cdot 10^9$ kg N, а индустриското загадување дури со $100 \cdot 10^9$ kg N.

Способност за биолошка азотофиксација имаат фотосинтетизирачките, хемосинтетизирачките и хетеротрофните микроорганизми. Некои од нив се слободно-живеачки форми (*Azotobacter*, *Clostridium*, сино-зелени бактерии), а некои се во симбиоза со корењата на легуминозните и некои други растенија (*Rhizobium*). Во симбионтскиот однос, растението ги снабдува азотофиксаторите со гликоза, а добива достапен азот. Биолошката азотофиксација учествува со $140 \cdot 10^9$ kg N во глобалниот циклус.

За фиксација на азотот од атмосферата е неопходна енергија и комплексни хемиски реакции. Со хемиската енергија од еден молекул на гликоза, некои сино-зелени бактерии и други микроорганизми, можат да асимилираат 8 атоми на азот.

3.1.4.2 Трансформација на азотот во почвата

Почвите се резервоар со најголема концентрација и најактивни форми на азот т.е. во почвите се одвиваат најинтензивните процеси од циклусот на азотот (Таб. 9 и Сл. 27 и 28). Скоро целокупниот почвен азот се наоѓа во состав на органските материи. Азотот во почвата доаѓа на различни начини: азотофиксација, атмосферска депозиција, мртви делови или цели растенија (опад и отпад), екскременти од животинските организми, а во предвид треба да се земе и активноста на човекот во земјоделието заради употребата на азотни ѓубрива. Во шумските екосистеми, азотот доаѓа во форма на нитрати, амонјак или органски

азот со стеблениот оттек и со врнежите од крошните на дрвјата. Иако има многу извори на азот во почвата, тој е обично еден од најлимитирачките елементи.

Таб. 9 Проценка на содржината на јаглерод и азот во почвените профили до 1 m

Зона	Површина (x 10 ¹² m ²)	Јаглерод (x 10 ⁹ t)	Азот (x10 ⁶ t)
Мраз	2,071	0	0
Тундра	4,228	61,5	3664,6
Бореални шуми	18,679	285,6	18697,3
Умерено студени региони	25,083	313,5	20309,7
Умерено топла зона	27,919	222,7	15430,1
Субтропска зона	16,569	134,1	17335,5
Тропска зона	36,808	255,2	20006,6
Вкупно	131,336	1272,4	95433,7

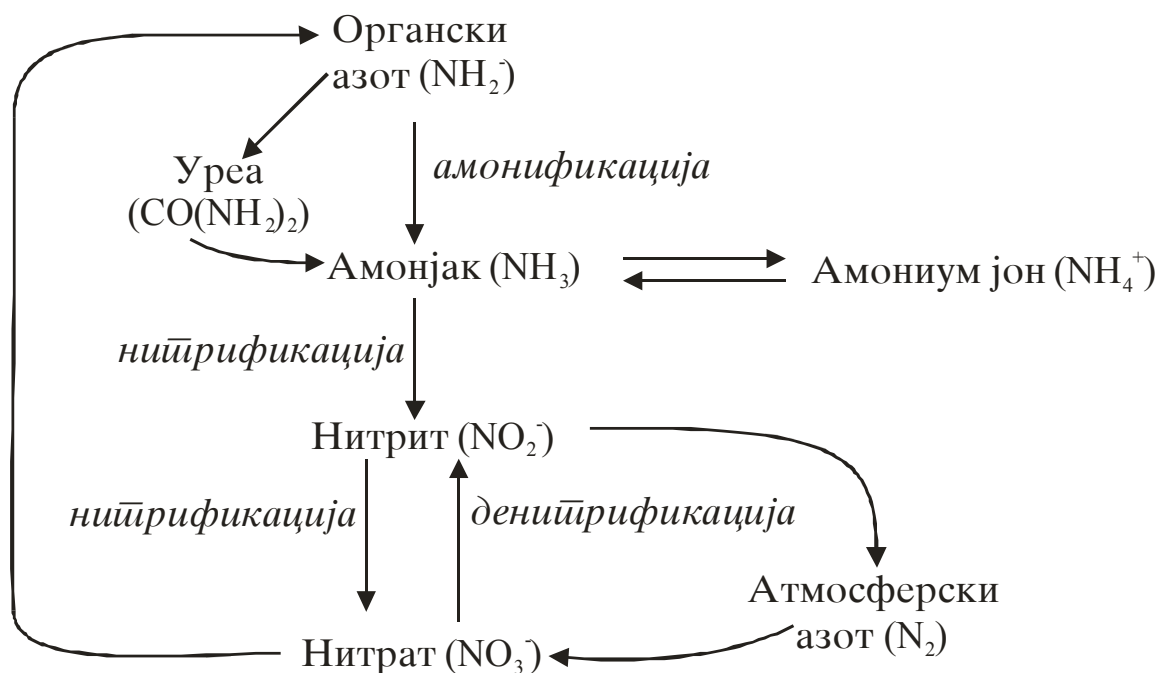
Амонификацијата т.е. создавањето на амонјак се одвива во сите живи организми при хидролизата на протеините и оксидација на аминокиселините. Најзначаен извор на амонјак се органските материи кои што деградираат (минерализираат) на површината на почвата (шумска простирка, баз во ливадски екосистеми, тиња во водни екосистеми). Животинските организми азотот може да го ослободуваат во вид на уреа, која лесно може да премине во амонјак.

Таб. 10 Просечно време на обрт (години) за шумска простирка и нејзините минерални материи според шумски региони (во климакс).

Шуми	Органска материја	Просечно време на обрт (години)				
		N	K	Ca	Mg	P
Бореална зимзелена	353	230,0	94,0	149,0	455,0	324,0
Бореална листопадна	26	27,1	10,0	13,8	14,2	15,2
Умерена иглолисна	17	17,9	2,2	5,9	12,9	15,3
Умерена листопадна	4	5,5	1,3	3,0	3,4	5,8
Медитеранска	3	3,6	0,2	3,8	2,2	0,9
Просечно	12	34,1	13,0	21,8	61,4	46,0

Кога станува збор за деградација на органска материја, не треба да се забораваат и органските материи кои се продукт на човековите активности (арско ѓубриво, септички јами, тиња од пречистителните станици) кои се разградуваат и имаат улога во загадување на водните ресурси. Ослободениот амонјак од процесот на деградација може лесно да премине во нитрат или амониум јон (растенијата може да ги примаат и двете форми).

Сите екосистеми го штедат азотот, особено доколку го има во мали количества. Во такви екосистеми, деградацијата се одвива бавно т.е. обртот е подолг (Таб. 10).



Сл. 27 Шематски приказ на трансформација на азотот во почвата

Процесот на трансформација на амониумот до нитрат се нарекува нитрификација. Тоа е двостепен процес: 1. претворба на амониумот до нитрити (*Nitrosomonas*) и 2. претворба на нитритите до нитрати (*Nitrobacter*). Оксидирањето на амонијакот до нитрити, а потоа до нитрати е процес од кој се ослободува енергија. Создадениот нитрат брзо се асимилира од страна на растенијата и кратко се задржува во почвата. Затоа, во почвите го има малку, но во водните екосистеми тоа е доминантната форма на азот.

Се проценува дека 1-3 % од вкупниот органски азот во почвите од умерената зона се минерализира во тек на една година. Тоа значи дека ретенционото време на азотот во почвите изнесува 30 до 70 години. Пресметано е дека во некои почви се минерализира вкупно 290 до 1490 kg·ha⁻¹ за една година. Ова количество е достапно за растенијата, но може да биде и исплакнето, еродирано, вратено во атмосферата преку денитрификација итн. На глобално ниво, тоа количество изнесува 1,2·10⁹ t годишно.



Сл. 28 Сливовит приказ на трансформација на азотот во почвата

Достапност и загуба на азотот за растенијата: Сите растенија (со исклучок на легуминозните), за задоволување на своите потреби за азот, зависат од почвените слободно-живеачки бактерии кои вршат азотофиксација или од азотот што се ослободува од деградацијата на мртвата органска материја. Најголем дел од растенијата можат да го користат само азотот во форма на амониум јон (NH_4^+) и нитратен јон (NO_3^-) (Сл. 28). Амониум јонот брзо се трансформира во нитритни и нитратни форми со оксидациското дејство на нитрификациските бактерии (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*).

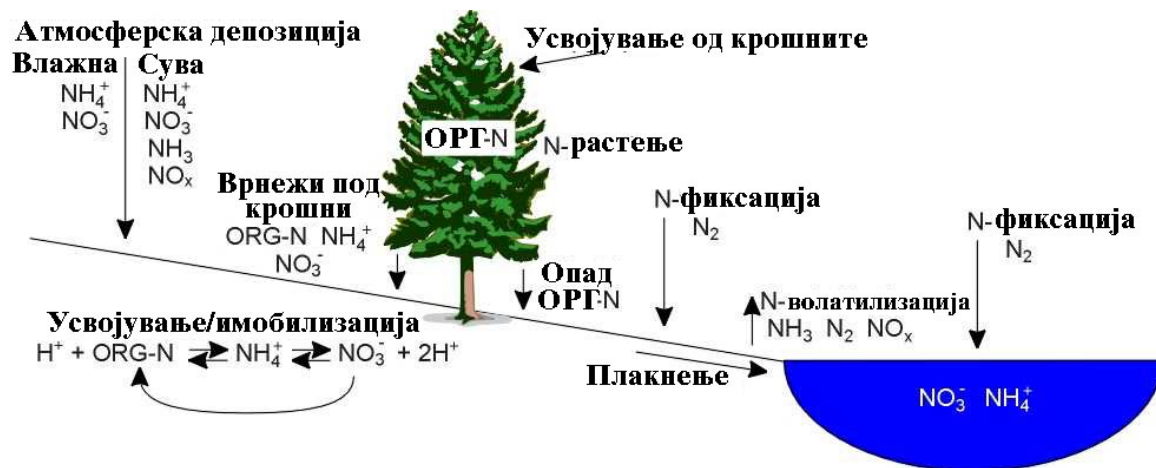
Азотот може да стане недостапен за растенијата на неколку начини (Сл. 27).

1. Преку процесот на денитрификација, што е значителен проблем во влажни или компактни почви. Во ваквите почви има малку кислород, па денитрификациските бактерии (на пример *Pseudomonas denitrificans*) ги редуцираат нитритите и нитратите и испуштаат N_2 или N_2O назад во атмосферата ($NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO$). Денитрификацијата може да биде и резултат на некои хемиски реакции: реакција на уреа и азотна киселина ($HNO_3 + CO(NH_2)_2 \rightarrow CO_2 + 3H_2O + 2N_2$).
2. Загуба на азотот заради движењето на водата низ почвата и ерозија
 - а. Губење на азотот преку плакнење во почвата што е особено значајно за нитратниот азот. Нитратниот азот е лесно растворлив во вода и се движи заедно со водата низ почвените слоеви. Кога растворениот нитратен азот ќе ја помине кореновата зона тогаш тој станува недостапен за растенијата во даден екосистем. Обилните дождови се значаен фактор за загуба на нитратниот азот, не само преку негово плакнење, туку и со создавањето на влажни услови во почвата што ја стимулира денитрификацијата. Евапорацијата (испарувањето) на водата делува во спротивен

порец со создавање на пори во површинските слоеви на почвата кои се слободни за кислородот.

- б. Како посебен начин на загуба на азотот може да се издвои ерозијата
3. Површинска волатилизација т.е. претворање во гасна фаза. Загубата настанува кога амонјакот, обично од уреа, испарува и се губи во атмосферата. Површинската волатилизација е проблем во области со високи температури и почви со висока рН вредност.
4. Пожари со кои во атмосферата се враќа азотот од мртвата органска материја, но и од живите организми.

На Сл. 29 е прикажано кружењето на азотот во шумските екосистеми.



Сл. 29 Интерно кружење на азотот во шумски екосистем

Движење на азотот низ почвата: Нитратниот јон е најлесно водорастворлив од сите форми на азотот, но и најмалку поврзан со почвените честички. Затоа, тој е во многу тесна врска со хидролошкиот циклус (се движи заедно со водата). Врнежите, евапорацијата и транспирацијата имаат влијание врз движењето на нитратниот азот во површинските слоеви на почвата. Врнежите кои стигнуваат до почвата го носат со себе нитратниот азот во подлабоките слоеви. Колку е поголемо количеството на врнежите, толку подлабоко во почвата стигнува нитратниот азот. Текстурата и структурата на почвата, а со тоа и водопропустливоста, имаат влијание врз плакнењето и движењето на азотот во почвата. Водата со себе го носи нитратниот азот под кореновата зона и во водопропустливи почви може за брзо време да доведе до азотно оптоварување на подземните води. За разлика од нитратот, амониум јонот силно се врзува за почвените честички и затоа се смета дека е имобилизиран во повеќето типови почви. Сепак, амониум јонот може да се движи заедно со водата во почви со висока содржина на песок и ниска содржина на органски материи. Површинската евапорација и транспирација го помагаат движењето на нитратите во спротивна насока: од подлабоките почвени слоеви кон површината на почвата. Така, нитратниот азот под кореновата зона може повторно да стане достапен за растенијата како резултат на асцендентното капиларно движење на водата. Ова движење е стимулирано од намалувањето на водата во почвата заради нејзиното искористување од страна на растенијата.

Движење на азотот кон површинските води: Површинскиот оттек придонесува за движење на некои форми на азотот во површинските води. Површинскиот оттек се јавува кога врнежите го надминуваат инфилтрацискиот капацитет на почвената површина. Површинскиот оттек од земјоделски површини и од субурбаните сливни подрачја со себе носи седименти, како и минерални материи (нитрати, амониум). Бидејќи амониум јонот е силно врзан за почвените честички тој лесно се движи со еродираната почва и може да предизвика оптоварување на површинските истечни води, но не и на подземните води што е случај со нитратите. Оваа појава е многу важна за земјоделието заради што се преземаат превентивни мерки за спречување на ерозијата (системи за дренирање, сорти со добро развиен коренов систем).

Може да се заклучи дека нитратниот азот е одговорен за првично загадување на подземните води, а амониумот за површинските води. Сепак, треба да се земат предвид врските кои постојат помеѓу површинските и подземните води што доведува до понатамошна распределба на нитратите и амониумовиот азот. На крај, не треба да се заборават проблемите со водата за пиење заради висока концентрација на нитратите.

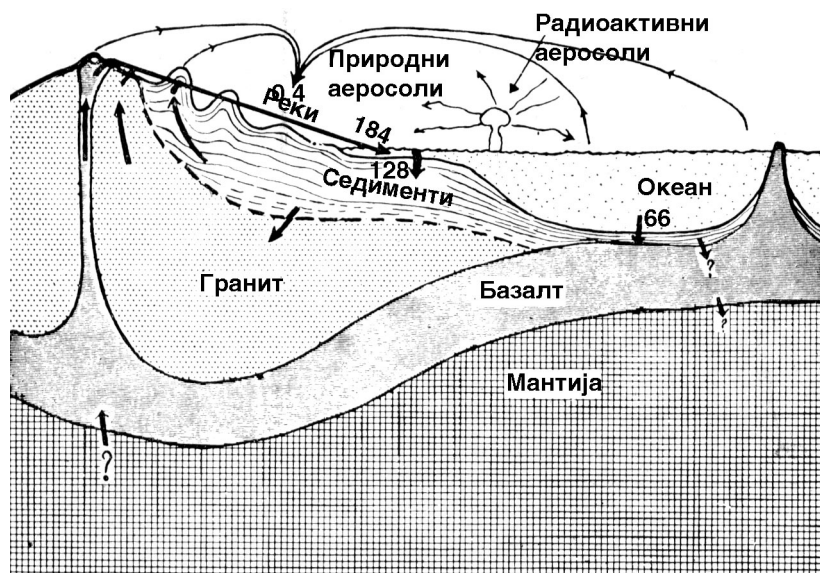
3.1.4.3 Извори на загадување со азот

Азотот во атмосферата потекнува од природни, но и од антропогени извори. Најважни соединенија на азотот, кои претставуваат загадувачки материи се азотните оксиди (NO_x). Тие се продукт на издувни гасови од сообраќајот и согорување во различни индустрии. Актуелен проблем е и закиселувањето на почвите кое произлегува од реакцијата на NO_2 во атмосферата со што се добива HNO_3 која стигнува до почвите.

3.2 Седиментациони циклуси

Седиментационите циклуси се однесуваат на оние елементи (а тие се во поголем број) коишто се посилно врзани за литосферата. Нивните кружења влегуваат во општиот седиментационен циклус. Циркулацијата во тој циклус оди по пат на ерозија, образување талог, аеросоли, вулканска активност, но исто така и со биолошки пренос.

На Сл. 30 јасно се гледа дека општиот правец на седиментациониот циклус е "надолу". Денес многу малку се знае за потокот на материја во длабочината на Земјата.



Сл. 30 Шема на седиментационен циклус.

3.2.1 Биогеохемиски циклус на фосфорот

Биогеохемискиот циклус на фосфорот е седиментационен циклус, но до некаде сличен со циклусот на азотот. Фосфорот е важен и неопходен елемент на протоплазмата кој кружи во вид на фосфати кои повторно може да бидат искористени од страна на растенијата. Познавањето на циклусот на фосфорот е многу важно и за разбирање на процесот на еутрофикација.

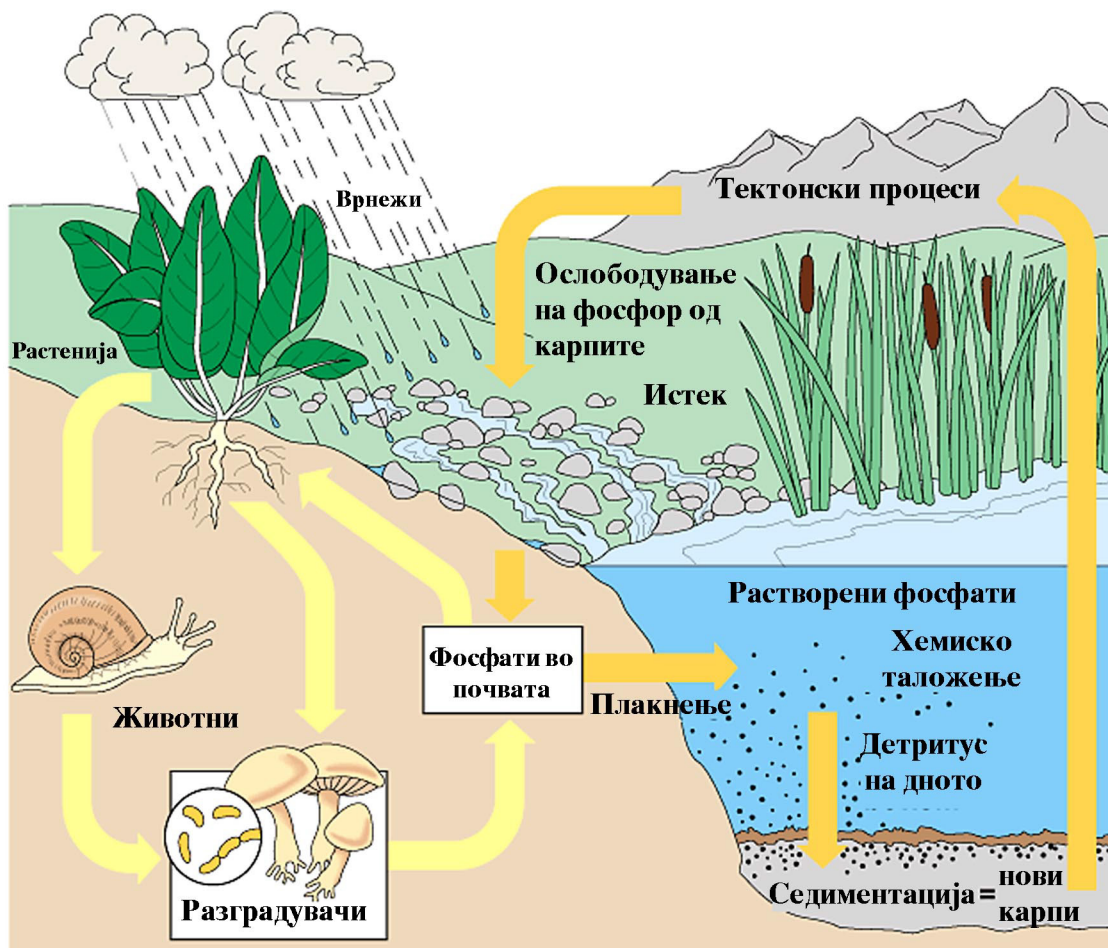
На Сл. 31 и 32 е прикажан циклусот на фосфорот. Главен резервоар претставуваат седиментите (наслојките, главно од апатит) кои се формирани низ геолошките епохи, за разлика од азотот каде главен резервоар е атмосферата. Овие наслаги еродираат и ги ослободуваат фосфатите во екосистемите. Голем дел од овие фосфати стигнуваат до водните екосистеми кои се со различна длабочина, каде се таложат. Во денешно време, механизмите (геолошки процеси) за враќање на фосфорот во циклусот се неефикасни. Затоа, фосфорот се смета за глобално лимитирачки елемент.

Најголем резервоар на фосфорот е литосферата ($20 \cdot 10^{15}$ t), но само $20 \cdot 10^9$ t може да бидат вклучени во циклусот на фосфорот (Таб. 11). Според, тоа, како најголеми "активни" резервоари на фосфорот може да се сметаат океаните и почвата со по $100 \cdot 10^9$ t. Како што беше кажано, најважен минерал на фосфорот е апатитот: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$.

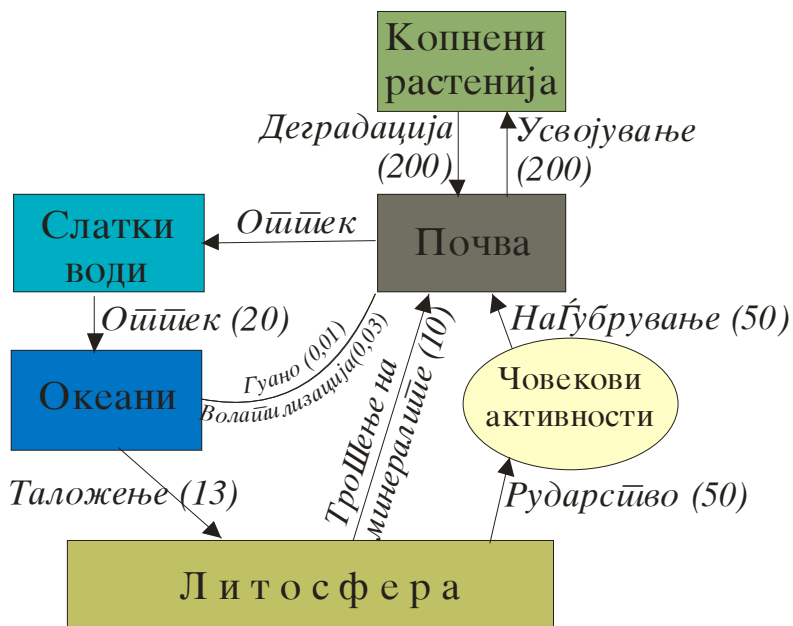
Таб. 11 Резервоари на фосфорот (во милиони тони)

Резервоар	Количество
Литосфера	20 000 000 000*
Океани	100 000
Слатки води	100
Копнени растенија	3 000
Почва	100 000

*Околу 20 000 милиони тони може да се вклучат во циклусот



Сл. 31 Биогеохемики циклус на фосфорот



Сл. 32 Шема за кружење на фосфорот со прикажан проток (во милиони тони)

Најзначаен природен процес кој го враќа фосфорот во неговиот биогеохемиски циклус е трошењето на минералните наслаги ($10 \cdot 10^6$ t годишно). Овие минерални наслаги стигнуваат на површината на копното преку долги геотектонски процеси и со вулкански ерупции. Познат е процесот на враќање на фосфорот со морските птици преку исхраната со риби од морињата. Овој процес бил многу поактивен во минатите геолошки епохи, а денеска има мало значење за кружењето на фосфорот и учествува со само $0,01 \cdot 10^6$ t годишно (Сл. 33). Враќањето на фосфатите преку волатилизација од светските океани изнесува $0,03 \cdot 10^6$ t годишно. Интензивното рибарство отстранува уште $0,06 \cdot 10^6$ t годишно фосфор од морињата и океаните. Овие количества се занемарливи во споредба со количеството фосфор што се таложи во океаните, а изнесува околу $13 \cdot 10^6$ t годишно. Човекот со своите активности во рударството придонесува за враќање на уште $50 \cdot 10^6$ t годишно. Фосфорот кој го ископува човекот во најголем дел потекнува од наталоженото гуано од пред 10-15 милиони години.



Сл. 33 Враќање на фосфорот од океаните со гуаното на морските птици

Растенијата го усвојуваат фосфорот со кореновите системи и го вградуваат во некои сложени органски молекули (РНК, ДНК, фосфолипидите на плазмалемата), како и во енергетски соединенија (ADP, ATP, NADP). Преку синџирите на исхрана, фосфорот се пренесува до сите членови на биоценозата. Од прикажаната шема на Сл. 32 може да се забележи дека најголем дел од фосфорот кружи помеѓу копнените растенија и почвата преку мртвата органска материја (околу $200 \cdot 10^6$ t годишно). Фосфорот од мртвата органска материја се минерализира и стигнува до почвата, а растенијата повторно го користат со голема ефикасност. Животинските организми го ослободуваат фосфорот со екскрементите во вид на фосфати.

Човековите активности придонесуваат за пет пати побрзо пренесување на фосфорот од матичните карпи кон растенијата во однос на природното трошење на минералите. Во земјоделството се користат големи количества фосфатни ѓубрива кои стигнуваат до површинските и истечните води. Ваквото пореметување на биогеохемискиот циклус на фосфорот се одразува негативно во однос на квалитетот на водите со процесот на еутрофикација.

Растенијата го усвојуваат фосфорот во вид на фосфати. Фосфатите на натриум и калциум тешко се раствораат во вода. Во алкална средина, фосфатниот јон (PO_4^{3-}) лесно се соединува со натриумот и калциумот и гради нерастворливи соединенија. Но, во кисела средина фосфатот се трансформира во лесно

растворливата фосфорна киселина. Во средини со рН блиска на неутралната, фосфатниот јон образува соединенија кои се со растворливост помеѓу онаа на фосфорната киселина и нерастворливите фосфати на калциум:

	----- Зголемување на киселоста ----->						
Јонска форма	PO_4^{3-}	$\rightarrow$	HPO_4^{2-}	$\rightarrow$	H_2PO_4^-	$\rightarrow$	H_3PO_4
	↓		↓		↓		
Сол	Na_3PO_4		CaHPO_4		NaH_2PO_4		/
Растворливост	Малку растворлива		нерастворлива		растворлива		Лесно растворлива

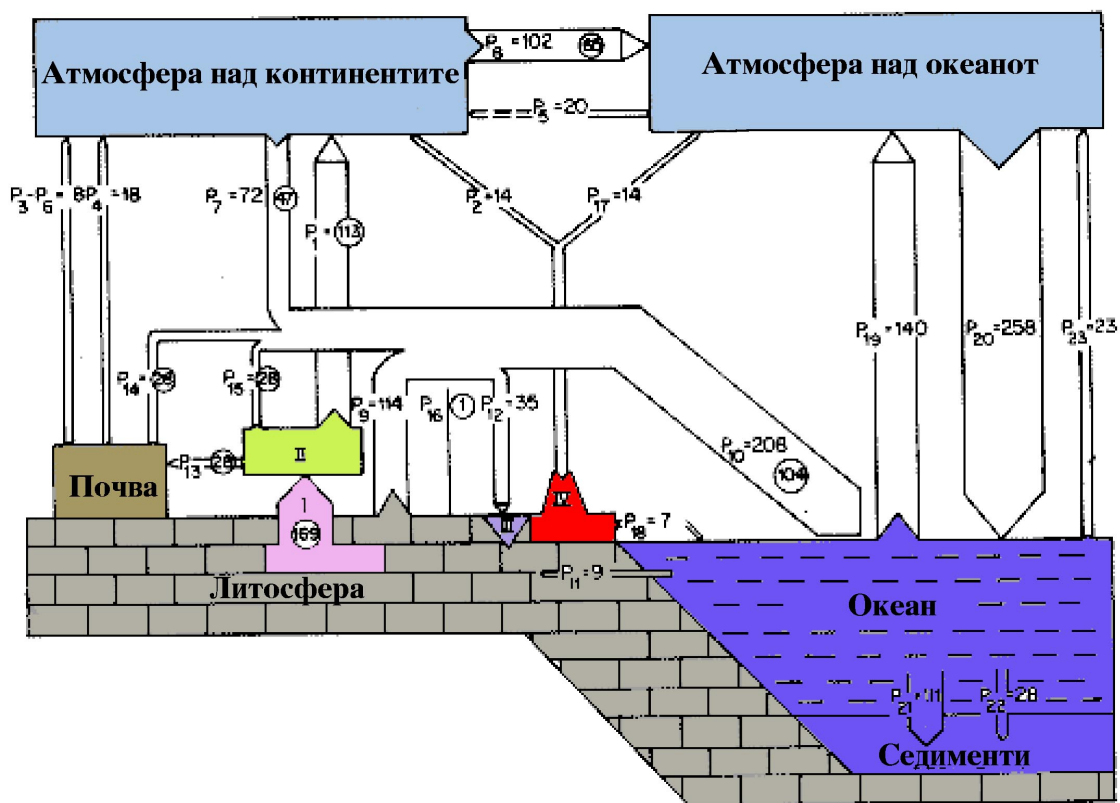
Во лабораториски услови, киселата средина ја зголемува растворливоста на фосфатите, но во природни услови, високата киселост ја снижува достапноста на фосфорот како последица на реакциите на фосфорот со други минерални материи. Во кисела средина, алуминиумот, железото и манганот стануваат растворливи и образуваат комплексни соединенија кои го врзуваат фосфорот и го исклучуваат од неговиот циклус. Тоа е процес кој се одвива во студени водни станишта (тресетишта, мочуришта) што условува нивна ниска продуктивност. Фосфорот е најлесно достапен за растенијата во слабо кисела средина. Затоа, во земјоделието се практикува неутрализација на киселите почви со CaCO_3 .

3.2.2 Биогеохемиски циклус на сулфурот

Во последните неколку децении се направени бројни обиди за да се проценат резервоарите на сулфур, како и природните и антропогени извори на сулфур со цел да се утврди нарушувањето на природната рамнотежа. Ваквите истражувања покажуваат дека антропогените емисии се големи и сериозно интерферираат со циклусот на сулфурот што има влијание и врз циклусите на јаглерод, азот и фосфор.

Како и во случај со азотот и фосфорот, основа форма на сулфурот која е достапна за растенијата е сулфатот. Покрај сулфатите, во кружењето на сулфурот учествуваат и некои други форми (S^{2-} , SO_3^{2-} , S , SO_2 , SO_3).

Сулфурот претставува есенциелен елемент за живите организми. Тој во живата материја е вграден во протеините, поточно во аминокиселините метионин, цистеин и цистин. Сепак, екосистемите немаат многу голема потреба од сулфур, така што тој ретко се јавува како лимитирачки фактор за разлика од азотот и фосфорот.



Сл. 34 Биогеохемиски циклус на сулфурот. Антропогениот проток е ставен во кругови (според Ivanov & Freney 1983)

- I - изнес на минерали кои содржат сулфур;
- II - индустриски третман на сировини кои содржат сулфур;
- III - копнени води;
- IV - вулкани.

Протоци (Tg S)

P_1 - согорување на горива и топење на метали (113); P_2 и P_{17} - вулканска емисија (28); P_3 - еолска прашина (20); P_4 - биогени емисии од копното (16); P_5 - транспорт од морето кон копното преку воздухот; P_6 - депозиција на крупна прашина; P_7 - врнежи (51) и сува депозиција над копното (16); P_8 - транспорт од копното кон морето преку воздухот; P_9 - трошење на минералите; P_{10} - површински истек кон океаните; P_{11} - транспорт со подземните води кон океаните; P_{12} - површински истек кон копнените води; P_{13} - внес со земјоделски ѓубрива; P_{14} - плакнење на ѓубривата; P_{15} - емисија од хемиска индустрија; P_{16} - емисија со отпадна вода од рударството; P_{18} - абразија на крајбрежјето; P_{19} - аеросол од океанот (140); P_{20} - врнежи (230) и сува депозиција над океаните (17); P_{21} - седиментација на редуцираниот сулфур; P_{22} - седиментација на сулфатите; P_{23} - биогена емисија од океаните (20).

На Таб. 12 е прикажана информацијата за распределбата на сулфур помеѓу различните сфери. Најголем дел од сулфурот е складиран во литосферата ($24 \cdot 10^9$ Tg S) и во хидросферата ($1,3 \cdot 10^9$ Tg S). Значителни количества се наоѓаат и во педосферата, а многу помали во атмосферата (4,6 Tg S).

Најголем дел од сулфурот во литосферата се наоѓа во карпите на сегашните континенти и субконтиненти ($2,2 \cdot 10^9$ Tg S), а најважни соединенија се сулфидите и сулфатите. Концентрацијата на сулфур во овие карпи се движи од 0,04 до 0,4 %. Најчести минерали на сулфурот се пирит (FeS), халкопирит (CuFeS_2), сфалерит (ZnS), галенит (PbS), цинабарит (HgS), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), анхидрит (CaSO_4), барит (BaSO_4), халкантит ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), епсомит ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) итн.

Најголем дел од сулфурот на површината на копното се наоѓа во органските материи во почвата и во живите растенија ($1,2 \cdot 10^4$ Tg S) за разлика од океаните каде сулфурот е главно во неоргански сулфат. Во атмосферата, доминантна форма на сулфурот е карбонил сулфидот. Најголем годишен проток постои помеѓу атмосферата и океанот со врнежите и сувата депозиција (258 Tg S); копното и океанот со површинскиот истек (208 Tg S); океанот и атмосферата со аеросолите (140 Tg S); литосферата и хидросферата со трошење на минералите (114 Tg S); литосферата и атмосферата со искористување на горивата и топилниците (113 Tg S).

Циклусот на сулфурот е прикажан на Сл. 34 и 35. Сулфурот до терестричните екосистеми доаѓа со врнежите, сувата депозиција и трошењето на минералите (пирит, халкопирит), како и од антропогените извори (сообраќај, топилници итн.). Најголем дел од сулфурот во врнежите е во форма на сулфат.

Дел од сулфатите можат да бидат директно усвоени од надземниот дел на растенијата, а поголем дел преку кореновите системи. Преку синцирите на исхрана, сулфурот се пренесува до консументите. Сулфурот во почвата се враќа преку опадот, изумрените организми и екскрементите и подложи на процесот на деградација под дејство на редуцентите чии продукти се H_2S и SO_4^{2-} . Се смета дека околу 99 % од сулфурот во шумските екосистеми се наоѓа во почвата, а само 1 % во живата биомаса.

Во шумскиот екосистем во Хабард Брук, вегетацијата го усвојувала сулфурот со брзина од $28,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$. Најголем дел од потребите на вегетацијата во овој екосистем биле задоволени со внесот со врнежи (66 %), а само 3 % од сулфурот потекнувал од трошењето на минералите. Затоа, може да се каже дека кружењето на сулфурот во овој екосистем е определено од метеоролошкиот внес што важи и за останатите природни екосистеми. Покрај врнежите, за внесот на сулфурот е важна и сувата атмосферска депозиција. Но, потребите на екосистемите за сулфур не може точно да се определат само преку познавање на внесот со врнежите, сувата депозиција и трошењето на минералите. Се знае, дека растенијата може да го искористуваат сулфурниот диоксид (SO_2) во гасовита форма директно од атмосферата. Внесот на сулфурот во гасовита форма е веројатно двапати поголем од сувата атмосферска депозиција. Значи, 66 % од внесот на сулфурот доаѓа преку врнежите, 3 % со почвообразувањето, а остатокот преку усвојувањето на гасовитиот сулфур и со сувата депозиција.

Таб. 12 Главни резервоари на сулфурот (Tg S)

3.2.2.1.1 АТМОСФЕРА	
Тропосфера	
Сульфати во аеросоли	0,7
SO ₂	0,5
Карбонил сулфид	2,3
Други неоксидирани гасови на сулфур	0,8
Вкупно во тропосферата	4,3
Стратосфера	0,5
	4,8
ХИДРОСФЕРА	
Океани	1,3 · 10⁹
	1,3 · 10 ⁹
ЛИТОСФЕРА	
Континентална и субконтинентална	
Седименти	5,2 · 10 ⁹
Гранит	7,8 · 10 ⁹
Базалт	8,8 · 10 ⁹
Океанска	
Седиментиран (Слој I)	0,3 · 10 ⁹
Базалти (толеит и оливин) (Слој II)	0,6 · 10 ⁹
(Слој III)	1,6 · 10 ⁹
	24,3 · 10 ⁹
ПЕДОСФЕРА	
Почва	2,6 · 10⁵
Мртва органска материја	1,1 · 10⁴
Копнени растенија	760
	2,7 · 10 ⁵

Во почвата се одвива интензивно кружење на сулфурот преку неговите претворби од оксидирани во редуцирани форми под дејство на некои специјализирани бактерии. Ова "**централно тркало**" овозможува размена на сулфурот помеѓу достапните форми (сулфати) и фондот на FeS од почвата и во седиментите на водните екосистеми. Во "централното тркало" се одвиваат следните процеси:

- некои бактерии ја спроведуваат трансформацијата $H_2S \rightarrow S \rightarrow SO_4^{2-}$ (безбојни, зелени и пурпурни сулфурни бактерии),
- анаеробно редуцирање на сулфатите: $SO_4^{2-} \rightarrow H_2S$ (*Desulfovibrio*) и
- аеробно оксидирање на сулфатите: $H_2S \rightarrow SO_4^{2-}$ (некои сулфурни бактерии)

- во процесот на деградација, органскиот S преминува во сулфати и H_2S (аеробни и анаеробни хетеротрофни бактерии, соодветно). Ова е значајно за длабоките зони на водните екосистеми, каде во анаеробни услови се одвива ослободување на органскиот S во вид на гасовит H_2S кон површината и атмосферата (микробиолошка регенерација на сулфурот).



Сл. 35 Биогеохемиски циклус на сулфурот: "централно тркало" во почвата

Сулфурот од копнените екосистеми преминува во океаните со површински истек, подземните води и абразија на крајбрежјето на океаните. Во шумскиот екосистем во Хабард Брук, дури 94 % од годишниот внес на сулфурот завршувал во површинските истечни води, а само 6 % се вградувал во биомасата.

Процесите на трансформација на сулфурот во водите се слични на почвените процеси со тоа што доаѓа до таложење на сулфурот (повеќе редуцирани форми на сулфур, а помалку на сулфатите). Дел од исталожениот сулфур се враќа во циклусот со "микробиолошката регенерација", а дел се исклучува за долг временски период. Сулфурот се надокнадува со вулканските ерупции и трошење на минералите од матичните стени.

Сулфурот во атмосферата се наоѓа во вид на SO_2 . Неговото присуство во атмосферата се зголемува заради човековите активности. Денеска, антропогениот внес на сулфур во атмосферата го надминува природниот што предизвикува сериозни промени на животната средина (закиселување).

3.2.3 Кружење на катјоните (Na, K, Ca, Mg)

Na, K, Ca и Mg не се врзани со органските соединенија со хемиски врски, иако ги има во значителни количества во интра и интерцелуларните течности во вид на позитивно наелектризираните јони - катјони. Некои од нив се потребни во поголеми количества: натриум и калиум за одржување на наелектризираноста на клетките, магнезиум за хлорофилот, калциум за черупките на различни

животински организми. Кругењето на катјоните во екосистемите е слабо поврзано со асимилацијата и ослободувањето на енергијата, но тие се многу важни за функционирањето на клетките.

Катјоните во екосистемите покажуваат висока мобилност. Во екосистемите тие доаѓаат со врнежите и сувата атмосферска депозиција во вид на прашина и органски честички и со трошење на минералите од матичните стени (Сл. 36). Трошењето на минералите е најзначајниот извор на достапни количества на овие елементи во екосистемите.



Сл. 36 Општа шема за кружење на катјоните

Кругењето на катјоните е изучувано во некои мали речни сливови каде се мери внесот со врнежите и изнесот во истечните води (види *хидролошки циклус*). Буџетот на катјоните во сливните подрачја зависи од количеството врнежи, рН реакцијата на почвата и содржината на катјоните во дождовната вода и во почвата. Од места каде во почвата или во водата има многу натриум се пренесуваат и поголеми количества на натриум во истечните води. Слична појава е забележена и за другите катјони (Таб. 13).

Таб. 13 Карактеристики на кружењето на калциум, калиум и магнезиум во шумскиот екосистем на Хабард Брук, САД.

Катјон	Годишно количество ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			
	Внес со врнежи	Плаќење (до реките)	Чиста загуба	Усвојување од растенијата
Калциум	2-8	8-26	3-18	25-201
Калиум	1-8	2-13	1-5	5-99
Магнезиум	1-11	3-13	2-4	2-24

Како и да е, за сите овие четири елементи е забележано нето губење од екосистемите (количествата во подпочвената вода и површинскиот истек го надминуваат количеството кое доаѓа со атмосферската депозиција (врнежи+сува депозиција).

Усвојувањето на катјоните од страна на растенијата зависи од нивната достапност во почвата т.е. од нивната општа подвижност во екосистемот. Најбрзо е кружењето на калиумот, а најбавно на магнезиумот (Таб. 14). На годишно ниво, усвојувањето на катјоните од страна на растенијата е еднакво или за неколку пати (и до 10 пати) ја надминува загубата со плакнење и пренесување во истечните води. Според тоа, ретенционото време на катјоните во екосистемите изнесува 1-10 години. Иако катјоните се многу подвижни во почвата, тие сепак имаат подолго ретенционно време како резултат на нивното брзо и ефикасно усвојување од страна на растенијата со што се намалува плакнењето со почвените води и површинскиот истек. Улогата на растителноста може многу лесно да се покаже со експериментите во шумски екосистеми каде е отстранета целокупната вегетација. Во ваквите експерименти е утврдено дека се зголемува количеството вода во потоците како резултат на минималната интерцепција, а загубата на катјоните се зголемила 3-20 пати во споредба со ненарушени шумски екосистеми.

Таб. 14 Просечно време на обрт (години) за шумска простирка и нејзините минерални материи според шумски региони (во климакс).

Шуми	Просечно време на обрт (години)		
	К	Са	Mg
Бореална зимзелена	94.0	149.0	455.0
Бореална листопадна	10.0	13.8	14.2
Умерена иглолисна	2.2	5.9	12.9
Умерена листопадна	1.3	3.0	3.4
Медитеранска	0.2	3.8	2.2
Просечно	13.0	21.8	61.4

Катјоните кои се вградуваат во биомасата на повеќегодишните растенија се исклучуваат од процесот на кружење за подолг временски период. Друг резервоар на катјоните може да се смета хумусот во почвите кој има способност да ги врзува катјоните.

3.2.3.1 Кружење на калциумот (Са) во шумскиот екосистем во Хабард Брук

Врз база на 11-годишни истражувања, во шумскиот екосистем во Хабард Брук се добиени вредностите за резервите и протоците на калциумот. Внесот во екосистемот е сочинет од врнежите и сувата депозиција во екосистемот ($2,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$), а многу поголемо количество се добива како резултат на трошење на минералите ($21,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$).

Годишните потреби на живите организми изнесуваат околу $9,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$. Од тоа, $5,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ се имобилизираат во надземната и $2,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ во подземната биомаса, а $1,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ влегуваат во годишниот опад. Од овие податоци се гледа дека живите организми усвојуваат околу 40% од внесот на калциум во екосистемот. Слични вредности се добиени и за калиумот со што се

потенцира нивното значење за растителните организми како есенциелни елементи.

Изнесот од екосистемот е претставен со $13,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ во перколационата вода во почвата. Најголем дел (98,6 %) од калциумот во изнесот е растворена форма.

Од овие податоци се гледа дека калциумот се губи од екосистемот со брзина од $11,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$:

$$\text{внес со депозиција} - \text{изнес} = (2,2 - 13,9) \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1} = -11,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$$

Но, оваа загуба е само 2 % од вкупниот достапен калциум во екосистемот ($510 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Најголем дел од калциумот се наоѓа во почвата (99%), а само 0,5 % е врзан во вегетацијата. Сепак, околу 12 % од достапниот калциум во почвата се вклучува во кружењето во системот почва-растение. Тоа значи дека ретенционото време на калциумот во достапниот фонд на почвата изнесува околу 8 години. Интересно е дека достапниот фонд во почвата е формиран најмногу со минерализацијата од мртвата органска материја (до 58%), по што следуваат трошењето на минералите (28 %), плакнењето на крошните (9%), ексудатите од корењата (5%) и преципитацијата (3%).

Иако кружењето на калциумот во екосистемот е брзо при што се создаваат значителни количества достапни форми, сепак, шумскиот екосистем има минимални загуби. Од тоа може да се заклучи дека шумските екосистеми се многу ефикасни во кружењето и задржувањето на калциумот.

3.2.3.2 Кружење на натриумот (Na) во шумскиот екосистем во Хабард Брук

Внесот на натриум во екосистемот е претставен со депозицијата (врнежи и сува депозиција) од $1,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ (22%) и трошењето на минералите ($5,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ - 78%). Како и во случајот со калциум, но и со магнезиум и калиум, трошењето на минералите е најзначаен внес на натриум во екосистемот.

Од ова количество, само 2 % се вградува во биомасата, а над 95 % се губи со површинските и подземните води во растворена форма. Во системот почва-растение годишно кружат околу $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$. Големата загуба од екосистемот го покажува малото значење на натриумот за вегетацијата т.е. растителните организми.

3.2.4 Кружење на микроелементите

Металите во трагови се важни компоненти на биогеохемијата на шумите и водните екосистеми. Многу метали во трагови претставуваат микронутриенти за растителните и животинските организми (Сл. 38). При ниски концентрации на некои метали или при нивна мала достапност може да се појави недостаток кај живите организми. Од друга страна, антропогените активности (рударство, согорување на фосилни горива, индустриски процеси) силно влијаат врз биогеохемиските циклуси на елементите во трагови т.е. ја зголемуваат нивната достапност за организмите. При зголемени концентрации на елементите во трагови и некои други биогени елементи (B, N, F, S, Cr, Co, Cu, Zn ...), тие може да станат токсични за живите организми. Затоа, постои голем интерес за изу-

чување на патиштата на овие елементи во нивните биогеохемиски циклуси во шумските и водните екосистеми.

Група		Метали										Неметали					Інертні газови	
IA	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA		
H												B	C	N	O	F	He	
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B		IB	IIB								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
												Метали					Неметали	
		 Токсичні										 Нутрієнти						

Сл. 38. Периоден систем на елементите на кој се прикажани минералните материи кои се неопходни за растенијата и животните (нутриенти), како и токсичните елементи. Некои елементи претставуваат нутриенти во ниски концентрации, а при високи концентрации се токсични.

За некои од микроелементите како што се Cd, Cu, Pb, Zn, најважен внес во екосистемите претставуваат атмосферските талози (врнежите и сувата депозиција). Во загадени региони, внесот на ваквите материи е многу поголем отколку во оддалечени региони од индустриските центри.

За Al, Fe и Mn атмосферската депозиција има помало значење за внесот на овие елементи во екосистемите кои главно се создаваат како резултат на трошење на минералите во почвата. Закиселувањето на почвите ја зголемува мобилноста на овие катјони и при поголемо количество врнежи се плакнат од почвата и се пренесуваат до подземните и надземните води каде предизвикуваат сериозно загадување.

Патиштата на кружење на минералните материи (Сл. 39) и нивната достапност зависи од формите во кои тие може да се јават. Металите од групата на микроелементите може да се јават во растворливи форми или во вид на цврсти честички (Таб. 15). Во водена средина, металите може да се врзат со голем број неоргански лиганди со кои формираат комплекси (комплекси со водата, хидроксо-комплекси со OH⁻, со други неоргански лиганди како Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻). Металите може да бидат ослободени или имобилизирани (врзани) од цврстите фази како што се суспендирани честички, почва и седименти. Преминувањето на металите помеѓу цврстите фази и растворите може да се врши преку директни процеси на таложење (преципитација) и растворање. Во цврстите фази, металите може да бидат адсорбирани на хидроксидни, карбонатни или сулфидни минерали (аморфна и кристална форма), како и на органски молекули. Организмите ги

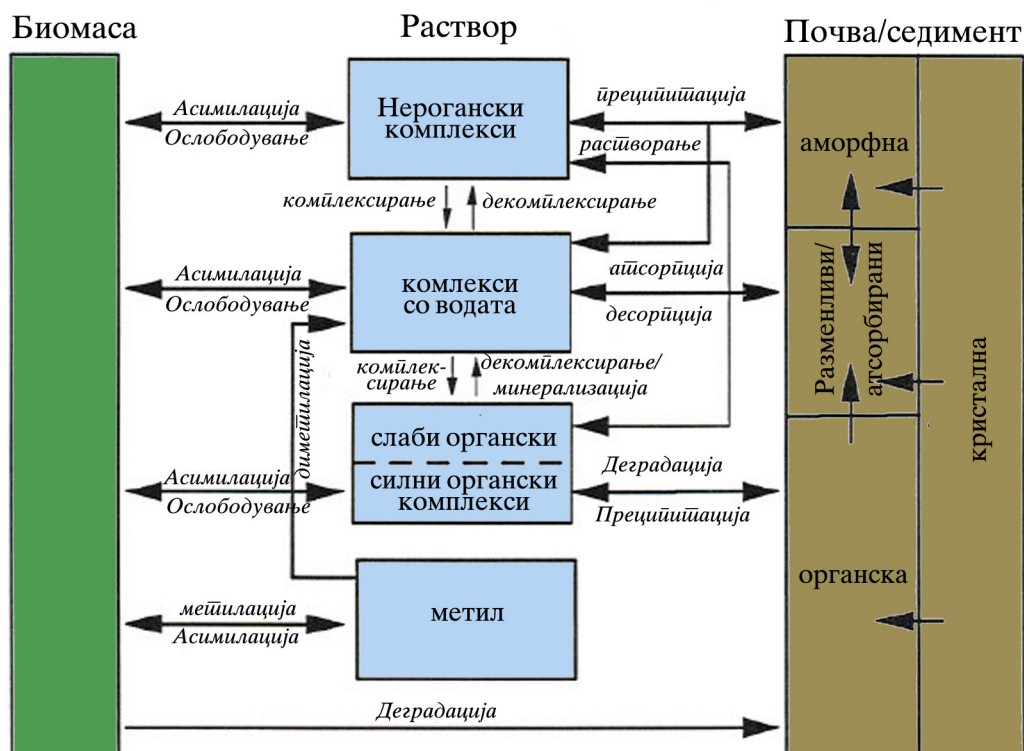
примаат металите преку асимилација или површинска адсорпција, а ги ослободуваат со минерализација, метилација или десорпција.

Таб. 15 Преглед на неорганските форми и цврстите фази на некои микроелементи кои се среќаваат во водни екосистеми.

Елемент	Неоргански форми	Цврсти фази
Ba	Ba^{2+}	BaSO_4 , BaCO_3
Cr	Cr(OH)_2^+ , Cr(OH)_3 , Cr(OH)_4^- , CrO_4^{2-}	Cr(OH)_3
Al	Al(OH)_3 , Al(OH)_4^- , AlF^{2+} , AlF_2^+	Al(OH)_3 , Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, Al- силикати
Fe	Fe^{2+} , FeCl^+ , FeSO_4 , Fe(OH)_2^+ , Fe(OH)_4^-	FeS , FeS_2 , FeCO_3 , Fe(OH)_3 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FePO_4 , $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, Fe- силикати
Mn	Mn^{2+} , MnCl^+	MnS , MnCO_3 , Mn(OH)_2 , MnO_2
Co	Co^{2+} , CoCl^+ , CoSO_4	CoS , CoCO_3 , Co(OH)_3 , Co(OH)_2
Cu	Cu^{2+} , CuCO_3 , CuOH^+	CuS , CuFeS_2 , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, Cu(OH)_2 , CuO
Zn	Zn^{2+} , ZnCl^+ , ZnSO_4 , ZnOH^+ , ZnCO_3 , ZnS	ZnS , ZnCO_3 , ZnSiO_3
Pb	Pb^{2+} , PbCl^+ , PbCl_2 , PbCl_3^- , PbOH^+ , PbCO_3	PbS , PbCO_3 , Pb(OH)_2 , PbO_2
Hg	Hg^{2+} , HgCl^+ , HgCl_2 , HgCl_3^- , HgOHCl , Hg(OH)_2 , HgS_2^{2-} , HgOHS^-	HgS , Hg , Hg(OH)_2
Cd	Cd^{2+} , CdCl^+ , CdCl_2 , CdCl_3^- , CdOH^+ , CdS , CdHS^+ , Cd(HS)_2 , Cd(HS)_3^- , Cd(HS)_4^{2-}	Cd , CdCO_3 , Cd(OH)_2
Ag	Ag^{2+} , AgCl , AgCl_2^- , AgS^- , AgHS , AgHS_2^{2-} , Ag(HS)_2^-	Ag_2S , AgCl , AgBr

Интеракциите помеѓу микроелементите и живите организми се важни од аспект на еколошката токсикологија и можните дефиценции. Генерално, постојат два патишта преку кои микроелементите може да бидат примени од страна на организмите (Сл. 39):

1. јонските форми може да формираат комплекси со транспортните протеини на клеточните мембрани
2. нејонските форми се транспортираат преку биолошките мембрани по пат на пасивна дифузија



Сл. 39 Општа шема за кружење на микроелементите

3.2.4.1 Биогеохемиски циклус на живата (Hg)

Живата е хемиски елемент кој ретко се среќава во природата. Живата и нејзините соединенија се силно токсични и по Асаманов (2003) живата може да се смета за најтоксичен тежок елемент. Според токсичноста, елементите (главно тешки метали) може да се подредат во следната низа: $Hg > Cu > Cd > Pb > As$.

Како резултат на засилените техногени емисии во атмосферата и хидросферата, живата, од учесник во природните процеси на кружењето на материите, станала многу опасен фактор за здравјето на луѓето и живиот свет. Живата се применува во металуршката, хемиската електротехничката, електронската и фармацевтската индустрија за производство на взривчатих вештеств, луминисценти ламби, лакови и красок.

Промишление стоки и атмосферските емисии, горно-обогатителни фабрики при рудниците за жива, топлификациските постројки кои користат минерални горива се јавуваат како главни загадувачи на биосферата со овој токсичен елемент. Покрај тоа, живата влегува во состав на некои пестициди кои се користат во земјоделството за протравливање на семето и негова заштита од штетници. Живата и нејзините соединенија навлегуваат во организмот на човекот и животните преку исхраната.

Се разбира, најголем резервоар на живата претставува литосферата. Најпознат минерал на живата е цинабаритот (HgS) и тој е единствен минерал на живата кој се ископува во рударството. Живата во мали количества ја има во нафтата и камениот јаглен ($1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Во водата на океаните нејзиното количество изнесува $1,6 \cdot 10^9$ t, а во седиментите на дното околу $500 \cdot 10^9$ t. Во планктонските организми се складирали $2 \cdot 10^6$ t.

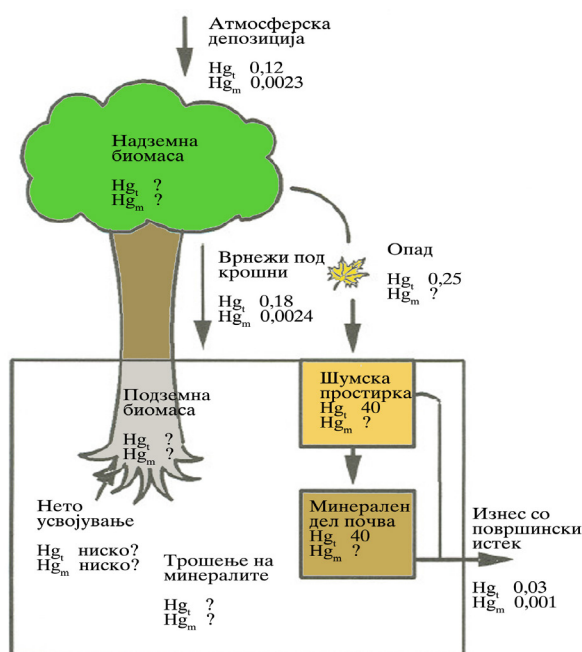
Во биогеохемискиот циклус, живата се среќава во цврста состојба во литосферата и почвата, гасовидна состојба, но и во водна состојба (растворена во вода). Живата преоѓа во атмосферата при испарувања од хидросферата, на места со вулкански гасови и гасови од термални извори. Дел од гасовитата форма на живата преоѓа во цврста состојба и ја напушта атмосферата. Останатиот дел од живата паѓа на површината на Земјата со врнежите и се задржува во почвените раствори и глинестите почви. Од копното, со површинските истечни води во океаните се пренесуваат околу 40 000 t. Ова количество е помало отколку количеството жива кое преминува од копното во атмосферата.

Циклусот на живата во екосистемите (Сл. 40) ќе биде објаснет на база на мало шумско сливно подрачје во Шведска (Driscoll et al. 1994). Внесот на живата во сливното подрачје е претставен со врнежите и сувата депозиција (кои учествуваат со по 50 % од вкупниот внес од атмосферата - $0,12 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$). Живата се пренесува до шумската простирка со плакнење од листовите и кората на стеблата, како и со опадот што заедно сочинува $0,43 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Треба да се има предвид дека растенијата не ја примаат активно живата, така да она количество кое се пренесува со опадот претставува наталожена жива на површина на растителните органи. Најголем резервоар на жива претставува шумската простирка (околу $40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$). Останатите минерални хоризонти на почвата содржат приближно исто количество ($40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$). Тоа значи дека живата е врзана за органската материја во површинските делови на почвата.

Заради имобилизацијата на живата во мртвата органска материја, многу помал дел од живата (во однос на внесот) се плакне со водата и се пренесува до истечните води. Ова количество изнесува само $0,03 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ и претставува 25 % од вкупниот внес во екосистемот.

Живата од истечните води се пренесува до езерото Гардсјен каде се вклучува во синџирот на исхрана и се акумулира во рибите. На крај, заради риболовот кој е активен во ова езеро, живата се пренесува во организмите на луѓето.

Во градот Минамата во Јапонија во 1953 година се појавила болест која влијаела на нервниот систем на луѓето и домашните животни и често завршувала



Сл. 40 Кружење на живата во Шумско сливно подрачје во шведска (количествата во резервоарите се дадени во $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$, а протокот во $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$)

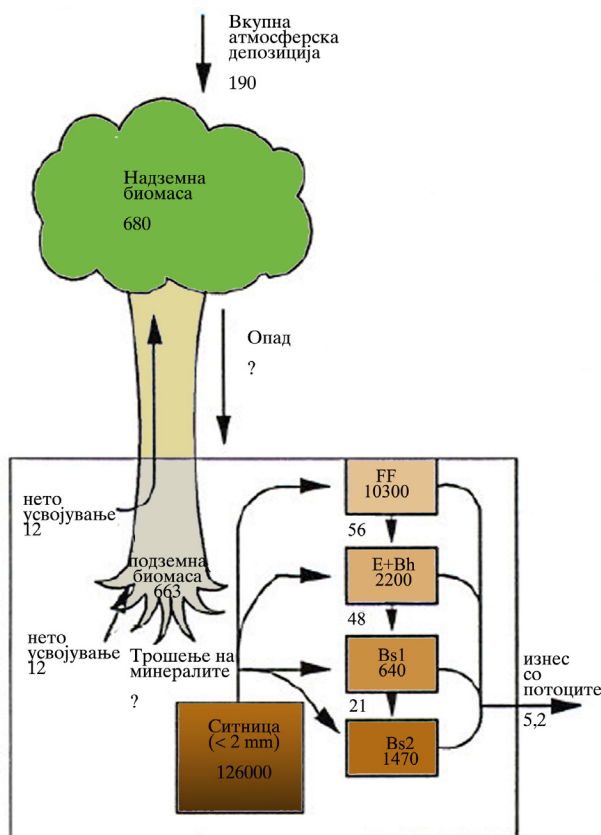
летално. Било утврдено дека ова заболување се јавило како резултат на активностите во заливот Минамата кога се фрлале отпадоци кои содржеле бакар, цинк, олово и жива. Тешките метали, преку синцирите на исхраната, се концентрирале во рибите кои ги ловеле жителите на градот Минамата. Карактеристично за ова заболување е тоа што е "наследно", поточно повеќе генерации боледуваат од истата болест (*болест Минамата*). Причинител на заболувањето се етил-жива и особено метил-жива. Овие соединенија се создаваат од други соединенија на живата при биогеохемиските процеси в донних илах.

3.2.4.2 Биогеохемиски циклус на оловото (Pb)

Иако оловото во литосферата учествува само со 0,0016%, тоа е присутно во сите компоненти на природната сфера. Најпознат минерал на оловото кој се ископува во рударството е галенитот (PbS).

Најважен проток во глобалниот биогеохемиски циклус на оловото е размената помеѓу атмосферата и хидросферата. Од атмосферата, оловото се пренесува и задржува во педосферата преку врнежите и сувата атмосферска депозиција. Растенијата го примаат оловото од почвата, водата и од атмосферските врнежи, додека животните го примаат преку водата, храната и пилџ.

Циклусот на оловото во екосистемите ќе биде илустриран преку истражувањата во Хабард Брук кои започнале по 1960 година. Во 1975 година било забележано дека внесот на оловото во екосистемот преку атмосферските процеси е намален како резултат на рестрикциите во користењето на оловниот бензин. Трошењето на минералите во почвата не претставува значаен извор на олово во екосистемот.



Сл. 41. Кружење на оловото во шумско сливно подрачје во Хабард Брук (количествата во резервоарите се прикажани во $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$, а протокот е во $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$)

Најголеми резервоари на олово се минералниот дел на почвата и шумската простирка. Најчесто, ситницата на почвата е најголемиот резервоар на олово во екосистемот. Слично како кај Hg, изнесот на оловото е многу помал отколку внесот во екосистемот заради задржувањето на оловото во шумската простирка и

минералниот дел на почвата. Со зголемување на длабочината на почвата, се намалува содржината на олово.

Количеството олово во живите организми на екосистемот е многу мало. Оловото се смета дека не е физиолошки конституент на растителните организми. Затоа, усвојувањето на оловото од страна на растенијата е многу мало.

Екосистемот има голема способност за задржување на оловото во почвата. Затоа, подземните и површинските води се помалку оптеретени со олово кое доаѓа од нивните сливни подрачја.

Главни извори на загадување со оловото се моторните возила кои во издувните гасови испуштаат тетраетил-олово, топлификациските постројки кои користат камен јаглен, горно-добивајущчаја, металуршката и хемиската индустрија. Значително количество олово се внесува во почвите со сточни води.

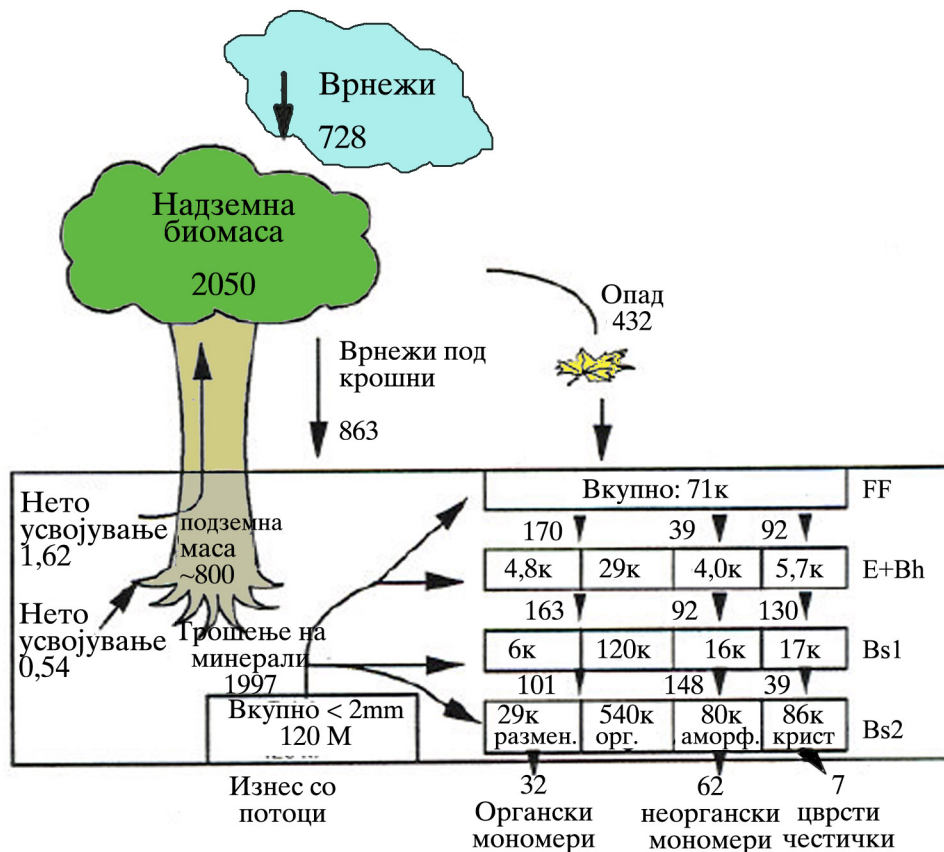
Содржината на олово во жителите од индустриските земји е за неколку пати повисока од содржината кај луѓето од аграрните општества. Исто така, во организмите на жителите од градовите има повеќе олово отколку кај жителите од руралните средини. Зголемувањето на концентрацијата на олово во природната средина доведува до иреверзибилни процеси во коските и црниот дроб на луѓето.

3.2.4.3 Кружење на алуминиум (Al) во сливот на Хабард Брук, САД

Алуминиумот е најраспространетиот метал во земјината кора. Затоа, алуминиумот го има во големо количество во минералите и растворите во почвата. Тој се среќава во вид на разменлив, органски, аморфен и кристален алуминиум. Алуминиумот влегува во состав на голем број минерали. Фелдспатите се најчеста група минерали во земјината кора и по состав се алумо-силикати на некои алкални или земно-алкални елементи: $X(Al, Si)_4O_8$ каде X е Na, K, Ca или Ba. Тука спаѓаат калиумовите фелдспати ($KAlSi_3O_8$) и плагиокласите ($NaAlSi_3O_8$ и $CaAl_2Si_2O_8$). Други поважни групи алумо-силикатни минерали се фелдспатоидите и зеолитите.

Алуминиумот не претставува хранлива материја за растенијата. Затоа, неговото усвојување и кружење низ вегетацијата е многу бавно. Алуминиумот е токсичен за растенијата кога е во комплекс со водата или во вид на нискомолекуларни Al-полимери. Токсични својства покажуваат и другите неоргански мономери на Al.

Внесот на Al со атмосферската депозиција е многу мал. Се смета дека алуминиумот стигнува во екосистемот со прашина која ја пренесуваат ветровете. Содржината и количеството на алуминиум во водата која се цеди под крошните на дрвјата е многу мало (Сл. 42).



Сл. 42 Кружење на алуминиумот во Хабард Брук, САД (количествата во резервоарите се претставени во $\text{mol} \cdot \text{ha}^{-1}$, а протоците во $\text{mol} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$)

Алуминиумот во почвата има тенденција да се мобилизира и пренесе во исцедокот (потпочвената вода). Пренесувањето на алуминиумот се врши во три форми: цврсти честички на Al, органски мономери на Al (органски комплекси на Al) и неоргански мономери на Al (комплекси на Al со водата, OH^- , F^- и SO_4^{2-}). Притоа, органските киселини кои се наоѓаат во шумската простирка имаат голема способност да го врзуваат алуминиумот, па затоа тој најчесто се плакне во вид на Al-органски мономери и цврсти честички, а многу помалку во вид на Al-неоргански мономери. Значи, во покисела средина, алуминиумот лесно се плакне и пренесува во водата која се цеди под шумската простирка. Со намалување на pH во подлабоките почвени слоеви, органските мономери на Al се задржуваат и побавно се пренесуваат во потпочвената вода. Спротивно на органските мономери, неорганските мономери на Al ја зголемуваат содржината во водата која се цеди во подлабоките почвени слоеви и тие се доминантната форма на Al во истечните води (неорганските мономери се токсични форми на Al).

Зголемени концентрации на неоргански мономери на Al во истечните води се потенцијални токсини за растенијата и животните. Токсични реакции кај рибите се предизвикуваат при концентрација на Al од $5 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Зголемен внес на силни неоргански киселини со атмосферската депозиција, во количество кое ја надминува способноста на екосистемот за нивна неутрализација, доведува до ослободување на неоргански мономери на Al и транспорт до површинските води.

3.2.4.4 Кружење на ураниум (U) во Флодел Крик, САД

Најголем резервоар на ураниумот е литосферата. Најважен минерал е уранинит (UO_2).

Најголем извор на ураниум во сливното подрачје на Флодел Крик биле невообичаено богатите матични стени со ураниум ($10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Атмосферскиот внес на ураниум бил сосема безначаен. Почвата имала мала способност за задржување на ураниумот така што тој со површинскиот истек и со потоците се пренесува и таложи во рамниот дел по течението на потоците.

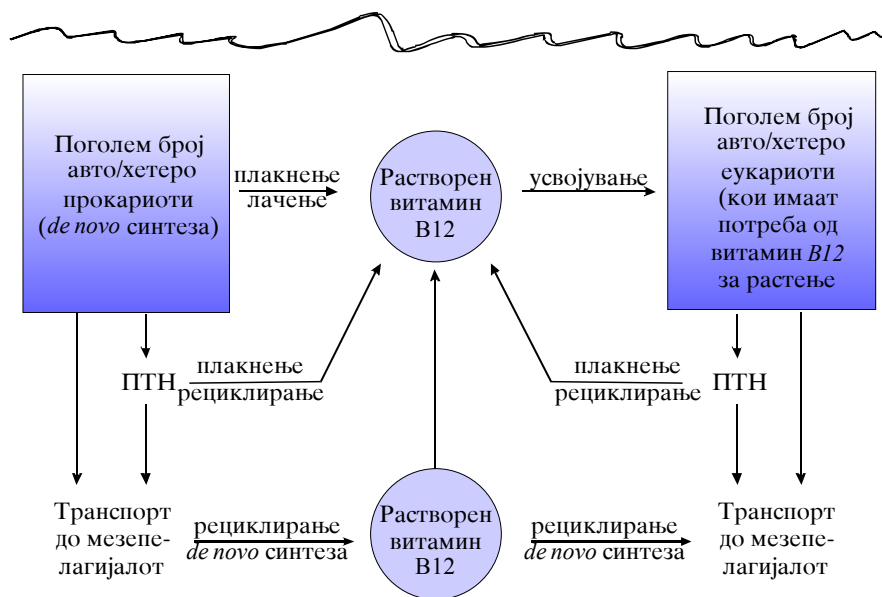
3.3 Кружење на органски хранливи материи

Хетеротрофите, па и многу автотрофи (алги) имаат потреба од витамини и други хранливи материи кои доаѓаат "од надвор". Таквите материи, слично на неорганските, кружат помеѓу живите организми и средината. Главна нивна карактеристика е нивниот настанок исклучиво во живите организми.

Хемиската природа на витамините и други стимулирачки органски соединенија за раст, како и нивната потреба за човекот и домашните животни се одамна познати. Содржината на овие хранливи материи во водата и почвата е толку мала што слободно би можеле да се наречат микро-микро-елементи. Органските хранливи материи играат важна улога во метаболизмот на екосистемите и можат да се јават како лимитирачки фактори. Како пример за кружење на органските хранливи материи ќе биде објаснето кружењето на цијанкобаламинот (витамин B12).

Основни продуценти на витаминот B12 се микроорганизмите, особено бактериите, а во помала мера и автотрофните алги. Некои организми (бактерии, алги и животни со способност за филтрација на водата) можат да го примат витаминот B12 директно од водата. Неживите честички (глина, почвени мицели, детритус) адсорбираат значителни количества кои може да бидат искористени од страна на фаготрофите. Процесот на адсорпција и ослободувањето од овие неживи честички игра важна улога во регулирањето на достапноста на витаминот во екосистемите. Тоа не е случај со литоралните води каде витаминот B12 го има во концентрации над $1 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$, но во пелагијалот, каде концентрацијата е под $1 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ тој се јавува како лимитирачки фактор. Така, во Саргасовото Море, каде концентрацијата е многу ниска, доминираат камшикарите (Flagellata) кои немаат значителна потреба од овој витамин, ниту од некои други хранливи материи. Во некои екосистеми, како лимитирачки фактор се јавува Co кој влегува во состав на витаминот B12.

На Сл. 43 е прикажано кружење на витаминот B12 во еден морски екосистем. Се забележува интеракција помеѓу синтезата на витамин B12 од страна на автотрофните и хетеротрофните прокариоти и негов пренос кон планктонските еукариоти од морската површина преку резервоарот на растворен витамин B12. Пренос на витаминот B12 се остварува и кон мезопелагијалот преку повисоките трофички нивоа (ПТН). Со изумирање на организмите доаѓа до нивна деградација и ослободување на витаминот B12 од мртвата органска маса од дното. На дното на морето доаѓа и до синтеза *de novo* на нови количества витамин B12 од страна на прокариотите. Витаминот B12 од дното (синтетизиран или ослободен) се пренесува кон морската површина.



ПТН - повисоки трофички нивоа

Сл. 43 Кружење на витаминот B12 во еден морски екосистем.

4 НАРУШУВАЊЕ НА ЦИКЛУСИТЕ И ЗНАЧЕЊЕ НА ПОЗНАВАЊЕТО НА БИОГЕОХЕМСКИТЕ ЦИКЛУСИ ЗА ЧОВЕКОТ

Некои од циклусите (како на пример, циклусите на биогените елементи - јаглерод, азот или кислород) поседуваат механизми за доволно брза саморегулација при различни нарушувања благодарение на присуството на голем резервен фонд во атмосферата. Така на пример, вишокот CO₂ што се акумулира во некое место поради прекумерно согорување на фосилни горива брзо се расејува со воздушните маси (ветер). Порај тоа, зголемената продукција на CO₂ се компензира со зголемено усвојување од страна на растенијата и негова зголемена трансформација во карбонати (во океаните). На тој начин, благодарение на постоењето на саморегулација којашто се остварува по принципот на обратна повратна спрега, гасните циклуси се релативно усовршени. Сепак, саморегулацијата има извесни граници и најразличните нарушувања на локално ниво можат да бидат опасни по луѓето.

Седиментационите циклуси (како циклусите на фосфорот, железото и други) обично се далеку понеусовршени и многу полесно се нарушуваат како резултат на најразлични локални промени. Тоа произлегува од фактот што основната (главната, најзначајната) маса на тие елементи е содржана во релативно слабо активниот или малкуподвижниот резервен фонд (резервоар) во земјината кора. Следствено, доколку загубата (намалувањето) тече побрзо одошто активирањето (вклучувањето на нови количества) одреден дел од материјата вклучена во прометот се губи од циклусот. Како што беше нагласено, меахнизмите што обезбедуваат враќање на материите во кружењето најчесто почиваат на одвивањето на биолошки процеси.

За разлика од сите други организми, човекот се одликува со тоа што покрај неопходните 40-тина елементи за својот биолошки метаболизам, тој ги искористува при социјалниот метаболизам (своите сложени активности) и сите други елементи, но исто така и многу други, вештачки создадени материи. Како резултат на човековите активности, движењето на многу материи се забрзува во такви рамки што некои од циклусите стануваат "несовршени", а процесите ациклични. Резултатот може да биде кусок од некои материи на одредени места, а вишок на други места. "Човекот не ја разбира до крај сета сложеност на симбиозата помеѓу животот и неорганската материја создадена во течението на многу илјадалетија." (Одум).

Најдобар пример за тоа е циклусот на фосфорот (види претходно!). Денеска се употребуваат огромни количества фосфорни ѓубрива во земјоделството (се загадуваат подземните води, се загадуваат местата до фабриките) или во домаќинствата (во детергентите - со што се предизвикува еутрофикација на водите - види хидробиологија!).

Јасно е дека човекот може да се смета за моќен геолошки, односно геохемиски фактор.

На крај, може да се каже дека напорите за заштита на природните ресурси треба да почиваат на тоа да се преведат ацикличните процеси во циклични. Основна цел на заштитата треба да биде "враќање на материите во кружењето/циклусот" што би обезбедило нивно повторно искористување. (Може да се земе водата како основен и насоодветен пример - ако се воспостави и одржува правилно кружење на водата, тогаш ќе се обезбеди и соодветно кружење на материите што кружат заедно со водата.

Од последните неколку пасуси, може да се согледа значењето на познавањето на биогеохемиските циклуси на елементите и материите во биосферата за заштитата на животната средина, односно за развојот на човековото општество воопшто (концептот за "одржлив развој" не може да се замисли без примена на основните принципи на кружењето на материја во биосферата).