

Ekológia

Učebné texty 2008

**Katedra ekológie
Prírodovedecká fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave**

Vladimír Kováč

© Doc. RNDr. Vladimír Kováč, CSc., 2008

Text neprešiel jazykovou ani redakčnou úpravou a slúži výlučne ako sprievodný učebný materiál k prednáškam z predmetu Ekológia. Učebné texty obsahujú aj kompilácie textov zo zdrojov, ktoré sú uvedené priamo pri jednotlivých odsekoch.

OBSAH

Syllabus predmetu ekológia	3
1. Všeobecná časť	3
2. Hierarchické usporiadanie sveta, podmienky pre existenciu života	11
3. Ekologické faktory	19
4. Hlavné ekologické faktory	28
5. Demekológia	36
6. Dynamika populácie	42
7. Životné prejavy (life history)	47
8. Synekológia	55
9. Ekosystém	62
10. Biogeochemické cykly	66
11. Hypotéza Gaia	70

Syllabus predmetu EKOLÓGIA (2008)

Predmet ekológie, ekologické disciplíny, vzťahy k iným vedným odborom. Ekológia a environmentalistika, ekológia a ekonómia. Globálne environmentálne problémy súčasnosti – prehľad.

Základné fyzikálne zákonitosti vo vesmíre a na Zemi. Život na Zemi, podmienky pre existenciu života. Klimatické a meteorologické podmienky a javy.

Ekologické faktory. Prehľad faktorov, ich ekologický význam. Funkcia odozvy, tolerancia k faktorom. Adaptácie a evolúcia, dva zdroje variácie, epigenetické mechanizmy. Princíp limitujúcich faktorov; interakcia faktorov.

Ekologický priestor, ekologická nika. Hlavné ekologické faktory pôdy, suchozemského a vodného prostredia.

Populácia – obsah pojmu. Štruktúra populácie (priestorová, veková, pohlavná, reprodukčná, sociálna). Početnosť a hustota, unitárne a modulárne organizmy. Migrácie a šírenie. Biologické invázie.

Dynamika populácie, životné cykly, kohorty. Natalita, prežívanie, mortalita, demografické parametre a tabuľky. Rastové procesy, otvorený a ohraničený rast, rýchlosť rastu, regulácia, únosnosť prostredia.

Stratégie prežívania populácií – alternatívne životné cykly populácií.

Kolísanie početnosti, oscilácie, fluktuácie. Medzidruhové vzťahy, synergické a antagonistické vzťahy.

Biocenóza - obsah pojmu, princíp individualistický a supraorganizmový; ohraničenie biocenóz, ekotóny. Kvantitatívne a štrukturálne vlastnosti biocenóz. Biocenotické princípy, druhové bohatstvo. Životné formy rastlín.

Štruktúra biocenózy vertikálna a horizontálna, štruktúra dominancie, diverzita a vyrovnanosť; periodické zmeny. Primárne a sekundárne biocenózy. Sukcesia, sukcesné rady, klimax. Biómy Zeme.

Ekosystém - obsah pojmu. Zložky a štruktúra ekosystému. Procesy syntézy a rozkladu v ekosystéme. Trofická štruktúra, potravné vzťahy a reťazce, ekologické pyramídy. Tok energie v ekosystéme, zdroje a premeny energie.

Primárna produkcia, efektívnosť asimilácie, hrubá a čistá primárna produkcia, produkcia spoločenstiev a biómov. Sekundárna produkcia, konzumpcia, asimilácia, respirácia, účinnosť energetických premien.

Biogeochemické cykly. Typy cyklov, časti cyklov, fondy. Atmosférický a sedimentárny cyklus. Cyklus H₂O, O, C, N, S, P; energetická bilancia biosféry Zeme. Vývoj biosféry, hypotéza Gaia.

1 Všeobecná časť

1.1 Čo je ekológia

1.2 Predmet ekológie

Termín “ekológia” (*oikos* = domov, *logos* = veda) zaviedol významný nemecký biológ (venoval sa najmä morfológii, vývinovej a evolučnej biológii) Ernest Hackel v roku 1869, keď ju charakterizoval ako *vedecké štúdium vzájomných vzťahov medzi organizmami a ich prostredím*. Táto definícia sa používa dodnes, treba však povedať, že je veľmi široká až všezahŕňajúca, v dôsledku čoho sa pri bližšom skúmaní môže stať nejednoznačnou a nejasnou - navádza totiž na otázku “jestvuje niečo, čo sa nedotýka vo svojej podstate ekológie?”.

Preto sa dnes často uprednostňuje jednoduchšia a presnejšia definícia ekológie: *vedecké štúdium interakcií, ktoré podmieňujú rozšírenie a hustotu organizmov*. Prišiel s ňou ďalší významný nemecký biológ Hans Krebs (1972).

Definíciou ekológie je oveľa viac, mnohé z nich sú pritom zúžené len na určité skupiny organizmov alebo na určitú problematiku. Aby bol náš obraz úplnejší, uveďme ešte niekoľko príkladov:

- ⇒ *Vedecké štúdium rozšírenia a hustoty živočíchov* (Andrewartha, 1961)
- ⇒ *Vedecké štúdium vzťahov medzi organizmami a súhrnom fyzikálnych a biologických faktorov, ktoré ich ovplyvňujú alebo sú nimi ovplyvňované* (Pianka, 1988)
- ⇒ *Štúdium adaptácie organizmov na ich prostredie* (Emlen, 1973)
- ⇒ *Štúdium zákonitostí, ktoré riadia časové a priestorové usporiadanie spoločenstiev organizmov* (Fenchel, 1987)
- ⇒ *Štúdium štruktúr a javov v prírode, ich vzniku a premien v čase a priestore* (Kingsland, 1985)
- ⇒ *Štúdium štruktúry a fungovania prírody* (Odum, 1961)

Problémom definícií býva, že sú buď veľmi úzko zamerané a obmedzené, alebo naopak, priveľmi široké a nejednoznačné. Vráťme sa však ku Krebsovej definícii ekológie. Jej prednosťou je, že presne vymedzuje základný predmet ekologického bádania, t.j. rozšírenie a početnosť organizmov. Pochopiteľne, ide o výrazné zjednodušenie ekologickej problematiky, účelom definícií je však práve zjednodušovanie komplikovaného. Súčasná ekológia je totiž hierarchicky rozvrstvená najmenej na tri úrovne: jedinec, populácia (súbor jedincov rovnakého druhu) a spoločenstvo (súbor populácií rozmanitých druhov).

Na každej z týchto úrovní si ekológia kladie iné otázky. Na úrovni organizmu (jedinca) ekológia rieši, ako na jedinca pôsobia abiotické a biotické faktory a naopak, ako jedinec pôsobí na prostredie. Nazýva sa aj **autekológia alebo fyziologická ekológia**. Kľúčové pritom je, že autekológia skúma, ako tieto faktory (napríklad teplota, sezónnosť, zloženie pôdy, atď.) ovplyvňujú prežívanie a reprodukciu jedincov. Prežívanie a reprodukcia sú základné parametre, ktoré determinujú úspech či neúspech jedincov i populácií. Práve zameranie na tieto parametre robí autekológiu ekologickou vednou disciplínou a odlišuje ju napríklad od etológie či fyziológie.

Na úrovni populácie ekológia skúma najmä to, ako skupiny jedincov patriacich tomu istému druhu rastú (alebo sa zmenšujú), čiže aktuálnu početnosť populácie, kolísanie jej početnosti, životné histórie či životné stratégie druhu. Nazýva sa demekológia. Vývoj početnosti populácie ovplyvňuje množstvo faktorov (napríklad dostupnosť potravy, kvalita potravy, prítomnosť či absencia predátorov, zmena habitatu, atď.), pričom ich vplyv je druhovo špecifický.

Na úrovni spoločenstiev (čiže súborov populácií) ekológia skúma najmä zloženie a štruktúru spoločenstiev, ale aj toky energie, kolobeh živín a iných látok. Nazýva sa aj synekológia.

Keďže ekológia skúma organizmy, jednoznačne patrí medzi biologické vedné disciplíny. Nakoľko okrem nich samotných sa zaoberá aj ich prostredím a interakciami, je len prirodzené, že súčasne má aj interdisciplinárny charakter. Súčasne rešpektuje aj všeobecnú hierarchiu biológie, t.j. úrovne, na ktorých človek skúma fascinujúci fenomén vesmíru: život. Ako zostupujeme po tejto hierarchii nižšie a nižšie, miera komplexity klesá a objavujú sa vlastnosti, ktoré sú pre úroveň nižšie už irelevantné:

- ⇒ Biosféra - Zemeguľa od morského dna po mraky vysoko v atmosfére
- ⇒ Ekosystémy - všetky živé a neživé zložky na Zemi, ktoré vstupujú do vzájomných interakcií
- ⇒ Spoločenstvá - Populácie rozličných druhov, ktoré vstupujú do vzájomných interakcií
- ⇒ Populácie - Súbory jedincov rovnakého druhu obývajúce spoločný priestor
- ⇒ Jedince - Jednotlivé organizmy
- ⇒ Orgány - Súbory tkanív vykonávajúcich určité funkcie
- ⇒ Tkanivá - Súbory buniek rovnakého typu či funkcie
- ⇒ Bunky - Základné stavebné jednotky živých foriem
- ⇒ Organely - Časti buniek
- ⇒ Molekuly - Súbory atómov

So stúpaním vyššie a vyššie v tejto hierarchii naše vedecké poznanie klesá. V zásade jestvujú dva diametrálne odlišné prístupy na skúmanie života: redukcionistický a holistický. Prvý sa zameriava na detaily a usiluje sa aplikovať princípy platné pre detaily aj na celok (často však pre detaily nezvláda komplexitu), druhý sa zamierava na celok, komplexitu (musí však poznať aj detaily). Žijeme na planéte, ktorú zatiaľ poznáme len veľmi povrchno.

Teraz je asi vhodné položiť si otázku, prečo vlastne organizujeme ekológiu do takejto hierarchickej štruktúry? Prečo nestačí skúmať, ako jedince živočíchov reagujú na rozličné faktory a odvodzovať z toho odpovede na otázky, čo môžeme od prírody očakávať? Z jednoduchého dôvodu: pretože aj vesmír okolo nás je usporiadaný hierarchicky. V každom organizme sa atómy zoskupujú do molekúl, tie sa združujú do organel, organely sa zoskupujú v bunkách, bunky sa organizujú do tkanív, tkanivá do orgánov. Takéto hierarchické zoskupovanie a organizovanie nie je len našim nástrojom na uľahčenie nášho chápania prírodných procesov, ale je reálne, čiže existuje reálne v prírode. Preto je reálna aj ekologická hierarchia a v takom zmysle aj ekológiu študujeme – niektoré javy sú pozorovateľné iba pri študovaní určitej úrovne organizácie v danej hierarchii. Skúmame napríklad populácie, pretože ak by sme sa obmedzili iba na výskum plodnosti jedincov (t.j. koľko môže mať jedinec potomkov), sotva by sme pochopili, prečo je napríklad ten ktorý druh vzácny, iný zasa početný. To isté platí na úrovni spoločenských – zmeny v jednej populácii často nedokážeme vysvetliť bez toho, aby sme poznali jej interakcie s populáciami iných druhov. Príroda je jednoducho usporiadaná hierarchicky a ekologické procesy a javy možno správne pochopiť iba vtedy, ak skúmame patričnú úroveň v rámci hierarchie. Ale pozor, ak hovoríme o jednotlivých subdisciplínach ekológie, neznamená to, že sú nezávislé jedna od druhej. Všetky patria do tej istej hierarchie a sú navzájom prepojené.

1.2. Ekológia a komplexita, ekológia a evolúcia

*Chaos, entropia a jednosmernosť času
Teória chaosu odкрýva nový "princíp neurčitosti", ktorý určuje, ako funguje skutočný svet. Okrem toho to vysvetľuje, prečo čas plynie iba jedným smerom.
Peter Coveney*

Preskúmať a pochopiť také komplexné javy, aké sa odohrávajú v prírode - na úrovni organizmov, ich populácií či celých ekosystémov, je o to ťažšie, že ich súčasťou sú nelinearita, komplexita a chaos. Inými slovami, okrem procesov, ktoré vieme aspoň do istej miery opísať, modelovať či vyjadriť matematickými vzorcami, sa na fungovaní živých systémov podieľajú aj princípy, ktoré podliehajú celkom iným zákonitostiam, ako dokážeme vnímať priamo prostredníctvom našich zmyslov. Sú to princípy, ktoré spôsobujú, že javy sú nelineárne - nemožno ich teda modelovať, predvídať alebo dopredu vypočítať. Preto nás odozva prírody, napr. zmeny v ekosystémoch, dokážu ešte aj dnes, v časoch modernej vedy, prekvapiť či zaskočiť.

Z hľadiska termodynamiky sa živé systémy nachádzajú v stave ďaleko od rovnováhy. Pre takýto stav je charakteristické, že aj malé vychýlenia (napríklad v dôsledku vonkajších impulzov) môžu na makroskopickú úroveň viesť k radikálne novému správaniu systému. Myriády bifurkácií môžu do viesť systém nahodným spôsobom do nových stabilných stavov. Tieto neuniformné stavy štrukturálnej organizácie podliehajú variáciám v čase i priestore. Ilya Prigogine ich označil termínom "disipatívne štruktúry" a ich spontánny vývin je známy pod pojmom "sebaorganizácia".

V ekológii treba mať vždy na zreteli aj veľmi významný aspekt všetkých procesov – čas. Preto je dôležité vnímať ekologické interakcie v kontexte evolúcie resp. minulosti - histórie. Napríklad pri skúmaní dynamiky populácie je často dôležité poznať aj jej históriu, t.j., s akými faktormi sa v minulosti stretávala. Dve navzájom izolované populácie toho istého druhu môžu mať, ba takmer isto majú, rozličnú históriu, a preto dnes reagujú na rovnaké podnety rozdielne. Markantne sa to prejavuje napríklad pri introdukovaných druhoch, populácie ktorých sa v novom prostredí správajú často

inak ako vo svojej pôvodnej domovine. V dôsledku toho sa môže ich populačná dynamika zvrhnúť na invázne šírenie, ktoré môže viesť k závažným zmenám v ekosystéme. História a evolúcia sú preto integrálnou súčasťou ekologických štúdií. Tým sa tiež ekológia líši od niektorých iných vedeckých disciplín – ak napríklad chemik skúma vlastnosti molekuly glukózy, nepotrebuje vedieť, odkiaľ tá molekula pochádza.

1.3 Aké nástroje používa ekológia

Ekológia sa vzhľadom na otázky, ktoré si kladie, prelína s viacerými ďalšími biologickými vednými disciplínami – genetikou, morfológiou, fyziológiou, etológiou, evolučnou biológiou, ale aj s fyzikou, chémiou, geológiou či geografiou. Keďže rozsah problematiky, ktorú ekológia skúma, je obrovský, z praktických dôvodov môžeme členiť ekológiu na čiastkové disciplíny. Delí sa predovšetkým na ekológiu všeobecnú (zovšeobecňuje ekologické javy bez ohľadu na systematickú príslušnosť organizmov), na ekológiu špeciálnu (študuje životné podmienky organizmov v rôznych typoch prostredia) a na ekológiu aplikovanú. Ekológiu možno členiť aj podľa organizmov, na ktoré sa zameriava - napríklad na ekológiu mikroorganizmov, ekológiu rastlín a živočíchov alebo podľa jednotlivých taxonomických skupín, napr. ekológiu hmyzu, ekológiu rýb, cicavcov atď.

Experimentovanie a modely

Pri experimente je potrebné mať hypotézy (možné vysvetlenia pozorovaných javov). Hypotéza musí byť jasná a testovateľná a možno ju logicky odvodiť dvoma spôsobmi: induktívnou metódou alebo deduktívnou metódou.

Pri induktívnej metóde sa postupuje od jednotlivých pozorovaní k všeobecnému záveru, napríklad od jednotlivých pozorovaní, že biodiverzita vodných organizmov je v silno znečistenom prostredí veľmi nízka po všeobecne formulovanú hypotézu, že silné znečistenie redukuje biodiverzitu.

Pri deduktívnej metóde sa postupuje od všeobecného princípu k predikcii (predpovedaniu) jednotlivých špecifických udalostí. Napríklad na základe všeobecného poznania, že silné znečistenie redukuje biodiverzitu možno sformulovať predikciu, že rôzna úroveň znečistenia, resp. rôzne polutanty, budú ovplyvňovať biodiverzitu rôzne - rôznou intenzitou.

Testovanie akejkoľvek hypotézy si vyžaduje určitú množinu relevantných dát. Získavajú sa priamym pozorovaním alebo experimentmi, vrátane „prírodných experimentov“. Napríklad hypotézu, že hustota populácie rýb ovplyvňuje alokáciu zdrojov do reprodukcie, alebo naopak do somatického rastu, možno testovať tak, že sa pozorujú viaceré vodné nádrže s rovnakým druhom rýb a rovnakými podmienkami, ale s rozdielnou hustotou vzorky. Experimentovanie zahŕňa manipuláciu s nezávislou premennou a meranie účinku tejto manipulácie na závislú premennú. V našom príklade je nezávislou premennou hustota populácie resp. vzorky (t.j. počet jedincov v nádrži) a závislou premennou rýchlosť rastu skúmaných jedincov (samíc) na jednej strane a ich plodnosť na strane druhej. Nezávislú premennú, t.j. hustotu rýb v každej vodnej nádrži bude určovať experimentátor a súčasne bude merať a porovnávať rast samíc a ich plodnosť. V tomto prípade ide o dlhodobý experiment, na výsledky ktorého treba počkať najmenej dva až tri roky. Hypotéza sa potvrdí, ak budú na konci experimentu samice z nádrží s vysokou hustotou štatisticky preukazne odlišné svojou veľkosťou (dá sa očakávať, že budú menšie) i plodnosťou (mala by byť vyššia) od samíc z nádrží s nízkou hustotou.

Takýto experiment vyžaduje aj kontrolu genetickej variability, ktorú v tomto prípade uskutočnime tak, že každá vodná nádrž s určitou hustotou rýb bude mať svoju repliku. Repliky však musia byť vzájomne nezávislé – čiže vzorka jednej vodnej nádrže nesmie ovplyvňovať výstupy nijakej inej vodnej nádrže (jej repliky). Experimenty

založené na takejto logickej schéme možno uskutočniť ako v prírodných podmienkach (terénne experimenty), tak aj v umelých podmienkach (laboratórne experimenty). Terénne experimenty sú síce spravidla realistickejšie, no ťažšie sa pri nich udržiavajú stabilné kontrolované podmienky, manipulácia s nezávislou premennou je ťažšia.

Ako testujeme hypotézy:

1. Sformulujeme nulovú hypotézu (h_0) - konštatovanie, ktoré hovorí, že medzi kontrolnou vzorkou a experimentálne manipulovanou vzorkou nebude nijaký rozdiel. Inými slovami, že nezávislá premenná nemá na závislú premennú nijaký signifikantný účinok.
2. Sformulujeme alternatívnu hypotézu (h_1) - konštatovanie, že nezávislá premenná má na závislú premennú nijaký signifikantný účinok.

Potom skúmame, či nulová hypotéza platí. Ak výsledky experimentu ukážu, že nulová hypotéza je pravdivá, potom ju prijmeme a na základe jej znenia odvodíme závery. Ak nulová hypotéza neplatí, t.j. ukáže sa, že je nepravdivá, potom ju zavrhneme a platnou sa automaticky stáva alternatívna hypotéza. Na základe jej znenia odvodíme závery.

Modely neštatistické

Idú za hranice štatistických vzťahov, sú definované oveľa voľnejšie ako štatistické modely. V neštatistických modeloch môžu byť do vysvetlenia účinku nezávislej premennej na závislú premennú zahrnuté napríklad biologické a fyzikálne mechanizmy (príčinnosť vzťahu).

Neštatistické modely môžu byť:

a) analytické - obsahujú riešiteľné rovnice, napr. model rastu populácie

b) simulačné - nie sú založené na riešiteľných rovniciach
napríklad komplexné populačné modely

Validácia

Validácia je objektívny test účinnosti modelu - ako verne predpovedá výstupy dodatočných experimentov a pozorovaní, najmä v prípadoch, ktoré zahŕňajú nezávislé situácie

1.4 Ekológia a ekonómia

V roku 1979 Haeckel svoju pôvodnú definíciu modifikovala označil ekológiu za vedu o ekonomii prírody. Toto porovnanie je veľmi výstižné, pretože obe tieto disciplíny sa vo svojej podstate zaoberajú rovnakými entitami či problémami: organizmami/hospodárskymi subjektmi, prostredím životným/ekonomickým a využívaním/spotrebou zdrojov. V oboch týchto odvetviach pritom platia viaceré rovnaké zákonitosti.

1.5 Ekológia a environmentalistika

Vzhľadom na takýto interdisciplinárny prístup k štúdiu života a životného prostredia sa ekológia dotýka aj životného prostredia človeka. Ekológia ako základná veda poskytuje okrem teoretických aj praktické implikácie pre riešenie problémov životného prostredia človeka. Tieto implikácie už potom nie sú ekológiou v užšom zmysle slova a označujú sa ako environmentalistika. Environmentalistika je chápaná ako interdisciplinárna náuka o životnom prostredí človeka. Ako taká má iný predmet skúmania, iné ciele a používa iné nástroje a metódy ako ekológia, zväčša nemá charakter základného, ale aplikovaného výskumu. **Ekológia teda nie je environmentalistika!** Tento omyl šíria najmä v laickej verejnosti médiá, a to nesprávnym narábaním s pojmom ekológia. V odborných kruhoch, ale aj vo výuke na základných a stredných školách sa však treba tejto chyby vyvarovať.

1.6 Globálne environmentálne problémy

Klimatické zmeny - "globálne otepľovanie"
Pokles biodiverzity
Znečistenie a iné narušenia životného prostredia
Rast populácie *Homo sapiens*
Voda
Biologické invázie

Globálne klimatické zmeny

Potenciálny vplyv zmeny skleníkového efektu na globálnu klímu je všeobecný a rozsiahly - počíta sa prinajmenšom s topením ľadovcov, zvýšením hladiny oceánu a zaplavením nízko položených oblastí, s poruchami v morských prúdoch a v prúdení atmosféry, ktorá bude príčinou zmien v zrážkach a teda sucha a naopak inde záplav. Viac než o globálnom otepľovaní je preto treba hovoriť o globálnych klimatických zmenách, lebo konkrétne prejavy sa budú v rôznych regiónoch líšiť. Niektoré človekom produkované látky znečisťujúce ovzdušie, predovšetkým oxid siričitý, ovzdušie zase ochladzujú. Do atmosféry sa dostávajú vo forme aerosolov, ktorých drobné častice odrážajú časť žiarenia späť do vesmíru. Paradoxne tak tieto látky, ktoré inak spôsobujú značné ekologické problémy, pôsobia taktiež pozitívne.

Atmosféra Zeme patrí medzi najstálejšie systémy Zeme - jej zloženie sa milióny rokov nijako významne nemenilo. O to krikľavejšie teda pôsobí skutočnosť, že človek dokázal v industriálnom období, t.j. za dve storočia, vyvolať výraznejšie odchýlky v zložení atmosféry, ako celé predchádzajúce geologické obdobie.

Prvý plynný obal získala Zem pri ochladzovaní asi pred 4,5 miliardami rokov. Obsahoval hlavne oxid uhličitý, vodu, dusík, amoniak a oxid siričitý v podobnom zložení, aké sa dnes uvoľňuje pri vulkanických erupciách. Nebol v ňom žiadny kyslík, pretože sa všetok spotreboval na oxidáciu kovu, predovšetkým dvojvácneho železa (tieto reakcie prebiehajú i dnes). Atmosféra podobného zloženia (95 - 97 percent oxidu uhličitého) dodnes existuje na sesterských planétach Venuši a Marse. Na Zemi vďaka vhodnej vzdialenosti od Slnka došlo k skvapalneniu časti vodnej pary a vzniku praoceánu, v ktorých sa oxid uhličitý rozpúšťal a reakciou s vápenatými a horečnatými iónmi vytváral nerozpustné uhličitany (vápenca a dolomity), v ktorých je dnes uložená väčšina oxidu uhličitého (asi 80 %).

Skleníkový efekt sa na Zemi prejavoval od samého počiatku a udržiaval teploty vhodné pre život. Prejavuje sa už viac ako 4 miliardy rokov. Niektoré plyny v atmosfére pôsobia ako "zadržiavače žiarenia" a celá Zem sa tým ohrieva. Na povrchu Zeme sa veľká časť žiarenia pohltí a následne znova vyžiari, ale s väčšou vlnovou dĺžkou, v infračervenej oblasti (t.j. v podobe tepla). Infračervené žiarenie atmosféra zachytáva a vracia späť, takže teplo sa na Zemi zhromažďuje.

Dnešný vplyv tzv. prirodzeného skleníkového efektu má veľký význam pre udržanie vody v kvapalnom stave a teda aj existenciu života. Medzi plyny v atmosfére, ktoré majú merateľný vplyv na skleníkový efekt, patrí **oxid uhličitý**, **vodná para**, ozón, **oxid dusný**, freóny, amoniak a oxid uhoľnatý. So skleníkovým efektom sa stretávame denne (napr. keď je v noci zatiahnuté, vodná para zachytáva vyžiarené teplo a je teplejšie než za jasnej noci) a jeho dôsledky sa dajú pozorovať na celej planéte

Problém teda nie je v existencii skleníkového efektu, ale v jeho narastaní, spôsobenom zmenou chemického zloženia atmosféry v dôsledku ľudskej činnosti. Ide pritom predovšetkým o **oxid uhličitý**, uvoľňovaný z fosílnych palív a **metán**, unikajúci pri ťažbe zemného plynu, pestovaní ryže a živočíšnej výrobe. Na prídavnom skleníkovom efekte sa oxid uhličitý podieľa 64 percentami. Podiel metánu je 19%, oxidu dusného necelých 6%.

Klimatológ Pavel Matejovič pre Hospodárske noviny, 16-18/9 2005 (Peter Macsovszky, krátené a upravené):

Je frekvencia extrémnych klimatických javov u nás vyššia ako v minulosti?

- Svetová meteorologická organizácia stanovila konkrétne reprezentatívne pozorovacie obdobie (klimatický normál), na základe ktorého sa potom charakterizuje podnebie daného miesta v danom čase. Dĺžka tohto obdobia je stanovená na 30 rokov. Zatiaľ boli vyhodnotené obdobia medzi rokmi 1931 - 1960, 1961 - 1990. Za posledných 10 až 15 rokov nepochybne možno pozorovať častejší výskyt extrémnych meteorologických javov. Aj v minulosti sa vyskytovali extrémne prejavy počasia, no ich intenzita a frekvencia neboli až také výrazné. Z hľadiska nového klimatického normálu, ktorý sa začal rokom 1991, bude možné častot týchto javov štatisticky vyhodnotiť až po roku 2020.

Prispieva činnosť človeka ku globálnemu otepľovaniu alebo je nepodstatná?

- Označenie **globálne otepľovanie je nepresné**. Odborníci uprednostňujú termín **klimatická zmena**, ktorý okrem teploty vzduchu zahŕňa aj iné meteorologické prvky, ako napríklad atmosférické zrážky. Klimatické zmeny sú prírodným javom, ktorý sa vyskytoval aj v dávnej minulosti, stačí spomenúť doby ľadové i medziľadové. Klimatické zmeny v minulosti boli súčasťou prirodzeného cyklu, striedania teplejších a chladnejších období. Súčasná zmena klímy je spôsobená ľudskou, najmä priemyselnou činnosťou (produkcia tzv. skleníkových plynov). Hoci sa nájdú skeptici, ktorí o tom pochybujú, dnes je to už jednoznačne dokázaný fakt.

Je reálne to, čo požaduje Kjótsky protokol?

- Problematiku znížovania škodlivých emisií, spôsobujúcich zmeny klímy, by som neredukoval len na splnenie, resp. nesplnenie požiadaviek Kjótskeho protokolu. Je známe, že hlavný podiel na zvyšovaní produkcie skleníkových plynov majú Spojené štáty, ktoré Kjótsky protokol odmietli ratifikovať. Celkovú situáciu však dnes ďalej komplikuje prudký priemyselný rozvoj takých krajín ako napríklad Čína alebo India. Aj tieto krajiny sa usilujú dosiahnuť štandard západnej Európy a USA. Do konfliktu sa tak dostáva ekonomika s ekológiou. Riešenie tohto vážneho environmentálneho problému by malo byť súčasťou medzinárodných dohôd. Na ťahu sú teda politici. Tí však, žiaľ, neuvažujú v dlhšom časovom horizonte a neradi prijímajú nepopulárne ekonomické opatrenia. Ťažko si možno predstaviť, že by sa obyvatelia vyspelej časti sveta dobrovoľne vzdali niektorých ekonomických výhod...

Ak by sa začali dodržiavať požiadavky obsiahnuté v Kjótskom protokole, kedy by sa prejavili prvé priaznivé výsledky?

- Aj keby sa okamžite radikálne znížila emisia skleníkových plynov, efektívnosť zmeny by sme spozorovali až po niekoľkých desaťročiach. Takýto scenár však vôbec nie je reálny. Klimatická zmena je teda už naštartovaná, je to nezvratný proces. Ekonomické škody spôsobené extrémnymi prejavmi počasia budú čoraz väčšími zatažovať štátne rozpočty všetkých krajín sveta. Vytvára sa priestor na vznik iniciatív založených na medzinárodnej solidarite.

Príčiny poklesu biodiverzity

- Úbytok biotopov/habitatov
- Fragmentácia biotopov
- Introdukcie nepôvodných druhov
- Nadmerný lov
- Interakcia viacerých činiteľov
- Degradácia životného prostredia

Populácia a zdroje

Ako môžu byť uvedené do rovnováhy populačný rast a zdroje? Svetová populácia rastie najrýchlejšie tam, kde si ľudia môžu najmenej zabezpečiť svoje životné potreby. Viac ako 1 miliarda ľudí po celom svete žije v slumoch a squatterských komunitách. Z 83 miliónového každoročného prírastku ľudskej populácie, iba 1 milión žije v industriálnom svete. Napriek tomu, že miera rastu populácie začala klesať, očakáva sa vzrast súčasnej populácie zo 6.2 miliardy na 9 miliárd v roku 2050, pričom 98 % tohoto rastu bude v najchudobnejších krajinách. Približne polovica sveta žijúca v mestách na 2% pôdy spotrebovávajú približne 75% zdrojov a produkuje približne rovnaké množstvo znečistenia. Počas jednej generácie približne 3 miliardy obyvateľov miest vzrastú na 5 miliárd, čím sa stane urbanizácia jedným z najsilnejších trendov dneška. Prírodné zdroje podporujúce tento rast sa scvrkávajú. Svetová populácia starne a presúva sa do miest: v roku 2050 bude viac starších ľudí ako detí a najviac z nich bude žiť v preplnených mestách. Industriálny svet sa stal bohatším predtým ako zostarol, ale úspech programov kontroly pôrodnosti bude znamenať, že rozvojový svet zostarne skôr ako sa stane bohatým.

Ing. Ivan Klinec, Prognostický ústav SAV, Bratislava

„Správame sa ako baktérie na Petriho miske s agarom, ktoré prekvitajú dokým nedosiahnu prirodzené hranice svojich zdrojov, alebo dokým sa ich nezmocní kolónia iných baktérií a nevyužije ich ako zdroj svojho rastu.“
Eric R. Pianka

Voda

Ako môže mať každý zabezpečený dostatok čistej vody bez konfliktu? Približne 450 miliónov ľudí v 29 krajinách žije v lokalitách s nedostatkom vody, pričom tento počet sa môže do roku 2050 zvýšiť na 2,5 miliardy. Viac ako 1 miliarda ľudí nemá dostatok nezávadnej čistej vody. Takmer polovica sveta nemá vyhovujúcu kanalizáciu a 80 % všetkých chorôb v rozvojovom svete je spojených s vodou. Okolo 40 % ľudstva žije v povodiach riek zdieľaných viac ako dvomi krajinami. Ak budú súčasné trendy pokračovať, potom v roku 2025 dve tretiny ľudí na Zemi budú žiť v regiónoch poznačených stresom spojeným s vodou. Vodné systémy sú zraniteľné industriálnymi katastrofami, poľnohospodárskym znečistením a teroristickými útokmi. Biznis tak, ako funguje dnes bude viesť k svetovej vodnej kríze, spojenej s masovou migráciou, chorobami a vojnami.

Ing. Ivan Klinec, Prognostický ústav SAV, Bratislava

Biologické invázie

Biologické invázie nadobudli v poslednom období taký rozsah, že aspirujú stať sa jedným z najzávažnejších globálnych problémov na Zemi. Ich dosah kolíše od lokálnych environmentálnych disturbancií, ktoré bývajú verejnosťou spravidla zanedbávané, cez vyhynutie endemických druhov až po veľké ekonomické straty a závažné ohrozenia ľudského zdravia.

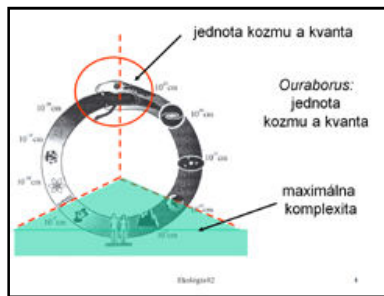
Biologickým inváziám sa budeme podrobnejšie venovať v samostatnej prednáške.

2 Hierarchické usporiadanie sveta, podmienky pre existenciu života

Nič neexistuje mimo vesmíru

“My, ľudia, sme živočíšny druh zhotovujúci najrozmanitejšie veci. Preto keď objavíme niečo krásne a dômyselne štruktúrované, automaticky zareagujeme otázkou, kto to urobil. Lenže ak chceme vedecky uvažovať o vesmíre, musíme si osvojiť veľmi dôležitú vec: takto formulovaná otázka nie je správna. Je pravda, že vesmír je krásny a má dômyselnú štruktúru, ale nemohlo ho vytvoriť niečo mimo neho, pretože podľa definície je vesmír všetko, čo existuje, a mimo neho nemôže existovať vôbec nič. A rovnako podľa definície, pred vesmírom nemohlo existovať nič, čo by mohlo byť príčinou jeho vzniku, pretože ak niečo existovalo, muselo to byť súčasťou vesmíru. Takže prvý kozmologický princíp musí znieť: Mimo vesmíru neexistuje nič.”

Lee Smolin, 2003: Tri cesty ku kvantovej teórii gravitácie. Kalligram, Bratislava.



Človek sa skladá z 10^{28} až 10^{29} atómov. Táto "ľudská mierka" sa číselne nachádza zhruba uprostred medzi hmotnosťami atómov a hviezd. Svojou veľkosťou sa teda nachádzame spolu s ostatnými živými bytosťami medzi kozmom a mikrosvetom – medzi Slnkom, ktoré má priemer miliardy metrov, a molekulou, ktorá má priemer miliardtiny metra. Podľa M. Reesa vôbec nie je náhoda, že príroda dosahuje maximálnu komplexitu práve v tejto strednej mierke: keby sa čokoľvek väčšie nachádzalo na obývateľnej planéte, polámala by to alebo rozdrvila jej gravitácia.

Nerozlučnú spojitosť medzi subatómovým prostredím vnútri organizmov a vonkajším prostredím celého kozmu ilustruje Ouraborus, emblémový had starovekého Egypta a Grécka s chvostom v papuli, ako sa neprestajne sám požíra a znovu rodí zo seba samého... Vyjadruje jednotu všetkých vecí, materiálnych i duchovných, „ktoré nikdy nemiznú, ale trvalo menia formu vo večnom kolobehu ničenia a znovustvorenia.“

V ľavej strane obrázka sú atómy a subatómové častice čiže "kvantový svet". Na pravej strane sú planéty, hviezdy a galaxie. Svet našej každodennej skúsenosti určujú atómy a to, ako sa vzájomne kombinujú do molekúl, minerálov a živých buniek. Spôsob, akým žiaria hviezdy, závisí od jadier vo vnútri atómov. Galaxie sa asi udržiavajú pokope iba vďaka vzájomnému gravitač-nému pôsobeniu obrovského roja subjadrových častíc. V hornej časti obrázka je vyjadrená vrcholná syntéza, ktorá nám zatiaľ uniká - syntéza kozmu a kvanta.

Zdroj: Martin Rees, 2004: Iba šesť čísel. Kalligram, Bratislava.

Zo slov Lee Smolina i z výroku Alberta Einsteina vyplýva pre ekológiu jeden významný dôsledok: všetky procesy na Zemi sa riadia tými istými princípmi, aké fungujú v celom vesmíre. Jedným z týchto princípov je gravitácia, vďaka ktorej sa okolo pevnej hmoty Zeme udržiava atmosféra.

“Keby sa nám niekedy podarilo nadviazať spojenie s inteligentnými bytosťami, obyvateľmi niektorej mimoslnenej planéty, prirodzeným východiskovým bodom našej spoločnej diskusie by bola gravitácia. Ved' práve táto sila udržiava planéty na obežných dráhach, a rovnako pokope častice, z ktorých sa skladajú hviezdy. Keď prejdeme k ešte väčšej mierke, gravitácia ovláda celé galaxie - teda zhľuky miliárd hviezd. Nijaká látka, nijaký druh častice, ba ani samotné svetlo, nič neunikne z jej zovretia. Gravitácia kontroluje rozpínanie celého vesmíru a možno určuje aj jeho konečný osud.”

Zdroj: Lee Smolin, 2003: Tri cesty ku kvantovej teórii gravitácie. Kalligram, Bratislava.

2.1 Gravitácia vo veľkých a malých mierkach

Gravitácia našej Zeme posobí silnejšie na väčšie telesá než na malé. Veľkosť je jedným z najvýznamnejších parametrov organizmov. Veľkosť organizmov podmieňuje aj ich telesnú stavbu, preto veľké živočíchy nie sú iba nafúknutou verziou malých: majú aj iné proporcie, napríklad hrubšie nohy v pomere k celkovej veľkosti. Dôvod je jednoduchý. Skúsme napríklad zdvojnásobiť rozmery nejakého zvierata, ale tak, že zachováme jeho tvar. Jeho objem a hmotnosť sa nezväčšia iba dvojnásobne, ale 2^3 -násobne, čiže až 8-násobne, no prierez jeho nôh sa zväčší iba 2^2 , čiže štvornásobne. Z toho vyplýva, že jeho nohy by boli prislabé a nevládali by mu poskytovať oporu. Pri stavovcoch to isté platí aj pre chrbticu. Čím je zviera väčšie, tým masívnejšie musia byť jeho stavce, aby sa jeho telo nezrútilo na zem, kam ho priťahuje gravitácia.

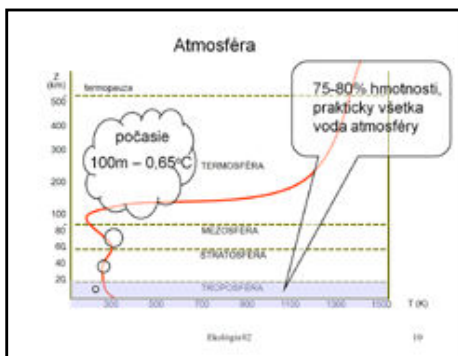
Z rovnakej príčiny (pre gravitáciu) je obmedzená aj veľkosť vtákov, pričom tieto obmedzenia sú prísnejšie napríklad pre kolibriky, ktoré sa dokážu vznášať na mieste, než pre albatrosy, ktoré plachtia.

Vo vode je však pôsobenie gravitácie oslabené (približne 6-násobne), čo dovoľuje existenciu obrovských veľrýb a vráskavcov v oceáne. Najväčším živočíchom, aký kedy na Zemi žil, preto nie je nijaký druh suchozemského dinosaura, ale vráskavec obrovský.

2.2 Počasie a podnebie



Gravitácia však neovplyvňuje organizmy iba priamo, ale výrazným spôsobom zasahuje aj do ich prostredia - má totiž dosah aj na globálny klímu i lokálne klimatické podmienky či počasie.



Atmosféra a jej delenie

Pre pochopenie niektorých zložitých dejov v atmosfére je potrebné sa zoznámiť s niektorými základnými vlastnosťami.

Troposféra

Vzduchový obal obklopujúci zemeguľu sa nazýva atmosféra. Rozdeľuje sa na viac vrstiev, z ktorých nás bude zaujímať len tá najspodnejšia - troposféra (z gr. tropos - obrat, sphaira - guľa).

V nej prebieha väčšina dejov, ktoré súhrnne nazývame počasie. Výška troposféry sa mení v závislosti od zemepisnej šírky - nad rovníkom dosahuje 14 až 18 km, nad pólmi 8 až 9 km. Prvá polovica názvu je odvodená z toho, že sa v nej stále premiešava vzduch, a že sa v nej silne prejavuje horizontálna a vertikálna turbulentná výmena tepla a obsahu vodnej pary. V troposfére je sústredených 75 - 80 % celkovej hmotnosti a prakticky všetka voda atmosféry.

Charakteristickou vlastnosťou troposféry je pokles teploty vzduchu s výškou, v priemere o 0,65 °C na 100m. Teplota vzduchu v hornej časti troposféry býva v polárnych oblastiach v zime približne -65°C a v lete -45°C, v rovníkovej oblasti sa vzhľadom k jej väčšej výške teplota pohybuje až pri -75°C. Troposféru oddeľuje od vyššie ležiacej stratosféry prechodná vrstva - tropopauza (gr. tropos - obrat, pausis - prerušenie).

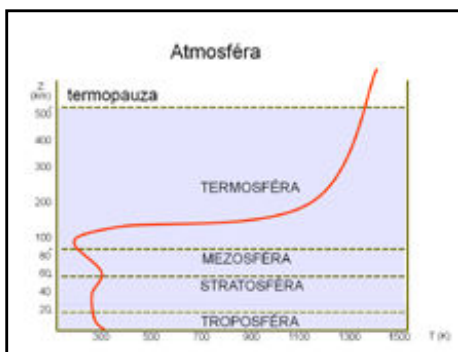
V dolnej časti troposféry klesá teplota s výškou priemerne len o 0,3 - 0,5 °C na 100m. Súvisí to s pomerne častým výskytom inverzií (rast teploty s výškou), alebo izotermie (konštantná teplota s výškou). Vrstva atmosféry priľahlá k zemskému povrchu sa nazýva prízemná vrstva atmosféry. Siahla od zeme do výšky ca 50 - 100 m. Pre túto vrstvu sú typické veľké vertikálne zmeny v prúde vzduchu, v teplote a vlhkosti vzduchu a v dôsledku prízemnej inverzie aj častá hmla. Výška prízemnej vrstvy závisí od rýchlosti vetra, členitosti zemského povrchu a od zmeny teploty vzduchu s výškou.

Prízemná vrstva je súčasťou medznej vrstvy atmosféry. Tá siaha od zemského povrchu do výšky niekoľko stoviek metrov až 1,5 km. Je to vrstva, v ktorej sa bezprostredne prejavuje vplyv zemského povrchu na priebeh meteorologických dejov. Jej horná hranica je definovaná ako výška, kde už vietor (jeho rýchlosť a smer) nie je ovplyvňovaný povrchom ale iba rozložením tlaku vzduchu s ohľadom na Coriolisovu silu (pozri nižšie) a zemepisnú šírku. S rastúcou drsnosťou zemského povrchu sa horná hranica medznej vrstvy zvyšuje.

Stratosféra

Stratosféra (z lat. stratus - vrstva, gr. sphaira - guľa) je vrstva atmosféry, ktorá sa rozprestiera nad troposférou vo výškach od 9 - 17 km do 45 - 50 km nad zemským povrchom. V spodnej časti stratosféry do výšiek asi 20 - 25 km existuje približne stála teplota - izotermia, okolo - 50 až - 55°C.

V hornej časti stratosféry je teplotná inverzia, teplota s výškou vzrastá o 1 - 3 °C/km, v subtrópoch a trópoch o 2 - 4 °C/km. Asi vo výške 50 km - s výnimkou polárnych oblastí - dosahuje teplota už 0 až +10°C. Horná hranica stratosféry - stratopauza - je vrstvou najvyšších tepôt. Chemické zloženie stratosféry je podobné ako v troposfére, obsahuje však viac ozónu (od 20 - 25 km do 50 km), ktorý pohlcuje UV žiarenie Slnka. Stratosféra je takmer vždy bezoblačná.



Mezosféra

Oblasť medzi stratosférou a ďalšou vrstvou atmosféry (mezosférou) sa nazýva stratopauza. Tu sa teplotná krivka náhle mení - v mezosfére teplota s výškou prudko klesá a pri jej hornej hranici dosahuje až -95°C. Hornú hranicu mezosféry tvorí mezopauza (asi 80 km nad povrchom Zeme). Na tejto hranici sa teplotná krivka opäť láme a začína termosféra, v ktorej teplota už len stúpa. Vo výške 150 km dosahuje až 600°C. Termosféra siaha do výšky asi 800 km. Najvyššia vonkajšia vrstva atmosféry sa nazýva exosféra.

Ozónosféra

Okrem spomínaných vrstiev, ktoré sa rozlišujú najmä na základe teplotných vlastností, existuje v zemskej atmosfére aj ozónosféra, a to vo výškach 20 - 50 km. Vzniká pôsobením UV žiarenia na molekuly kyslíka, ktoré sa rozpadajú na dva atómy a ihneď sa zasa spájajú s voľným atómom kyslíka ($O + O_2 = O_3$). Najvyššia koncentrácia ozónu je vo výškach 15 - 30 km.

Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je jedným z najdôležitejších a najsledovanejších meteorologických prvkov. **Vzduch sa priamym slnečným žiarením takmer vôbec neohrieva.** Hlavným zdrojom tepla pre vzduch je povrch Zeme. Zahrievanie zemského povrchu je veľmi zložitý proces. Počas dňa zemský povrch vstrebáva energiu slnečného žiarenia, a tak je teplejší než vzduch, ktorý sa od neho ohrieva. V noci zemský povrch vyžaruje naakumulovanú energiu (teplo) a stáva sa chladnejší ako vzduch. Vzduch zasa odovzdáva svoje teplo chladnému povrchu, ako aj chladnejším vrchným vrstvám atmosféry, takže sa tiež ochladzuje.

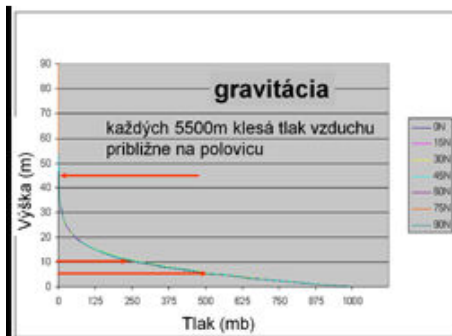
Teplotné rozvrstvenie vzduchu

Suchá vzduchová častica stúpa adiabaticky, dostáva sa do oblastí s nižším tlakom vzduchu, a tak sa musí rozpínať – vykonáva prácu na úkor vlastnej energie. Úbytok energie sa prejaví znížením teploty častice o 1 °C na 100m. Pri klesajúcom pohybe teplota častice o rovnakú hodnotu vzrastie.

Ak vystupuje častica nasýtená vodnou parou, platí to isté, čo pri suchej častici – tiež sa ochladzuje. Pri ochladzovaní však dosiahne stav presýtenia a prebytočná vodná para sa začne kondenzovať, pritom sa uvoľní určité množstvo tepla, ktoré časticu ohreje. Pokles teploty nasýtenej častice pri výstupe preto dosahuje približne iba 0,6 °C na 100m. V atmosfére sa však vyskytujú aj zvláštne prípady, a to inverzia a izotermia.

Inverzia je opačná zmena teploty vzduchu s výškou – neklesá, ale stúpa. Vyskytuje sa vždy len v určitých vrstvách troposféry, najčastejšie pri zemi. Typickým počasím pri inverzii sú sychravé hmly a chlad v nížinách, kým na horách je slnečno a pomerne teple. Izotermia je jav, pri ktorom sa teplota s výškou v určitej vrstve nemení.

Na meranie teploty sa používa niekoľko stupníc: Kelvinova začína od absolútnej nuly (-273°C), pričom má len kladné hodnoty, Celziova stupnica vychádza z bodu mrazu 0°C a z bodu varu 100 °C a Fahrenheitova stupnica má bod mrazu 32°F a bod varu 212°F.



Tlak vzduchu

Tlak je sila pôsobiaca na jednotkovú plochu. Atmosféra je k povrchu Zeme priťahovaná gravitačnou silou. Tlak vzduchu pri zemi alebo v určitej výške sa teda rovná hmotnosti vzduchového stĺpca s jednotkovým prierezom ležiacim nad touto výškou. Základnou fyzikálnou jednotkou tlaku je 1 pascal (Pa). $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/1\text{m}^2$. $100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar}$.

Za normálny tlak sa považuje hydrostatický tlak 760 mm ortuťového stĺpca pri hladine mora na 45° zemepisnej šírky a 0 °C. Pre jednotky platia vzťahy $1 \text{ hPa} = 100\text{N}/\text{m} = 1 \text{ mbar} = 0,75 \text{ torr (mm Hg)}$. Priemerná hodnota tlaku vzduchu na hladine mora pri teplote 15°C je 1013, 27 hPa.

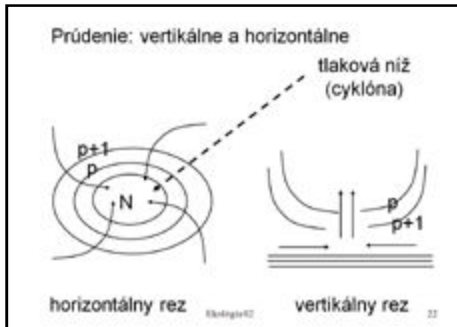
Na tlak vzduchu má vplyv teplota vzduchu, obsah vodnej pary, nadmorská výška a zemepisná šírka. S pribúdajúcou nadmorskou výškou tlak vzduchu klesá. Čím je vzduch chladnejší, tým tlak rýchlejšie klesá s výškou. Závislosť poklesu tlaku vzduchu s výškou vyjadruje tzv. barometrická formula. V princípe platí, že pri výstupe o každých 5500 m klesá tlak vzduchu približne na polovicu. Ak bude pri hladine mora tlak vzduchu napríklad 1000 hPa, potom vo výške 5500 m bude tlak 500 hPa, v 11000 m bude tlak 250 hPa, atď. Vo výške 16km je už len jedna desatina tlaku, ktorý je pri zemi, vo výške 33km len stotina a vo výške 48km tisícina. Nulovú hodnotu však nájsť nemožno, preto že atmosféra prechádza do medziplanetárneho priestoru. Namerané hodnoty tlaku vzduchu sa prepočítavajú na hladinu mora, aby bolo možné údaje o tlaku vzduchu zo staníc s rôznou nadmorskou výškou porovnávať.

Izobary

Čiary, ktoré spájajú miesta s rovnakým tlakom vzduchu prepočítaným na hladinu mora sa nazývajú izobary. Izobary sa obyčajne zakresľujú v intervale po 5 hPa. Nikdy sa neprelinajú, lebo vytvárajú spravidla koncentrické nepravidelné uzavreté čiary, ktoré takto znázorňujú miesta nízkeho alebo vysokého tlaku vzduchu. Niektoré izobary sa nad daným miestom udržiavajú po celý rok, iné sa objavujú len v letných alebo len v zimných mesiacoch.

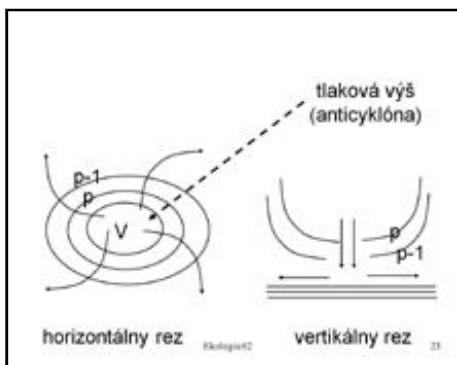
Cyklóny a anticyklóny

Časť tlakového poľa atmosféry s určitým rozdelením tlaku vzduchu a tomu zodpovedajúcim systémom prúdenia sa nazýva tlakový útvar. Existencia tlakových útvarov je podmienená nerovnomerným rozložením tlaku vzduchu v atmosfére. Medzi základné tlakové útvary patria tlakové útvary s uzavretými izobarami, t.j. tlaková níz – cyklóna a tlaková výš – anticyklóna. Tieto dva tlakové útvary azda najväčšími ovplyvňujú charakter počasia a z dlhodobého hľadiska určujú základné podmienky prostredia všetkých suchozemských organizmov, ktoré sú dané podnebím.



Tlaková níz (cyklóna)

Cyklóna je oblasť tlaku vzduchu ohraničená aspoň jednou uzavretou izobarou (izohypsou). Smerom do stredu cyklóny tlak vzduchu klesá. V strede cyklóny je teda tlak najnižší. V horizontálnej rovine je prúdenie vzduchu na severnej pologuli ľavotočivé, čiže vzduch prúdi proti smeru pohybu hodinových ručičiek.

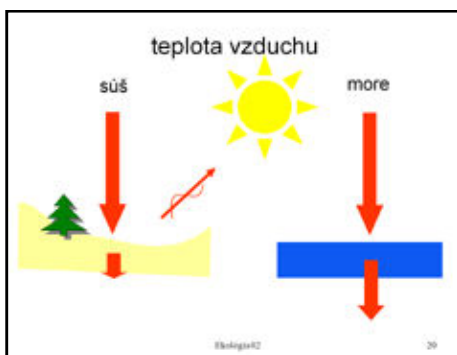


Tlaková výš (anticyklóna)

Anticyklóna je oblasť tlaku vzduchu ohraničená aspoň jednou uzavretou izobarou (izohypsou). Smerom do stredu anticyklóny tlak vzduchu stúpa, takže v strede je najvyšší. V horizontálnej rovine je prúdenie vzduchu na severnej pologuli pravotočivé – vzduch prúdi v smere pohybu hodinových ručičiek.

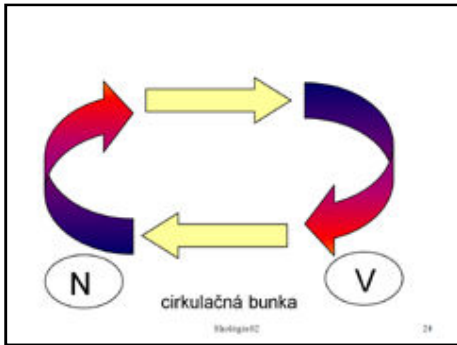
Intenzita slnečného žiarenia

Sklon zemskej osy ($23,5^\circ$) spôsobuje, že intenzita slnečného žiarenia sa v priebehu roka mení. V dôsledku toho sa v miernom klimatickom pásme striedajú štyri ročné obdobia.



Medzi súšou a vodou je v pohlcovaní tepla zo slnečných lúčov obrovský rozdiel, ktorý vyplýva z rozdielnych fyzikálnych vlastností vody a tuhých látok.

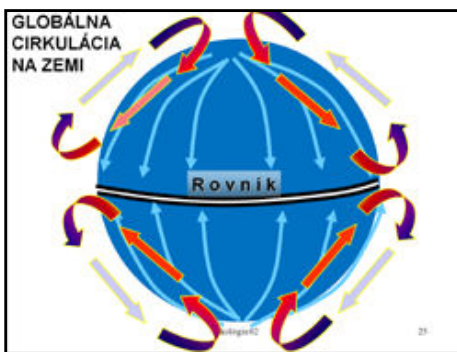
Súš sa rýchlejšie ohreje i vychladne, zatiaľ čo voda má vysokú tepelnú kapacitu - na jej zohriatie treba oveľa viac energie ako na zohriatie súše, takže sa zohrieva i chladne pomalšie ako súš.



Cirkulačné bunky

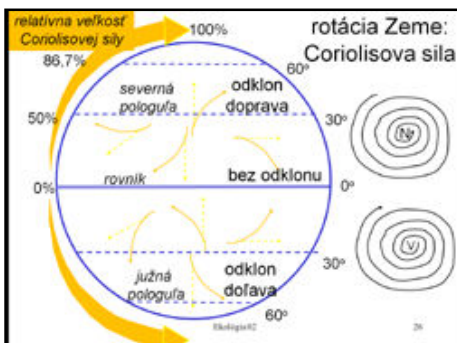
V oblasti tlakovej níše (N) vzduch stúpa hore (vertikálne prúdenie), jeho úbytok nad zemským povrchom sa nahrádza prísunom vzduchu z okolia (horizontálne prúdenie). Vo vyšších vrstvách sa vzduch hromadí, a tak sa zvyšuje jeho tlak, preto prúdi do okolia. Tam, kde sa nahromadí, vznikne oblasť tlakovej výše (V), ktorej vzduch zasa klesá k zemskému povrchu (opäť vertikálne prúdenie).

Vzduch uvádza do pohybu slnečné žiarenie, ktoré spôsobuje rozdiely v teplotách vzduchu a následne aj v tlaku vzduchu. Vzduch vždy prúdi z miesta kde je ťažší (je tam vyšší tlak) do oblasti, kde je ľahší (nižší tlak). Vďaka tomu vznikajú spomínané cirkulačné bunky. Pre cyklónu (oblasť tlakovej níše) je charakteristický vzostupný pohyb vzduchu. Pri vzostupe sa vzduch rozpína (lebo hore je nižší tlak), s čím je spojený pokles teploty. Pokles teploty môže dosiahnuť rosný bod, pri ktorom sa vodná para stáva viditeľnou – kondenzuje sa a vznikajú oblaky (pozri nižšie). Naopak, do oblasti anticyklóny (tlaková výš) vzduch zostupuje z vyšších vrstiev a súčasne excentricky odteká do okolia. Pri zostupe sa stláča a otepľuje, a tak sa podmienky vzdávajú od rosného bodu – obloha sa vyjasňuje.



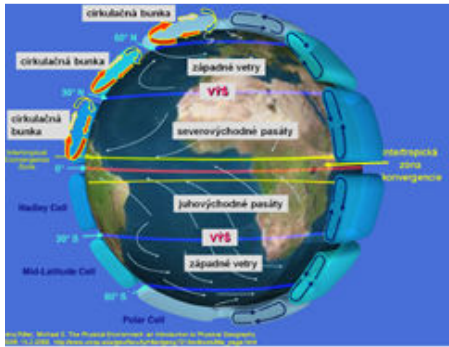
Globálna cirkulácia na Zemi

Vľavo je teoretický model, ako by vyzerala globálna cirkulácia na rovníkovej neotáčajúcej sa Zemi. Príčinou globálnej cirkulácie Zeme je rozdiel v množstve energie (zo slnečného žiarenia) medzi rovníkom a pólmi. Pretože tlak vzduchu klesá s výškou v studenom vzduchu nad pólmi oveľa rýchlejšie ako v teplom vzduchu nad rovníkom, vytvára sa vo vyšších vrstvách atmosféry tlakový spád, ktorý smeruje od rovníka k pólom. Keby sa Zem neotáčala, začal by vzduch vo veľkých výškach prúdiť v smere výškového tlakového gradientu od rovníka k pólom. V dolnej časti troposféry by sa vytvoril opačný gradient a pri povrchu zeme by fúkal vietor z polárnej tlakovej výše k rovníkovej níze. Nad rovníkom by sa vzduch zohrieval, vystupoval do výšky a vo vysokých úrovniach by vial k pólu, kde by sa ochladzoval a klesal.



Coriolisova sila

Prúdenie vzduchu sa však odohráva na Zemi, ktorá rotuje, v dôsledku čoho sa prúdenie neuskutočňuje po priamkach, ale je zakrivené. Sila, ktorá vychyľuje prúdenie vzduchu, sa nazýva Coriolisova sila. Pôsobí vždy kolmo na smer pohybu, pričom na severnej pologuli odkláňa prúdenie doprava, ale na južnej doľava. V dôsledku toho sa prúd vzduchu na severnej pologuli nedostáva do tlakovej níše priamo, ale je špirálovito zakrivený proti smeru hodinových ručičiek, kým z tlakovej výše vyteká špirálovito v smere hodinových ručičiek. Veľkosť Coriolisovej sily narastá so zemepisnou šírkou a s rýchlosťou pohybu. Rotácia Zeme spôsobuje aj prúdenie obrovských mäs morskéj vody - morské prúdy.



Skutočné cirkulačné pomery sú preto oveľa zložitejšie. Vzduch, ktorý na rovníku vystupuje do vyšších vrstiev (pretože sa najviac ohrieva) a prúdi na sever, sa čoraz väčšmi dostáva pod vplyv Coriolisovej sily, a tak sa čoraz väčšmi stáča doprava a napokon sa hromadí v oblasti 30° zemepisnej šírky, kde vznikajú dynamické anti-cyklóny. K pólu sa nedostane, ale sa hromadí v tomto pásme a dynamickými účinkami tu nastáva zvýšenie tlaku vzduchu. Z tohto pásu sa vzduch pri povrchu rozteká obidvoma smermi a vplyvom Coriolisovej sily sa opäť stáča doprava, takže do vyšších zemepisných širôk prúdi vzduch od juhozápadu a smerom k rovníku od severovýchodu pod názvom pasát. Pasáty sa vyznačujú mimoriadnou stálosťou smeru a rýchlosti vetra po celý rok. Nad pólmi súčasne vznikajú termické anticyklóny.

Coriolisovej sily sa opäť stáča doprava, takže do vyšších zemepisných širôk prúdi vzduch od juhozápadu a smerom k rovníku od severovýchodu pod názvom pasát. Pasáty sa vyznačujú mimoriadnou stálosťou smeru a rýchlosti vetra po celý rok. Nad pólmi súčasne vznikajú termické anticyklóny.

Dynamické a termické anticyklóny stretávajú na 60° zemepisnej šírky, kde vznikajú výstupné prúdy, čiže tlaková níz. Severovýchodný, resp. juhovýchodný smer je len prevládajúcim smerom, inak sa vyskytujú rôzne smery vetra vzhľadom na stredy jednotlivých anticyklón, z ktorých sa subtropický pás vyššieho tlaku skladá. Pasáty predstavujú pohyb vzduchu z vyšších zemepisných širôk smerom k rovníku. Pasáty zo severnej a z južnej pologule sa stretávajú v rovníkovej oblasti, ktorá sa nazýva intertropická zóna konvergencie. V nej za určitých vhodných podmienok vznikajú tropické cyklóny - uragán, tajfún, hurikán alebo cyklón.

zdroj: Ritter, Michael E. The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography. 2006. 15.2.2008.

http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title_page.html

More/súš – leto/zima

Navyše treba brať do úvahy vplyv už spomínaného nerovnomerného ohrievania pevniny a mora. V lete je pevnina všeobecne teplejšia a more chladnejšie, v zime je to naopak.

Globálne tlakové útvary

Výsledkom spolupôsobenia všetkých týchto činiteľov je globálne rozloženie tlakových útvarov, (pozri vyššie).

Morské prúdy

Zákonitosti podnebia i počasia okrem toho ešte komplikujú morské prúdy – studené i teplé. Morské prúdy majú vďaka fyzikálnym vlastnostiam vody oveľa väčšiu tepelnú zotrvačnosť, pričom vstupujú do interakcií so vzdušnými prúdmi.

Vlhkosť vzduchu

Vo vzduchu je prakticky vždy obsiahnutá vodná para. Jej množstvo sa mení s miestom i časom. Voda sa dostáva do atmosféry vyparovaním z vodných hladín a z pevnej pôdy. Atmosféra však obsahuje len 0,001 % svetových zásob vody.

Pri vyparovaní sa postupne zvyšuje obsah vodnej pary v priestore nad vodnou hladinou až do okamihu, keď sa vzduch vodnou parou nasýti. Vytvorí sa rovnováha

medzi počtom molekúl, ktoré sa vyparujú a počtom molekúl, ktoré sa vracajú do vody. Vyparovanie sa vtedy zastaví. Vyparovanie je tým rýchlejšie, čím je teplota vzduchu vyššia, vzduch suchší a čím je silnejší vietor, ktorý odstraňuje pary z vyparujúceho sa povrchu. Vzduch nasýtený vodnou parou má relatívnu vlhkosť 100%.

Teplota rosného bodu

Teplota, pri ktorej vzduch dosiahne stav nasýtenia a vodná para v ňom začne kondenzovať sa nazýva teplota rosného bodu. Pretože vzduch určitej teploty môže prijať len určité množstvo vodnej pary, pri ďalšom ochladzovaní sa prebytočná vodná para kondenzuje (skvapalňuje). Charakteristiku vlhkosťných pomerov vzduchu určuje rozdiel medzi teplotou vzduchu a teplotou rosného bodu, čiže deficit rosného bodu. Čím je deficit väčší, tým je vzduch suchší a naopak.

Kondenzácia a vznik zrážok

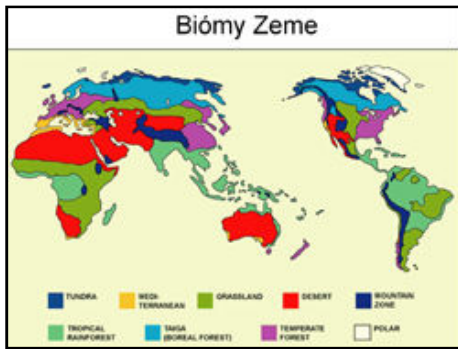
Voda sa v atmosfére vyskytuje v troch skupenstvách – v tuhom, kvapalnom a plynnom. Existuje aj prechladená voda, ktorá zostáva v tekutom skupenstve aj pri záporných teplotách. Pri zmene skupenstva sa uvoľňuje, alebo naopak spotrebúva teplo (skupenské teplo tuhnutia, resp. výparu či topenia).

Kondenzácia je skvapalňovanie (zrážanie) vodnej pary v atmosfére, a predstavuje tak opak vyparovania. Sublimácia je zasa prechod vodnej pary priamo do tuhého skupenstva, pričom vznikajú snehové vločky a ľadové kryštáliky. Kondenzácia a sublimácia prebiehajú na tzv. kondenzačných jadrách. Tvoria ich mikroskopické častičky pevných látok alebo zrnká rozpustných solí, na ktorých sa začína zrážať vodná para.

Vodná para kondenzuje najčastejšie pri vertikálnych vzostupných pohyboch vzduchu. Vzostupné pohyby s rýchlosťou niekoľko cm za sekundu spôsobujú vznik rozsiahleho oblačného pásma, ktoré môže dosahovať horizontálne niekoľko sto km a vertikálne až 7 km, ba aj viac. V dôsledku nerovnomerného zohrievania zemského povrchu slnečným žiarením alebo v dôsledku vertikálnych pohybov na svahoch hôr vznikajú zasa konvektívne vzostupné pohyby vzduchu. Ich horizontálne rozmery sú menšie, ale vertikálna rýchlosť dosahuje 5 až 10 cm/s, niekedy až 20 cm/s.

Teplý vzduch s určitým obsahom vodnej pary stúpa a adiabaticky sa ochladzuje, pričom jeho relatívna vlhkosť vzrastá. V určitej výške vlhkosť dosiahne 100% čiže stav nasýtenia a pri ďalšom vzostupe vodná para kondenzuje. Táto výška sa nazýva kondenzačná hladina a tvorí základňu oblakov. Oblak, ktorý sa skladá len z kvapôčiek vody, je koloidálne stabilný, čo znamená, že väčšie kvapky narastajú na úkor menších. Z takýchto oblakov s nízkou základňou môže mrholiť.

Pri ďalšom vertikálnom vývoji oblaku sa počet kvapiek zvyšuje a oblak hustne. Pri prechode cez nulovú izotermu malé kvapky, z ktorých sa skladá oblak, nezamrzajú, ale voda, ktorú obsahujú, sa prechladí. K zamŕzaniu dochádza až pri teplote $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, pričom oblak vtedy získava zmiešanú štruktúru a stáva sa koloidne vratkým – rýchlosť spájania kvapiek (koagulácia) sa zvyšuje. Výška, v ktorej začínajú prechladené kvapky mrznúť, sa nazýva hladina ľadových jadier. Vodná para vyparujúcich sa drobných kvapiek sublimuje na už zmrznutých kvapkách. Takto vzniknuté ľadové jadrá sa zväčšujú a narastá aj ich pádová rýchlosť, takže postupne začnú padať, a to vo forme snehu. Ak je nulová izoterma veľmi nízko, dopadajú zrážky vo forme snehu až na zem. V lete sa vo vrstve s kladnými teplotami roztopia a z oblaku prší dážď.



Biómy

Globálne klimatické pomery sa odrážajú na rozšírení rozsiahlych ekosystémov, ktoré sa vyznačujú charakteristickými rastlinnými a živočíšnymi spoločenstvami. Nazývajú sa biómy. Na súši rozoznávame desať základných biómov. Ich vlastnosti sú dané najmä podnebím, pretože podnebné podmienky určujú, aké druhy rastlín v danej oblasti rastú. Tropické dažďové lesy sa napríklad nachádzajú iba tam, kde je stále teplo a vlhko, púšte za-za tam, kde je sucho – preto tam nerastú stromy.

Každý bióm sa nachádza vo viacerých oblastiach sveta – vždy tam, kde prevláda rovnaké podnebie. Rastliny tých istých biómov sú v rôznych oblastiach rôzne, ale keďže rastú v rovnakých podmienkach, často majú rovnaký tvar, ba aj rovnaký druh listov. Živočíchy závisia od rastlín, takže aj ony podliehajú rozdeleniu do biómov. Napríklad väčšina bylinožravých cicavcov žije v trávnatých oblastiach, veľká časť hmyzu sa vyskytuje v lesoch tropického a mierneho pásma. Medzi najdôležitejšie biómy hadov a jašterov patria púšte, hoci sa im celkom dobre darí aj v krovinatých oblastiach. Veľká časť rýb sveta žije pri koralových útesoch, ktoré predstavujú morskú alternatívu suchozemských biómov.

Keďže vlastnosti biómov závisia predovšetkým od podnebia, nemajú presne vymedzené hranice. Naopak, susediace biómy zvyčajne splyvajú. Na ďalekom severe ihličnaté lesy postupne ustupujú tundre, v tropickom pásme sa krovinaté oblasti plynulo menia na púšť. V niektorých oblastiach môžu prechodné oblasti medzi dvoma biómami dosahovať šírku stoviek kilometrov. Podnebné podmienky sa pozvoľna menia, a tak sa menia aj biómy. Tam, kde ubúdajú zrážky, sa púšte rozširujú, ale keď zrážok opäť pribudne, hranice púští sa vrátia tam, kde boli kedysi. Čím ďalej do minulosti zjídeme, tým väčšie zmeny spozorujeme. V poslednej dobe ľadovej pokrývala tundra veľkú časť Severnej Ameriky, Európy a Ázie. Tropické dažďové pralesy sa scvrkli, pretože prevládalo suché a studené podnebie. S ústupom dažďových pralesov ustupovali aj živočíchy, ktoré v nich žili.

3 Ekologické faktory

Ekologický faktor je každá vlastnosť prostredia, resp. ekologického systému, ktorá má priamy vplyv na prvky ekosystému a na charakter ich vzájomných vzťahov. Ekologické faktory možno rozlišovať podľa viacerých kritérií.

3.1 Klasifikácia ekologických faktorov

Kritérium: účinnosť

Hlavné faktory majú podstatný vplyv na organizmy (napr. slnečné žiarenie)

Vedľajšie, iné faktory - ich vplyv je taký slabý, že ich možno z ďalšieho uvažovania vylúčiť

Kritérium: postavenie voči systému

Vonkajšie faktory - ich vplyv na prvky systému nevyvoláva **spätnú väzbu** medzi systémom a vonkajšími faktormi

Vnútorne faktory - ich vplyv na prvky systému vyvoláva **spätnú väzbu**

Kritérium: pôvod

Abiotické faktory - fyzikálne a chemické vlastnosti prostredia

Biotické faktory - vzájomné vzťahy medzi organizmami

Kritérium: čas

Faktory, ktoré pôsobia na organizmy nie sú konštantné, ale menia sa v čase i priestore. Niektoré faktory môže podliehať aj cyklickým zmenám aj náhodným zmenám súčasne. Na cyklické zmeny sa organizmy dokážu adaptovať, na základe určitých podnetov ich dokážu identifikovať v predstihu, čo im umožňuje, aby sa na ne pripravili. Napríklad signálom blížiacej sa zimy je skracovanie svetelnej dĺžky dňa.

Náhodné faktory - zmena z momentu na moment, napr. atmosférické - meteorologické javy

Cyklické faktory - zmeny, ktoré sa odohrávajú s určitou pravidelnosťou (ročné obdobia)

Podmienky a zdroje

Podmienky sú také ekologické faktory, ktoré sa pri využívaní organizmom nespotrebovávajú. To okrem iného znamená aj to, že nie sú nedostupné pre iné organizmy. Podmienkou je napríklad teplota, ktorá vyjadruje mieru tepla v danom prostredí.

Zdroje sú také ekologické faktory, ktoré sa pri využívaní organizmom spotrebúvajú, takže pre iné organizmy sú potom nedostupné. Môže ním napríklad kyslík v uzavretom priestore. Zdroje sú teda predmetom súťaže čiže kompetície medzi organizmami.

3.2 Adaptácie

Faktory teda určujú, v akom životnom prostredí organizmy žijú. Organizmy sa všetkým týmto faktorom prispôsobujú - adaptujú - v procese evolúcie. Inými slovami, organizmy majú vyvinuté vlastnosti, ktoré im umožňujú využívať podmienky a zdroje, brániť sa proti nim aj chrániť.

Adaptácie sa prejavujú v rozmanitých oblastiach, podľa toho ich členíme na:

- 1. morfologické** (tvar tela a štruktúr)
- 2. fyziologické** (životné procesy, metabolizmus)
- 3. etologické** (behaviorálne - správanie)

Adaptácie sú významným javom, ktorý treba v ekológii vnímať výsostne vo svetle evolúcie. Sú totiž výsledkom interakcií medzi vlastnosťami jedincov a ich okolím, nie však dnes žijúcich organizmov, ale ich predkov. Pochádzajú teda z minulosti. Život dnes žijúcich jedincov sa môže v budúcnosti premietnuť do adaptácií organizmov, ktoré budú žiť v budúcnosti. Na ich vzniku sa podieľajú dva zdroje informácie:

programový (genóm, čiže "softvér" obsahujúci inštrukcie na výstavbu organizmu) a vývinový (vývinová interakcia jedinca s prostredím, epigenetické mechanizmy).

3.3 Ekológia a evolúcia

Adaptácie, ktoré pozorujeme na organizmoch v súčasnosti, sú výsledkom interakcií medzi neživou hmotou (prostredím) a živou hmotou (organizmami), ktoré sa odohrali v minulosti. Adaptácie sú výsledkom evolučných procesov. Ekológiu a evolučnú biológiu spájajú veľmi úzke väzby - evolúcia je ekológia natiahnutá do časového obdobia dlhého ako existencia života.

Jean Baptiste Lamarck: transmutačná hypotéza

Prvú ucelenú teóriu evolúcie navrhol francúzsky prírodovedec J. B. Lamarck. Veril v neprerušene spontánne vytváranie jednoduchých živých organizmov prostredníctvom pôsobenia hmotnej životnej sily či fluida na fyzickú hmotu. Životné fluidum premenlivo stotožňoval buď s elektrinou, alebo s nervovým fluidom živočíchov.

Nervové fluidum poháňalo podľa Lamarcka evolúciu živočíchov dvoma základnými spôsobmi. Po prvé, vonkajšie podnety a vnútorné potreby môžu spôsobiť, že fluidum sa prostredníctvom cvičenia koncentruje v určitých častiach tela a stimuluje tam vznik nového orgánu. Po druhé, fluidum prirodzene priteká k používaným orgánom a odteká z nepoužívaných, v dôsledku čoho sa používané ďalej vyvíjajú, kým nepoužívané atrofujú. Lamarck vnímal celý proces ako vysoko adaptívny. Vytváraním potrieb a stimulovaním používania orgánov by dlhotrvajúce environmentálne zmeny pôsobiace na populáciu viedli vývin organizmov v danej populácii určitým smerom.

Najznámejším príkladom Lamarckovej evolúcie je príklad krátkokrčných predchodcov modernej žirafy, ktoré údajne natahovali krky, aby dočiahli na čoraz vyššie listy, a to v reakcii na čoraz suchšie podmienky v africkej savane. Ako im fluidum pritekalo do krkov, predlžovali sa. Keby sa tieto zmeny nepreniesli na potomkov, zahynuli by spolu s pozmeneným jedincom. Na to, aby to celé fungovalo, Lamarck postuloval, že nadobudnuté znaky fixované nervovými fluidom (napríklad dlhší žirafi krk) sú dedičné. Keďže sa zmeny jedincov v priebehu generácií kumulovali, vyvíjali sa viditeľne odlišné typy. Taxonomické odlišnosti (napríklad rod či druh) – s výnimkou zásadných rozdielov medzi rastlinami a živočíchmi – stratili v lamarckovskom svete akýkoľvek význam. Všetky organizmy jednoducho postupovali k čoraz väčšej komplexite. Tento proces mohol, samozrejme, v dôsledku podmienok prostredia nadobúdať u rozličných organizmov rôzne podoby, ale trend bol všade rovnaký. Súčasná paleta foriem života nebola ani nemenná ani nemala spoločného predchodcu, mienil Lamarck, podľa neho bola iba momentkou vývoja z početných začiatkov, pričom špecializovanejšie organizmy predstavovali staršie vývojové línie ako menej špecializované línie. Jedinou konštantou bola zmena.

Citované zo zdroja: Edward J. Larson, *Evolúcia – Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart, 2006 (preklad VK; krátené).

Charles Darwin: prírodný výber

Po Lamarckovi prišiel s prevratnou teóriou o vzniku druhov prírodným výberom Charles Darwin (nezávislo od neho ju v tom istom čase vypracoval aj A. R. Wallace).

Darwin sa inšpiroval klasickým dielom Thomasa Malthusa *Esej o princípoch populácie*: všetky druhy, vrátane človeka, sa rozmnožujú neudržateľne vysokou mierou, tvrdil Malthus. Nemajú dostatok potravy kamkoľvek sa pohnú, „nedostatok, ten imperatívny a všadeprítomný zákon prírody, ich udržiava v rámci predpísaných hraníc“, vysvetľoval. „U rastlín a živočíchov je jeho dosah v pľtvaní semien, chorobách a predčasnej smrti. U človeka v biede a neresti.“

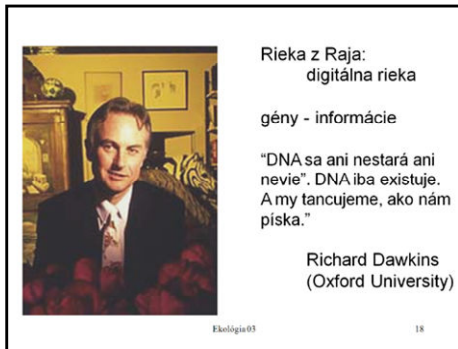
Darwin rozšíril Malthusov princíp na všetky živé tvory a videl v ňom prírodný mechanizmus pre evolučný vývoj. Začal s predpokladom, že všetky jedince každého druhu sa prirodzene líšia a ďalej sa domýšľal, že v rámci každého druhu sa odohráva súťaživý zápas o prežitie, ktorý slabšie jedince eliminuje a silnejšie (alebo lepšie prispôsobené) necháva rozmnožovať sa a odovzdávať svoje prospešné adaptácie ďalšej generácii. Svoju teóriu nazval „prírodný výber“.

Darwin stotožňoval tento proces s metódami umelého výberu používanými šľachtiteľmi rastlín a zvierat. Šľachtitelia vytvárali a udržiavali vysoko diferencované variety nepretržitým selektovaním určitých želaných znakov v plemennom materiáli, napríklad dlhé ušnice bassetov (plemeno psa) alebo smotanové mlieko jerseykého plemena kráv. Analogickým uvažovaním Darwin videl vo vnútrodrohovej kompetícii o potravu i partnera vytváranie nových druhov v rámci daného prostredia, a to neustálym výberom znakov, ktoré prispievali k prežívaniu a rozmnožovaniu, ako sú napríklad veľké silné zobáky vtákov na miestach s tvrdými semenami.

Podľa Darwina druh jednoducho tvoril populáciu fyzicky podobných jedincov schopných rozmnožovať sa spolu, nie ideálnu, nemeniacu sa formu života. Tieto podobné (ale nie totožné) jedince budú v malthusovskom svete nevyhnutne medzi

sebou súťažiť o tie isté obmedzené zdroje, zanechávajúc najzdatnejšie z nich, aby prežili a rozmnožovali svoj druh. Uvedomoval si, že rozdielne prírodné prostredia a ekologické niky budú uprednostňovať rozdielne adaptácie, takže druhy sa nebudú vyvíjať priamočiarym lamarckovským spôsobom. Darwin si skôr predstavoval rozvetvujúci sa proces evolučného vývoja s rozličnými dcérskymi druhmi vyvíjajúcimi sa rozličnými smermi zo spoločného ancestrálneho typu, aby vyplnili dostupné geografické priestory a ekologické niky. Rozdielne miery úmrtnosti spôsobené výlučne prírodnými faktormi vytvárali podľa Darwina nové druhy.

Citované zo zdroja: Edward J. Larson, *Evolúcia – Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart, 2006 (preklad VK; krátené a upravené).



Richard Dawkins: génocentrizmus

Po objave DNA (Watson a Crick, 1953) vznikla tzv. moderná syntéza – genetika a molekulárna biológia sa spojila s klasickým darwinovým konceptom prírodného výberu. Dnes sa označuje aj ako neodarwinizmus. Jeho hlavnými tézami sú: 1) evolúciu poháňajú mutácie a prírodný výber (evolúcia je séria úspešných omylov); 2) nové druhy vznikajú prírodným výberom, t.j. prežívajú iba jedince najvhodnejšie pre dané prostredie; 3) vývoj je postupný.

Podľa Richarda Dawkinsa (popredného neodarwinistu známeho teóriou sebeckého génu) sú organizmy iba schránkami génov, ktoré ich využívajú na svoju replikáciu na úkor ostatných „sebeckých“ genov. Tým napríklad vysvetľuje neegoistické (altruistické) správanie niektorých živočíchov v určitých situáciách. Napr. rodičia cicavcov, vtákov a iných živočíchov (aj človeka) chránia svoje potomstvo a niekedy sú aj ochotné obetovať sa za ich záchranu života preto, že je pravdepodobné, že sú nositeľmi rovnakých génov a budú môcť odovzdať ich ďalej. Dawkins sa preslávil aj svojím konceptom evolúcie ako digitálnej rieky: ...“Svet sa zaplňa organizmami, ktoré majú vlastnosti potrebné na to, aby sa stali predkami. Toto je darwinizmus vyjadrený jednou vetou”...

Gény nie sú podľa Dawkinsa nič iné ako informácia – informácia, ktorá sa dá zakódovať, prekódovať a dekodovať bez degradácie alebo zmeny významu. Informácia sa dá kopírovať, a pretože je digitálna, vernosť kopírovania môže byť obrovská. Symboly DNA sa prenášajú generáciami len s takým malým počtom náhodných chýb, ktorý stačí na zabezpečenie variability. Spomedzi týchto variácií sa automaticky stanú na svete najpočetnejšími tie kódované kombinácie, ktoré (len čo ich organizmy dekodujú a riadia sa nimi) spôsobia, že organizmy podniknú aktívne kroky na ich zachovanie a rozšírenie. My (všetky organizmy) sme stroje na prežitie naprogramované rozširovať tú digitálnu databázu, ktorá naprogramovala nás. Na darwinizmus sa teraz dívame ako na súperenie na úrovni čisto digitálneho kódu.

Zdroj: Richard Dawkins, *Rieka z Raja*. Archa, 1996.

Evolučná vývinová biológia, epigeneticizmus

V Dawkinsovom zmysle teda adaptácie nie sú výsledkom aktívneho prispôbovania sa organizmov, ale slepej náhody – organizmy sa môžu modifikovať vďaka mutáciám a prírodný výber následne rozhodne, či zmutované jedince (populácie) prežijú a zanechajú potomstvo aj so zmodifikovanými vlastnosťami, alebo nie.

V súčasnej evolučnej biológii teda dominuje neodarwinizmus, ktorý tvorí hlavný prúd evolučného myslenia. Mainstreamový neodarwinistický koncept však trpí jedným zásadným nedostatkom – v princípe počíta iba s hotovými organizmami – čiže dospelými jedincami, ktoré majú určité vlastnosti – vhodné alebo nevhodné. Prírodný výber potom plazivým spôsobom určí víťaza a ten môže za odmenu plodiť potomstvo so

svojimi vlastnosťami. V skutočnosti však každý mnohobunkový organizmus existuje nielen v priestore, ale aj v čase, a kým dospeje do svojej definitívnej podoby, prechádza zložitým procesom individuálneho vývinu – ontogenézy. Prírodný výber teda nemôže pôsobiť iba na hotové dospelé jedince, ale po celý čas existencie života na Zemi musí pôsobiť na všetky vývinové štádiá mnohobunkových organizmov. A tie majú často celkom iné vlastnosti i životné nároky ako dospelé jedince. Ontogenéza pritom nie je priamočiary proces s vopred nalinkovaným priebehom, ale proces výberu z takmer nekonečného množstva rozvetvujúcich sa možností, ktoré vyvíjajúcemu sa jedincovi ponúka interakcia jeho genotypu s prostredím.

V posledných rokoch sa preto dostáva do popredia mladá vedecká disciplína – evolučná vývinová biológia, vo svete známa pod skratkou „evo-devo“. Je len prirodzené, že ani evo-devo nepredstavuje jednoliaty prúd myšlienkových smerov, ale tiež sa rozvetvuje a člení. Azda najpozoruhodnejšiu vetvu evo-devo predstavuje epigeneticizmus. Epigenéza je proces, ktorý sa odohráva takpovediac mimo dosahu genetického kódu, a podľa všetkého sa významne zúčastňuje na výstavbe každého mnohobunkového organizmu počas jeho ontogenézy. Viacerí významní vedci sa dnes domnievajú, že epigenéza zohráva jednu z rozhodujúcich úloh aj v evolúcii. Epigenetika pritom prisudzuje dôležitú úlohu v procese evolúcie aj fenotypu (fenotyp je typ organizmu, ktorý vznikol ako produkt genotypu – súbor znakov organizmu okrem génov samých), nielen genotypu, ako tvrdí Richard Dawkins. Veľmi výstižne to napísal Wallace Arthur v knihe *Predpojaté embryá a evolúcia* (2004): „Evoluční teoretici by nemali vyhadzovať fenotypickú plasticitu len tak von oknom iba preto, že nie je dedičná.“ Jadrom tejto Arthurovej knihy je revolučná odpoveď na otázku, čo determinuje smerovanie evolučných zmien. „Od čias Darwina sa mnohí biológovia uspokojujú s odpoveďou: „prírodný výber“. Arthur však nie. Osvojil si názor, že v determinácii smerov, ktorými sa uberá evolúcia (vrátane vzniku človeka) má „predpojatost“ embryí k spôsobom, akými sa môžu pozmeniť, rovnaký význam ako prírodný výber.“

Zdroj: Vladimír Kováč, doslov v knihe Edward J. Larson, *Evolúcia – Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart 2006 (upravené).

Epigenetické mechanizmy a evolúcia

Ucelenú predstavu o tom, ako evolúciu ovplyvňuje epigenéza, publikoval sliezsky rodák, ktorý dlhé roky pôsobil aj v Bratislave a dnes je emeritným profesorom University of Guelph (Ontario, Kanada), Eugen K. Balon. Jeho teória vychádza zo známeho modelu epigenetickej krajiny Conrada H. Waddingtona. Ten zobrazuje možný pohyb guľôčky v členitom teréne s viacerými rozvetveniami.

Model predstavuje osud bunky (jej možné cesty diferenciácie) v priebehu ontogenézy. Bunka prechádza rozmanitými dráhami (typy génových aktivít), pričom mimobunkové signály (zvnútra organizmu alebo tiež z vonkajšieho prostredia) v mieste vetvenia dráh usmerňujú bunku do určitých ďalších dráh, a to tak, že zapínajú, resp. vypínajú odlišné gény. Balon z tohto modelu odvodzuje priebeh ontogenézy mnohobunkových organizmov a odtiaľ je už len krôčik k zmenám na úrovni evolúcie – veď akákoľvek fenotypická evolučná zmena sa môže odohrať výlučne počas ranej ontogenézy.

Fenotypová plasticita, teória alternatívnych ontogenéz

Teória alternatívnych ontogenéz (Balon, 1988) stavia na poznaní, že budovanie dospelého jedinca každého mnohobunkového organizmu (t.j. jeho ontogenéza) si vyžaduje dva zdroje informácií: genetický zdroj – je ním genotyp, ktorý poskytuje vyvíjajúcemu sa organizmu programovú informáciu, a epigenetický zdroj – ten zabezpečuje fenotyp, ktorý dodáva organizmu vývinovú informáciu. Programová informácia obsahuje návod, aký druh organizmu (a v základných rysoch aj to, aký jedinec) sa má počas ontogenézy vybudovať, vývinová informácia poskytuje jedincovi spätnú väzbu – na základe interakcií medzi vyvíjajúcimi sa štruktúrami či interakcií organizmu s vonkajším prostredím. Vďaka tejto spätnej väzbe môže program priebeh ontogenézy korigovať a usmerňovať tak, aby sa výsledkom celého procesu stal životaschopný jedinec. Oba zdroje informácií sa vyznačujú variabilitou stavov v škále od extrémne

generalizovaných po extrémne špecializované, pričom v rámci populácie má táto variabilita priebeh klasickej Gausovej krivky zvonovitého tvaru. Dominujú priemerné jedince, smerom k obom extrémom počet jedincov klesá. Škálu variability programovej informácie predstavuje genetická variabilita populácie, škála variability vývinovej informácie vzniká na základe spomínaných interakcií čiže epigenetických procesov.

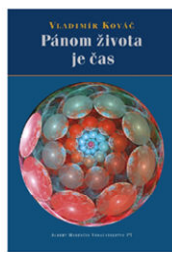
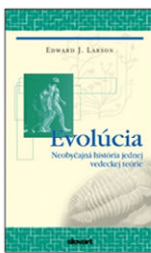
Zdroj: Vladimír Kováč, Doslov v knihe Edward J. Larson, *Evolúcia – Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart, 2006 (upravené).

Podľa teórie alternatívnych ontogenéz živé systémy vlastne fungujú na podobnom princípe ako počítače – na princípe dychotómie či bifurkácie. Každá operácia počítača je založená na sérii krokov, pri ktorých vždy ide o výber z dvoch možností (0 alebo 1). To isté platí v krátkodobom meradle pre ontogenézu (život jedinca) a v dlhodobom aj pre evolúciu (život na Zemi).

Všetky organizmy sa vyznačujú *potenciálom* reagovať počas svojej ontogenézy na podnety vnútorného a vonkajšieho prostredia dvoma spôsobmi – “0”, alebo “1”. Vďaka tomu môžu vznikať rozličné formy (jedince) toho istého druhu, i rozličné formy organizmov (druhy). Preto, keď sa ocitnú dva geneticky identické jedince v dvoch výrazne odlišných prostrediach, vyvíjajú sa odlišne a vytvoria dva rozdielne fenotypy. Ak ani jeden z faktorov prostredia neprekročí hranice tolerancie daného druhu, oba fenotypy môžu byť životaschopné. Po určitom čase môžu rozdielne ontogenetické trajektórie (generalizované *vs.* špecializované) celých generácií viesť k vzniku nového samostatného druhu s odlišnými vlastnosťami. Bifurkácia v evolúcii sa potom prejavuje v podobe existencie príbuzných druhov s odlišnými ontogenézami. Niektoré cicavce napríklad vrhajú mláďatá, ktoré sú už niekoľko minút po príchode na svet pripravené postaviť sa vlastné nohy a dostáva sa im len málo rodičovskej starostlivosti (napríklad zajac), iné sa rodia slepé, bez srsti a bez niekoľkotýždňovej rodičovskej starostlivosti sú celkom bezmocné (králik). Podobné dvojice možno nájsť aj medzi vtákmi (nidifúgne a nidikolné druhy), rybami a mnohými inými organizmami – vrátane človeka.

Zdroj: Vladimír Kováč, Doslov v knihe Edward J. Larson, *Evolúcia – Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart, 2006 (upravené).

Lamarckova hypotéza transmutácie je teda mylná, racionálne jadro – myšlienka aktívnej adaptácie organizmov na vplyvy prostredia sa však zachovala až dodnes.



Ekológia 03

29

Odporúčaná literatúra:

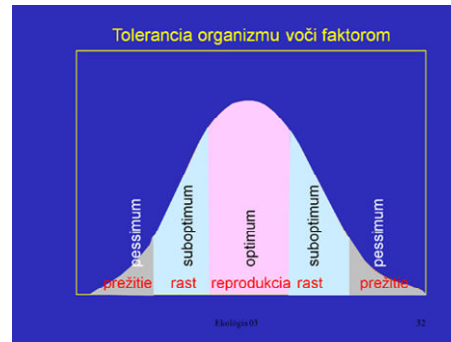
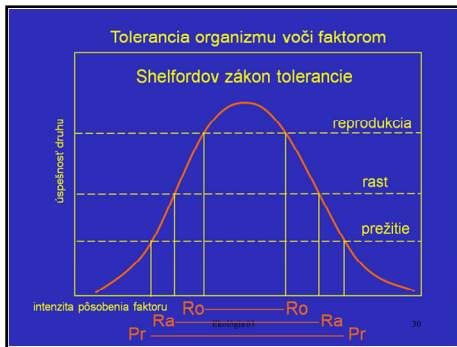
Larson, E. J. 2006: *Evolúcia. Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart, 346 s. (Slovenský preklad anglického originálu Larson, E. J. 2004: *Evolution – The Remarkable History of a Scientific Theory*, Random House Publishing Group.)

Kováč, V. 2007: *Pánom života je čas*. Albert Marenčin Vydavateľstvo PT, Bratislava, 182 s.

3. 4 Shelfordov zákon tolerancie

Vzťah organizmov a prostredia sa v najčirejšej podobe prejavuje v ich odozve na pôsobenie ekologických faktorov. Organizmy majú ekologické minimum a maximum a rozsah medzi nimi predstavuje hranice tolerancie. Poňatie obmedzujúcich účinkov maxima i minima formuloval v zákone tolerancie Shelford v r. 1913. Na základe laboratórnych i terénnych experimentov a testov v podmienkach, pri ktorých boli pokusné organizmy vystavované súborom nepriaznivých podmienok (Hart 1952) dnes poznáme príčiny rozšírenia organizmov v prírode (pocho-piteľne treba dodať, že ide len o jeden aspekt v interakcii množstva činiteľov, vstupov, podnetov či vzťahov). Nie je

výnimkou situácia, keď sú všetky abiotické podmienky v medziach tolerance organizmu, a predsa organizmus nevydrží v dôsledku biotických vzájomných vzťahov.



Empirické zásady dopĺňajúce zákon tolerancie:

1. Organizmy môžu mať široký rozsah tolerance k jednému faktoru a úzky rozsah tolerance k inému.
2. Organizmy so širokým rozsahom tolerance ku všetkým faktorom majú potenciál byť najrozšírenejšie.
3. Pokiaľ nemá druh optimálne podmienky vzhľadom na jeden ekologický faktor, môžu sa znížiť hranice jeho tolerance i k iným ekologickým faktorom. Napríklad Penman (1956) uvádza, že ak je limitujúcim faktorom obsah dusíku v pôde, znižuje sa odolnosť tráv voči suchu. Inými slovami - pri nízkej hladine dusíka v pôde treba viac vody, aby sa zabránilo vädnutiu, než pri vysokej hladine dusíka.
4. Len výnimočne možno toleranciu k určitému ekologickému faktoru vnímať izolovane od pôsobenia iných faktorov. Ekologické faktory totiž pôsobia vo vzájomných interakciách.
5. Kritickým obdobím, počas ktorého je pravdepodobnosť, že faktory budú pôsobiť ako limitujúce, je obdobie rozmnožovania. Rozsah tolerance rozmnožujúcich sa živočíchov, resp. semien, vajčiek, embryí, semenáčikov i lariev je zvyčajne užší ako u nerozmnožujúcich sa dospelých rastlín či živočíchov.

Funkcia odozvy

Reakciu organizmu na pôsobenie ekologických faktorov čiže ich odozvu, možno vyjadriť modelmi, ktoré označujeme aj termínom funkcia odozvy. Je to funkcia, ktorá premietne celú množinu faktorov do množiny možných odpovedí organizmov na tieto faktory. Odozva organizmu sa meria stupňom jeho prosperity, treba však zdôrazniť, že nejedná sa o jediná a jednoznačná miera prosperity organizmu. Preto ju vyjadrujeme rozličnými bežnými reakciami organizmu, najmä fyziologickými, napríklad plodnosťou. V prípade hodnotenia celej populácie možno tiež použiť vypočítateľné ekologické ukazovatele, akými sú napríklad natalita, mortalita, dĺžka života, hustota, atď. (o týchto parametroch bude reč neskôr - v demekológii).

Funkcia odozvy sa definuje na intervale hodnôt ekologického faktoru, ktorý predstavuje zónu tolerance organizmu. Najvyššiu mieru prosperity dosahuje organizmus v zóne optima, ktorá predstavuje hodnoty, v ktorých má organizmus najlepšie čiže optimálne podmienky na život. Po oboch stranách zóny optima sa nachádza zóna suboptima, kde už nie sú podmienky najpriaznivejšie čiže optimálne, ale ešte stále sú priaznivé, organizmu takmer nič nechýba na prežívanie, obmedzuje sa ale, alebo celkom vypadáva, rozmnožovanie. Ešte bližšie k okrajom intervalu sa nachádza zóna pesima, t.j. zóna, v ktorej sú podmienky pre organizmus nepriaznivé, ale ešte v nich dokáže prežívať. V tejto zóne vypadáva väčšina funkcií organizmu, zachovávajú sa len bazálne funkcie umožňujúce život. Za hranicou zóny tolerance organizmus nedokáže žiť, nastáva smrť.

Podľa toho, akým rozsahom tolerance voči ekologickým faktorom sa daný organizmus vyznačuje, rozlišujeme organizmy eurýkne (široký interval tolerance) a stenoekne (úzky interval tolerance). Zóna tolerance sa nemusí nachádzať pri stredných

hodnotách, naopak, môže byť pri jednom či druhom okraji intervalu. Potom rozlišujeme organizmy oligostenoečné – ich zóna tolerancie je v oblasti nízkych hodnôt daného ekologického faktoru - a polystenoečné ich zóna tolerancie leží v oblasti vysokých hodnôt daného ekologického faktoru.

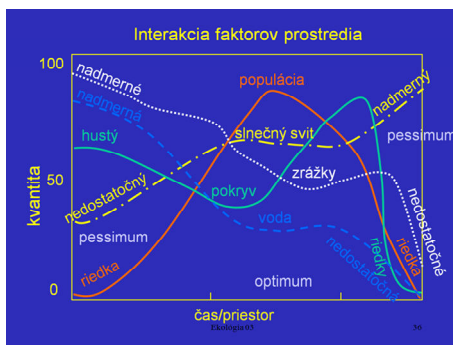
Prípady eury- a steno- slúžia aj na označovanie tolerancie organizmov k jednotlivým faktorom. Napríklad, ak hovoríme o tolerancii voči teplote, rozlišujeme organizmy eurytermné a stenotermné, pri tolerancii voči obsahu solí euryhalínne resp. stenohalínne, atď...

Funkcie odozvy sú druhovo špecifické, ale nie sú nemenné, konštantné v čase, navyše aj v rámci druhu podliehajú veľkej individuálnej variabilite. (Je to veľmi významná vlastnosť živej hmoty – organizmov – variabilita v tolerancii zvyšuje vyhliadky daného druhu organizmu na dlhodobé prežívanie – zachová sa tá časť populácie, tolerancia ktorej spadá do intervalu valencie daných ekologických faktorov). V neposlednom rade treba mať na pamäti skutočnosť, že životné cykly mnohých organizmov sú komplikované, takže počas svojej ontogenézy prechádzajú viacerými periódami. Základný model ontogenézy živočíchov napríklad pozostáva z piatich periód: ovulárnej (vajíčko), larválnej, juvenilnej, adultnej a senektívnej. Počas každej periódy môže mať organizmus iný interval tolerancie k pôsobeniu jednotlivých faktorov.

Liebigov zákon minima

Aby organizmus mohol v danej situácii existovať a prežívať, musí mať k dispozícii látku nevyhnutnú pre rast a rozmnožovanie. Tieto základné požiadavky sú nielen druhovo špecifické, ale môžu sa meniť aj v závislosti od konkrétnej situácie. V stabilizovanom (rovnovážnom) stave - t.j., keď vstup energie a látok = ich výstupu, bude limitujúcim faktorom pre výskyt a život organizmu tá nevyhnutná látka, ktorá je pre organizmus dostupná v kriticky najmenšom potrebnom množstve. Tento princíp sa nazýva podľa jeho objaviteľa Liebigov zákon minima.

V prostredí, ktoré je dynamickejšie, t.j. také, v ktorom sú podmienky premenlivé a podliehajú pomerne rýchlym interakciám, má zákon minima obmedzenú platnosť. Veľmi významné je pri posudzovaní pôsobnosti Liebigovho zákona minima aj vzájomné pôsobenie faktorov. Organizmus si totiž napríklad môže niekedy nahradiť nedostatok niektorého faktoru využitím iného. Okrem toho kvantita daného faktoru potrebná pre daný organizmus sa môže meniť v závislosti od aktuálnych podmienok.



Interakcia faktorov

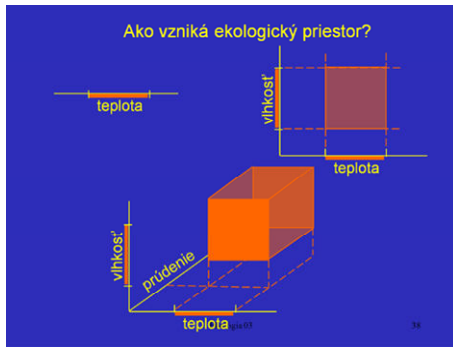
Model pôsobenia rôznych kombinácií faktorov prostredia vytvárajúcich podmienky pre živé organizmy, od optimálnych po pesimálne. (Woodbury 1954).

Ekologický priestor

Náš život, ako aj život všetkých organizmov sa podľa všetkého odohráva v trojrozmernom priestore. Je to fyzický alebo geografický priestor, ktorý je usporadáný podľa troch osí - x, y, z.

Organizmy však okrem toho vnímajú podmienky, v ktorých žijú, čiže ekologické faktory. Tak vzniká virtuálny ekologický priestor, ktorého osami nie sú osy x, y, z, ale ekologické faktory.

Organizmy sa usilujú zdržiavať sa tam, kde sú pre ne podmienky na život optimálne.

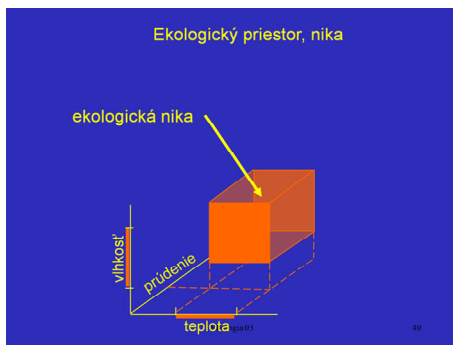


Geografický priestor možno vďaka tomu transformovať do virtuálneho ekologického priestoru.

Vlastnosti ekologického priestoru:

- faktory v ňom nie sú fixované, čo vyplýva z toho, že ide o virtuálny priestor
- je to mnohorozmerný priestor s premenlivým počtom rozmerov
- pri jeho analýze berieme do úvahy najvýznamnejšie faktory

Takto definovaný priestor sa líši od geografického priestoru. Napríklad 1 bod ekologického priestoru nemusí predstavovať iba bod geografického priestoru, ale aj plochu či objemový útvar geografického priestoru. Ekologický priestor nie je geograficky stabilný. Inými slovami, bod ekologického priestoru sa môže posúvať napríklad po povrchu Zeme podľa toho, ako sa menia veličiny jednotlivých faktorov. Organizmy tieto posuny registrujú, pričom ako už vieme, tolerujú určitý interval veličín ekologických faktorov.



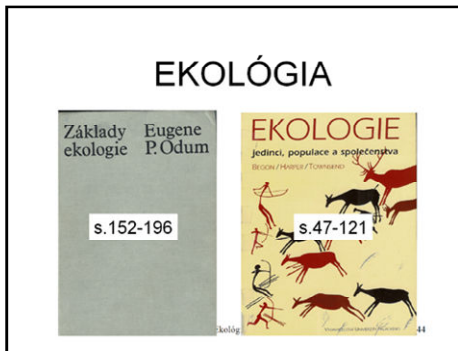
Ekologická nika

Organizmy neobývajú celý ekologický priestor, ale iba jeho časť, ktorá je ohraničená zónami tolerance organizmu k jednotlivým faktorom. Časť ekologického priestoru obývanú organizmom nazývame ekologickou nikou organizmu. Takto definoval pojem ekologickej niky Hutchinson v roku 1957.

Okrem tohto ponímania jestvuje aj ponímanie Eltona, ktorý chápal ekologickú niku ako rolu organizmu v prírode. Podľa Eltona má každý organizmus v prírode nejakú úlohu. Toto ponímanie najčastejšie rezonuje aj v laickej verejnosti: ľudia sa napríklad často pýtajú, akú úlohu (načo sú) plnia v prírode komáre. Odpoveď v zmysle Eltonovej koncepcie by znela - ich larvy vracajú do obehu živiny z rozkladajúcej sa organickej hmoty (živia sa organickými zvyškami a ony samé sa stávajú potravou iných živočíchov). Treba povedať, že túto koncepciu už dnes vnímame ako mierne naivnú a v súčasnosti sa vo vedeckej práci neberie veľmi vážne.

Ekologická nika sa môže chápať ako potenciálna čiže fundamentálna, t.j. ako tá časť ekologického priestoru, v ktorej je organizmus potenciálne schopný žiť, alebo ako skutočná čiže realizovaná nika, t.j. ako tá časť ekologického priestoru, v ktorej organizmus skutočne žije. Organizmy totiž prednostne obsadzujú zónu optima, nie vždy sa im to však darí. Realizovaná nika je teda pochopiteľne vždy menšia ako fundamentálna, pričom nemá fixné, nemenné hranice, naopak "vznáša sa" v ekologickom priestore fundamentálnej niky. Fundamentálna nika však má - na rozdiel od realizovanej - fixné hranice v celkovom ekologickom priestore.

Ekologické niky viacerých organizmov sa môžu prekrývať. Pri jedincoch rovnakého druhu je to zákonitý, prekrývajú sa však aj niky organizmov rôznych druhov. Vtedy dochádza k súťaženiu - kompetícii - vo využívaní tých faktorov, ktorých súradnice vo virtuálnom ekologickom priestore sa najväčšmi zhodujú. Kompetícia môže viesť k potláčaniu či vytlačovaniu jedného druhu iným, a to aj v prípade, že súťažia o využívanie jediného faktoru (napríklad o zdroje potravy).



Podrobnejšie fakty a súvislosti o ekologických fak-toroach, ekologickom priestore a ekologickej nike treba doštudovať v predpisanej literatúre:

Odum (s. 152-196)

Begon, Harper, Townsend (s. 47-121)

4 Hlavné ekologické faktory

Hlavné faktory v suchozemskom prostredí

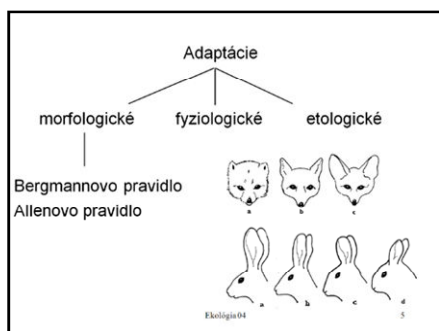
Teplo patrí k najdôležitejším podmienkam života. Jeho hlavným dodávateľom je Slnko. Množstvo tepla rozhoduje o základnom formovaní zemského povrchu do klimatických oblastí a o geografickom rozšírení biologických druhov. Množstvo tepla v prostredí závisí od zemepisnej šírky, na základe čoho rozlišujeme klimatické pásma: tropické, subtropické, teplé mierne, chladné mierne, polár-ne. Vzhľadom na nerovnomerné rozloženie súše a mora nie sú hranice klimatických pásem dané priamo rovnobežkami, ale môžu byť nepravidelné. Veľkú úlohu pri tom zohráva rozdielna tepelná kapacita vody a súši, v dôsledku ktorej sa voda zohrieva pomalšie ako súš, a tiež pomalšie chladne - je teplotne stálejšia. Táto skutočnosť sa potom prejavuje v rozdieloch medzi oceánskou a kontinentálnou klímou.

Každý organizmus, resp. jeho vývinové štádium má svoju teplotnú toleranciu, ktorá závisí od jeho anatomických a fyziologických adaptácií, jeho schopnosti regulovať vlastnú telesnú teplotu. Pri nízkych teplotách je to predovšetkým hodnota kritického bodu zamrznutia telových tekutín, ktorá limituje ich vitálnu zónu. Mrznúce tekutiny totiž vytvárajú mikrokryštály, ktoré poškodzujú bunkové membrány.

Pravda, jestvujú aj organizmy, ktoré majú účinné adaptácie voči pôsobeniu mrazu. Ich telové tekutiny obsahujú látky, ktoré z nich vytvárajú niečo ako "nemrznúcu zmes". Medzi takéto organizmy patria napríklad antarktické ryby - ľadovky (napr. *Chaenocephalus aceratus*). Okrem toho jestvuje viacero adaptácií, ktoré slúžia na zachovanie telesnej teploty nad bodom mrazu. Pri vysokých teplotách pôsobí letálne denaturácia bielkovín.

Predpokladá sa, že existencia života je možná v rozpätí od -200 °C do + 250 °C (baktérie v horúcich prameňoch na dne oceánu, je to však zatiaľ nespoľahlivo doložené). Doložené údaje svedčia o baktériách prežívajúcich pri +88 °C, naopak, sinice prežijú -80 °C. Inak horná letálna teplota pri dlhodobej expozícii väčšinou leží medzi 50 °C až 60 °C. Len výnimočne sa organizmy prispôbia na vyššie teploty, napr. kalifornská ryba *Cyprinod macularius* žije v prameňoch pri teplote vody 52 °C a larvy dvojkřídlcov rodu *Scatella* dokonca znesú vody teplé 55 °C.

V horúcich prameňoch v Yellowstonskom národnom parku prebieha fotosyntéza siníc až po 75 °C. Udáva sa aj výskyt baktérií vo vodách vriacich sírových prameňov. Proti pôsobeniu vysokých i nízkych teplôt sú zrejme najodolnejšie spóry baktérií, ktoré prežívajú dlhodobé pôsobenie teploty nad 100 °C a cysty, resp. obdobné anabiotické štádiá niektorých živočíchov, napr. pomaljšie znášajú teplotu od -272 °C do +100 °C.



Morfologické adaptácie organizmov na vonkajšiu teplotu sú rozmanité. Rastliny v chladných cirkumpolárnych a horských polohách (napr. trpasličie formy púpavy v horách alebo trpasličie brezy a vrbý v tundre) sú podstatne menšie ako tie, ktoré vyrastajú v teplejších oblastiach. Horské rastliny sa často chránia pred chladom aj hustým ochlpením, napr. plesnivec, poniklec atď. Takisto vtáky a cicavce z chladných oblastí majú hustejšie operenie, resp. sršť atď. Podobne chlčky, šupiny, zámotky a kokóny hmyzu okrem ďalších funkcií aj chránia organizmus pred chladom.

Bergmannovo pravidlo a Allenovo pravidlo

Významná je tiež veľkosť, pretože z fyzikálnych zákonov vyplýva, že s rastúcou veľkosťou objektu sa mení pomer medzi jeho objemom a povrchom, a to v prospech objemu (objem rastie tretou mocninou, plocha druhou mocninou). S termoreguláciou preto súvisia aj také morfológické adaptácie, ktoré sú známe ako všeobecne platné ekologické pravidlá, najmä Bergmannovo pravidlo a Allenovo pravidlo.

Podľa Bergmannovho pravidla sú niektoré teplokrvné živočíchy v chladnejších oblastiach väčšie a ťažšie ako ich príbuzné formy v teplejších oblastiach, čo platí najmä pre vlky, líšky či medvede. Podľa Allenovho pravidla majú niektoré teplokrvné živočíchy zasa kratšie a menšie telesné prívesky, napríklad ušnice, zobáky, chvosty či končatiny, ako ich príbuzné formy žijúce v teplejších oblastiach. Tundrová líška polárna má kratší rypák a ušnice ako líška hrdzavá z mierneho pásma aj ako líška fenek z púšti Starého sveta. Podobný jav možno pozorovať aj na zajacoch. S termoreguláciou súvisí aj hustejšia sršť tundrových foriem v porovnaní s ich príbuznými žijúcimi v miernejších podmienkach.

To isté platí aj pre bezstavovce. Príbuzné druhy sú často väčšie v chladnom prostredí, napr. perloočky v horských a severských jazerách bývajú väčšie než v teplých vodách. Zvon medúzovca *Cyanea arctica* dorastá v Severnom ľadovom oceáne až do 2 m v priemere, kým v teplejšom Severnom mori iba do 40-50 cm. Cicavce a vtáky z chladných oblastí majú nielen hustejší a dlhší telový pokryv, ale aj vrstvy podkožného tuku, ktorý slúži ako tepelná izolácia. Veľmi hrubé vrstvy podkožného tuku majú živočíchy studených cirkumpolárnych vôd (tučniaky, tuleňotvaré a veľrybotvaré cicavce).

Fyziologické adaptácie

Podľa schopnosti reagovať na teplotu prostredia regulovaním vlastnej telesnej teploty (fyziologická adaptácia) rozdeľujeme organizmy na ektotermné (neschopné regulovať vlastnú telesnú teplotu) a endotermné (schopné regulovať vlastnú telesnú teplotu). Niektoré ektotermné organizmy dokážu aspoň čiastočne ovplyvňovať vlastnú teplotu, a to buď metabolicky (fyziologická adaptácia) alebo správaním (etologické adaptácie).

Medzi fyziologické adaptácie patrí aj zbavovanie sa listov opadavých stromov v zimnom období.

Etologické adaptácie

Člankonožce dokážu zvýšiť svoju telesnú teplotu svalovým pohybom, hmyz najčastejšie chvením a kmitaním krídel, pričom sa jeho telesná teplota môže zvýšiť až na 34-36 °C. Až po dosiahnutí potrebnej teploty pre normálnu svalovú činnosť hmyz odlieta.

Podobne aj zimomriavky a triaška cicavcov má za úlohu zvýšiť teplotu organizmu svalovou aktivitou. Značne rozšíreným mechanizmom na zvýšenie telesnej teploty je sociálna termoregulácia. Jednoduchým zhromaždením a vzájomným pritlačením viacerých jedincov sa znižuje celkový spoločný povrch vystavený vonkajšiemu prostrediu. Obdobne je podmienené aj zohrievanie mláďat rodičmi, zimné

sústredovanie sa do zhlukov pri niektorom hmyze, obojživelníkoch a hadoch alebo tvorba kolónií tučniakov pri ich zimovaní na pevnine apod.

Svetlo

Svetlo pôsobí ako ekologický faktor v celom svojom spektre od ultrafialových po infračervené. Takmer výlučným zdrojom svetelného žiarenia na Zemi je Slnko, ostatné zdroje sú zanedbateľné. Na nechránenú protoplazmu má žiarenie smrtné účinky, inak je však na ňom založená existencia života a všetkých ekosystémov. Deje sa to prostredníctvom fotosyntézy, vďaka ktorej sprístupňuje, ukladá i využíva energia slnečného žiarenia.

Svetlo dopadá na vonkajšie obaly Zeme, pričom množstvo energie, ktoré prináša dosahuje približne $1,366 \text{ kW} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$. Je to takzvaná solárna konštanta, hoci v skutočnosti množstvo energie nie je celkom stále, ale kolíše v rozpätí $\pm 3\%$. Svetlo dopadajúce na povrch Zeme nemá ani priestorovo ani časovo rovnaké rozloženie. Mení sa podľa ročného obdobia, denného času, množstva oblačnosti, atď. Z množstva energie dopadajúcej na zemské obaly preniká ďalej k povrchu Zeme asi 67 %, pričom pri prechode atmosférou sa niektoré zložky spektra zachytia a na zemský povrch nedopadajú. Tzv. tvrdé UV žiarenie sa zachytáva v ozónovej vrstve, mäkkšie preniká ďalej, ale jeho zastúpenie v svetelnom spektre klesá. Z toho vyplýva, že vo vyšších nadmorských výškach je UV žiarenie intenzívnejšie, pričom niektoré frakcie prenikajú aj cez mraky.

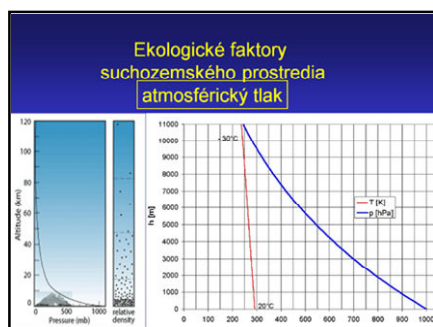
45 % svetelného žiarenia zo Slnka tvorí infračervené žiarenie, 45% "viditeľná" časť spektra (pri prechode cez mraky sa zachováva najlepšie). Pokiaľ svetlo prechádza rastlinstvom, pohlcuje sa najskôr modrá a červená časť spektra, ako aj IČ časť. Naopak, zelená zložka sa odráža, preto rastliny vnímame ako zelené.

Svetlo patrí podmienkam aj zdrojom súčasne. Pre rastliny a iné autotrofné organizmy tvorí zdroj energie, pre ostatné organizmy podmienky.

Fotoperiódá

Jedným z najvýznamnejších faktorov ovplyvňujúcich život na Zemi je fotoperiódá čiže striedanie svetla a tmy. Pre organizmy je dôležitá dĺžka svetlej časti dňa. Fotoperiodicizmus na Zemi spôsobuje sklon zemskej osy a rotácia Zeme. Na rovníku je každý deň 12 hodín svetlo a 12 hodín tma, prechod je veľmi náhly - rýchlo sa stmieva i brieždi. Smerom k pólom sa svetlá časť dňa na leto predlžuje, na zimu skracuje, nad polárnym kruhom je pol roka svetlo a pol roka tma.

Fotoperiódá má význam pre rastliny aj živočíchy. Dĺžka svetelnej časti dňa je signálom, ktorý vyvoláva sériu reakcií, napríklad skracovanie svetelnej časti dňa predznamenáva príchod zimného obdobia, na ktoré sa musia organizmy pripraviť. Zbavujú sa napríklad vody, živočíchy zvyšujú obsah tukov v tele, ich vývin sa spomaľuje, resp. zastavuje. Obdobne to platí aj pri predlžovaní svetlej časti dňa - vtákom sa zvyšuje tvorba pohlavných hormónov. Svetlo má vplyv aj na dozrievanie plodov, v našich zemepisných šírkach sa napríklad rozlišujú rastliny dlhého dňa (hlávkový šalát) a rastliny krátkeho dňa (red'kovka). Svetlo má ďalej vplyv na sfarbenie živočíchov, ale predovšetkým na ich aktivitu. Podľa toho rozdeľujeme živočíchy na monofázické (majú 1 vrchol aktivity) - napr. chrobáky, ovady; difázické (2 vrcholy aktivity) - komáre sú aktívne najmä pri východe a západe slnka; či polyfázické (viac vrcholov aktivity) - myšotvaré cicavce.



Atmosférický tlak

Vzduch, hlavne jeho zložky, kyslík a oxid uhľičitý, sú základnou podmienkou existencie života v biosfére. Ako faktor prostredia pôsobia aj ďalšie chemické a fyzikálne zložky vzduchu, najmä jeho hustota a prúdenie.

<http://visionlearning.com/library/modules/mid107/Image/VLObject-2362-031023021035.gif>

Chemické zloženie vzduchu je značne homogénne: 78% N₂, 21% O₂, zvyšok tvoria vzácne plyny a CO₂, prípadne znečisťujúce látky. Vzduch má malú hustotu a nosnosť, preto medzi živočíchmi takmer chýbajú druhy schopné trvalého pobytu vo vzduchu. Len inaktívne formy mikroskopických živočíchov (cysty) a rozmnožovacie častice niektorých rastlín (spóry, peľ, semená) sa dlhší čas môžu vznášať vo vzdušných prúdoch. Za trvalých obyvateľov vzduchu môžeme do istej miery považovať niektoré autotrofné baktérie oxidujúce plynné látky, napr. vodíkové a metánové baktérie. Všetky drobné organizmy vznášajúce sa pasívne vo vzduchu nazývame aeroplanktón.

Atmosférický tlak vzniká v dôsledku pôsobenia hmotnosti stĺpca vzduchu. Na 45°sev. zemepisnej šírky dosahuje normálny tlak vzduchu 1013hPa = 1013milibarov = 760mm Hg cm⁻². Lokálne zmeny tlaku sú zvyčajne malé, kolísajú v rozpätí cca 80hPa (= 60mmHg) a organizmy sa s nimi vedľa ľahko vyrovnávajú.

Ekologicky významnejší je pokles tlaku vzduchu so stúpajúcou nadmorskou výškou. Vo výške 5800m má tlak vzduchu už len polovicu normálnej hodnoty, čo znamená, že v rovnakom objeme nadýchnutého vzduchu klesá obsah kyslíka na polovicu. Pre väčšinu endotermných živočíchov sa uvádza ako znesiteľná ešte výška 6000m n. m. Najvyššie položené permanentné ľudské sídla ležia v Tibete v n. v. okolo 5000m. Stenobarné živočíchy majú malú toleranciu k väčším zmenám tlaku (cicavce), eurybarné živočíchy znášajú niekedy naopak veľké výkyvy tlaku (kondory, niektorý hmyz atď.).

Prúdenie vzduchu

Prúdenie vzduchu (vietor) sa vyskytuje v základných formách prevažne ako vodorovné alebo vertikálne (výstupný a zostupný vietor). Prúdenie vzniká presunom vzduchovej masy z miest vyššieho na miesto nižšieho tlaku v dôsledku nerovnomerného zohriatia povrchu Zeme slnečným žiarením.

Vzdušné prúdenie využívajú anemofilné (vetrosnubné) rastliny na opeľovanie a aeroplanktón na priestorové rozširovanie. Niektoré drobné živočíchy, najmä hmyz a pavúky, môžu byť vzdušnými prúdmi vynášané do veľkých výšok. Mláďatá niektorých pavúkov pomocou pavučín, ako tzv. babie leto, využívajú vietor na premiestňovanie na väčšie vzdialenosti. Slabé prúdenie vzduchu uľahčuje let zlým letcom, silné prúdenie vedľa využiť len výborní letci pri plachtení (víchrovníky, albatros ...). Silný vietor môže zaničiť vtáky a hmyz na značné vzdialenosti, čo vysvetľuje ich rozšírenie na ostrovoch vzdialených od pevniny alebo v odľahlých oázach. Slabí letci, žijúci na izolovaných exponovaných miestach pri existenčne nevyhovujúcom prostredí (morské ostrovy, hory nad pásmom lesov, okraje púští...), sú ohrození možnosťou prenesenia vetrom do existenčne nevyhovujúcich miest. Preto sa aj lietajúcim druhom hmyzu vytvárajú takýchto habitatov bezkrídle populácie.

Vietor ovplyvňuje aj orientáciu živočíchov. Cicavce "vetria" proti vetru, ktorý im prináša pachy, podobne vietor usmerňuje šírenie sexuálnych feromónov motýľov ap. Šelmy sa prikrádajú k vyhladnutej koristi proti vetru, aby sa neprezradili pachom a aj zvuky zapríčinené ich pohybom, takisto telesný pach sú vetrom tlmené atď.

Voda

Voda môže tvoriť prostredie organizmu, alebo ekologický faktor jeho existencie.

Voda patrí k nevyhnutným podmienkam života. V súčinnosti s teplotou rozhoduje o charaktere vegetačnej pokrývky a tým aj o charaktere terestrických ekosystémov. Živočíchy získavajú potrebnú vodu pitím, potravou, niektoré aj absorpciou cez pokožku (vodné druhy bezstavovcov), alebo absorpciou vodných pár (vajíčka článkonožcov), prípadne pri metabolických procesoch oxidáciou potravy či rezervných látok, tuku alebo cukrov, ako tzv. metabolickú vodu (hmyz žijúci v suchých habitatoch, zvieratá púšte a pod.).

Dôležitým ekologickým faktorom pre suchozemské organizmy, najmä rastliny a jednoduchšie živočíchy, je tiež vlhkosť, t.j. množstvo vodných pár vo vzduchu. Toto množstvo, ktoré sa udrží pri nasýtení, kolíše s teplotou a tlakom vzduchu, preto ho vyjadrujeme ako relatívnu vlhkosť, čo značí percento vodných pár prítomných vo vzduchu v porovnaní s jeho úplným nasýtením parami za daných podmienok teploty a tlaku.

Aj tuhé formy vody sú dôležitým ekologickým faktorom. Vysoká snehová pokrývka je pre nízku vegetáciu aj pre väčšinu drobných živočíchov priaznivá, lebo ich chráni pred mrazom. Na veľké organizmy však pôsobí vysoký sneh nepriaznivo, láme konáre stromov, zvieratám sťažuje prístup k potrave, obmedzuje ich pohyblivosť. Zamrznutý sneh robí potravu nedostupnou. Ľad na vodách zabraňuje výmene plynov medzi vodou a ovzduším, čo vedie k duseniu rýb a pod.

Podľa nárokov na vlhkosť prostredia rozlišujeme organizmy euryhygrické (nenáročné, prispôsobivé) a stenohygrické. Tie delíme na xerofilné (suchomilné), hygrofilné (vlhkomilné) a hydrofilné (vodné).

zrážky	
ročné úhrny	absolútne množstvo (mm) sezónne rozdelenie
< 250 mm	púšť, polopúšť
250 - 750 mm	step, lesostep, savana, préria
750 - 1200 mm	suchý les
>1200 mm	dažďový les

Jediným zdrojom vody v suchozemskom prostredí sú zrážky. Voda je často limitujúcim faktorom, preto ročné úhrny zrážok určujú charakter biómov.

Sezónne rozloženie zrážok býva v miernom pásme viac-menej rovnomerné, v trópoch zasa sezónne - strieda sa obdobie sucha s obdobím dažďov. Obdobie dažďov spôsobuje prúdenie vzduchu - monzúny, preto sa hovorí aj o monzúnových dažďoch. Začínajú v júny, trvajú približne do polovice augusta. Cez zimu je zrážok málo.

Diaľkové migrácie

Sezónnosť zrážok sa odráža v rozličných adaptáciách organizmov. Mnohé organizmy jej prispôbujú svoje životné cykly, medzi najmarkantnejšie etologické adaptácie patria diaľkové migrácie veľkých bylinožravých cicavcov v africkej savane.

Tolerancia organizmov proti zníženiu vodnej bilancie je rôzna. V zásade platí, že rané vývinové štádiá znášajú nedostatok vody horšie ako vyvinutejšie. Aj prebytok vlhkosti však môže byť škodlivý. Pri terestrických rastlinách vyvoláva napríklad hnilobu, môže tiež znížovať vitalitu živočíchov, vajíčka článkonožcov podliehajú plesni. Na ochranu proti narušeniu vodnej bilancie sa vyvinuli rozličné mechanizmy. Regulácia hladiny vody v tele rastlín sa uskutočňuje evapotranspiráciou. Odpar sa reguluje uzatváraním prieduchov, prípadne aj voskovými povlakmi na listoch. Niektoré rastliny roní nadbytočnú vodu (gutácia). Evapotranspirácia súvisí aj s prijímaním živín rastlinami a je tiež spojená so spotrebou energie.

Na periodicky dlhodobý nedostatok vlhky sa rastliny prispôbili buď vytváraním zásob vody a jej obmedzeným výdajom v čase sucha (sukulenty ...), alebo fyziologickou schopnosťou stratiť značný podiel vody a prejsť do latentného stavu

anabiózy. Niektoré vysychavé rastliny, najmä lišajníky a sinice, môžu stratiť vodu až na 5% pôvodného obsahu. V trópoch a subtrópoch, oblastiach s periodickými obdobiami sucha, sa vytvoril bióm opadavých lesov, v ktorom stromy strácajú listy v suchom období.

Živočích sa nadbytočnej vody zbavujú osmoregulačnými ústrojmi. Voči nadmernému vlhku ich chráni hydrofóbná pokožka - kutikula s voskovitou povrchovou vrstvou, husté masné perie, alebo srst.

Na nedostatok vody sa živočích prispôbili morfológicky, fyziologicky aj etologicky. Mnohé nižšie živočích prechádzajú do stavu anabiózy (cysty prvokov, pokojové štádiá vírnikov, atď.) alebo zastavujú pohybovú aktivitu (vodné mäkkýše, ryby a žaby zaliezajú do bahna, prednožiabrové ulitníky uzatvárajú ústie ulity trvalým viečkom, ulitníky sa chránia pred vyschnutím uzatváraním ústia schránky slizovým alebo vápňitým viečkom ...). U suchozemských živočíchov je pre zníženie strát vody významné aj uloženie dýchacích ústrojov vo vnútri tela (vzdušnice, pľúca). Ďalším spôsobom ako zmenšiť stratu vody, je zníženie množstva moču a množstva vody v exkrementoch či obmedzenie potenia.

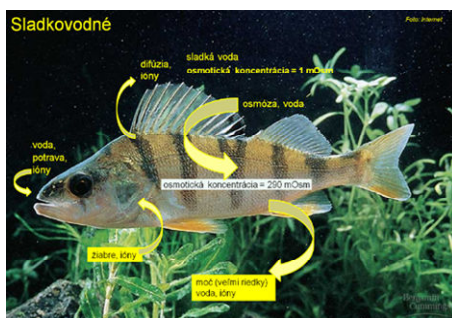
K etologickým formám ochrany pred nepriaznivými vlhkosťnými podmienkami patria aj únikové reakcie, napr. pôdne živočích zaliezajú pri vysychaní pôdy hlbšie do zeme, kým pri jej podmočení vyhľadávajú suchšie miesta (vyliezanie dážďoviek z pôdy na povrch, keď výdatne prší). Vlhkosť spolu s teplotou ovplyvňuje vývin terestrických bezstavovcov. Vajíčka článkonožcov sa vyvíjajú len pri dostatočnom vlhku.

Veľmi významným faktorom priamo súviacim s vodou je vlhkosť, čiže obsah vodných pár v atmosfére - absolútna a relatívna vlhkosť (pozri učebný materiál Ekológia s. 23). Relatívna vlhkosť podlieha určitým rytmickým výkyvom, ktoré sú sezónne i denné. V lete dosahuje maximálne hodnoty v noci, resp. nadržanom pred východom slnka (až do 100 %), vtedy sa tvorí rosa alebo hmla. Naopak, minimálne hodnoty dosahuje pri maximálnych denných teplotách, t.j. v našich podmienkach okolo 14:00 hod (iba 20%).

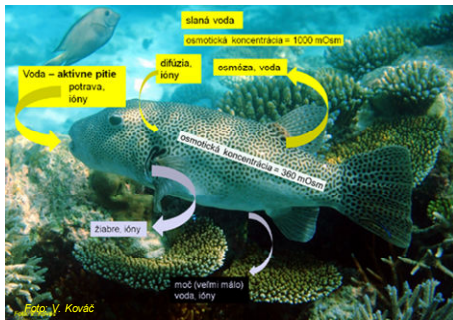
Množstvo vody dostupnej pre organizmy, najmä rastliny závisí aj od pôdnej vody, najmä od textúry pôdy a od množstva ílových častíc. Napríklad štrk má hrubú textúru, v dôsledku čoho voda rýchlo vsakuje do hlbších vrstiev, na povrchu je nedostupná. Hladina podzemnej vody sa posúva nižšie, rastliny k nej nemajú prístup. Naopak, ak pôda obsahuje veľa ílových častíc, voda málo vsakuje, zostáva na povrchu.

Vodné organizmy

S problémami nedostatku, alebo naopak prebytku vody sa musia paradoxne vyrovnávať aj organizmy žijúce vo vodnom prostredí.



Sladkovodné ryby (Teleostei) žijú v prostredí, ktoré sa vyznačuje nižšou koncentráciou solí v porovnaní s koncentráciou solí ich tela, čiže ich vnútorného prostredia je hyperosmotické. V dôsledku toho do ich tela neprestajne preniká – cez pokožku, ale predovšetkým cez jemné membrány na žiabrach – voda. Aby si udržali stálu koncentráciu telových tekutín, musia nadbytočnú vodu neprestajne vylučovať, a to pomocou mimoriadne účinných obličiek – majú veľmi riedky moč.



Morské ryby (Teleostei) čelia presne opačnému problému – žijú v prostredí, ktoré sa vyznačuje vyššou koncentráciou solí v porovnaní s koncentráciou solí ich tela, čiže ich vnútorného prostredia je hypoosmotické. V dôsledku toho musia riešiť problém neprestajného osmotického strácania vody cez pokožku, ale predovšetkým cez žiabre. Preto sa im vyvinuli mechanizmy, ktorými stratu tekutín nahrádzajú. Najvýznamnejším z nich je pitie morskej vody, ktoré však musí byť sprevádzané zložitým oddeľovaním vody od množstva solí obsiahnutých v morskej vode. Túto funkciu vykonáva tráviaca sústava spolu s obličkami a osobitnými bunkami na žiabrach, pomocou ktorých sa morské ryby prebytočnej soli zbavujú.

Hlavné ekologické faktory a vlastnosti vodného prostredia

Voda pokrýva v súčasnosti 71 % zemského povrchu, a zaberá priestor vyše $14 \cdot 10^8$ km³. Keďže tvorí vnútorné prostredie organizmov, je nevyhnutnou súčasťou všetkých foriem života.

Pre niektoré organizmy tvorí aj vonkajšie prostredie, od ktorého ich oddeľuje telesný pokryv. Voda ako životný priestor nie je izolovaný systém, naopak, je prepojená so suchozemským prostredím mnohými interakciami a väzbami. Medzi vodným a suchozemským prostredím prebieha tok energie i výmena látok. Organizmy žijúce trvalo vo vode sa v ekológii označujú termínom hydrobionty (voda je ich hlavným vnútorným aj vonkajším prostredím).

Voda – ideálne prostredie

Hustota vody je asi 700-násobne vyššia ako hustota vzduchu, z čoho vyplýva pre hydrobionty v porovnaní s mnohými suchozemskými formami života veľká výhoda – nemusia čeliť takému veľkému vplyvu gravitácie. Vďaka tomu môže byť ich stavba tela jednoduchšia, môžu mať jednoduchšie lokomočné orgány – sú vo vodnom prostredí nadnášané. Hustotu ovplyvňuje teplota a množstvo rozpustených látok. Teplota vody závisí od teploty okolia a je ovplyvňovaná účinnosťou slnečného žiarenia, absorpčnými vlastnosťami prostredia, vyparovaním a činnosťou vetra, pričom podlieha aj vertikálnej zonácii (pozri nižšie).

Priechodnosť žiarenia

Priechodnosť žiarenia závisí od uhlu dopadu svetelných lúčov na hladinu, zvlnenia hladiny, absorpcie a difúzie svetla (priepustnosť). Jednotlivé zložky spektra majú rozličnú priechodnosť, najhlbšie prenikajú lúče kratšej vlnovej dĺžky, ktoré súvisia s modrým sfarbením. V mori preniká svetlo priemerne do hĺbky 170 – 200 m, v sladkých vodách podstatne menej.

Obmedzená priechodnosť svetla vo vodnom prostredí má na vodné ekosystémy s hlbokou vodou veľmi významný vplyv: obmedzuje aj fotosyntézu, čiže zdroj energie dostupnej pre heterotrofné organizmy.

Morské ekosystémy a pásma

- Prílivová zóna - stret súše a vodného prostredia
- Neritická zóna - plytké vody nad kontinentálnym šelfom
- Oceánska zóna - veľmi hlboké vody za kontinentálnym šelfom
- Pelagická zóna - otvorená hladina
- Benthická zóna - morské dno
- Abyssálna zóna - hlbokomorské pásmo

Jazerá, teplota, premiešavanie vrstiev

V jazerách mierneho pásma sa v zime a v lete vytvoria vrstvy vody s veľmi rozdielnou teplotou. Oddeľuje ich termoklína. Na jar a na jeseň sa v dôsledku rozdielnej hustoty vrstvy premiešavajú, čo má pre jazerné ekosystémy mimoriadny význam, pretože pohyby vody zabezpečujú aj transport živín.

Obsah rozpusteného kyslíka

Kyslík, ktorý je životne dôležitý aj pre väčšinu hydrobiontov, sa dostáva do vodného prostredia difúziou z atmosféry. Ide o pohyb molekúl z prostredia s vysokou koncentráciou do prostredia s nízkou koncentráciou. Tomuto procesu výdatne pomáha vietor, ako aj prúdenie vody (najmä turbulентné). Pri hladine býva voda lepšie okysličená ako pri dne, pretože tam prebieha produkcia kyslíka rastlinami, kým pri dne spotrebúvajú kyslík dekompozítory.

Tečúce vody a prúdenie

V tečúcich vodách zohráva esenciálnu úlohu prúdenie, ktoré sa v jednotlivých úsekoch tokov výrazne líši. Vodné toky sa v pozdĺžnom profile delia na niekoľko pásiem, ktoré sa líšia spádom, šírkou toku, rýchlosťou prúdu, charakterom substrátu, teplotou vody, obsahom rozpusteného kyslíka i ďalšími ekologickými faktormi. Jestvuje viacero klasifikácií pásiem, medzi najjednoduchšie patrí členenie (obrázky postupne zhora nadol) na horský potok, podhorský potok, podhorskú rieku a nížinnú rieku.

Podrobnejšie informácie o jednotlivých ekologických faktoroch treba naštudovať z predpísanej študijnej literatúry (s. 152-196, resp. 47-121),

ďalšie detaily sú predmetom kurzu Ekosystémy Zeme, časť Kontinentálne vodstvo:

<http://www.fns.uniba.sk/index.php?id=2962>

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

5 Demekológia

Interakciami medzi živou a neživou hmotou na hierarchickej úrovni populácie sa zaoberá demekológia.

Populácia

Populácia je súbor jedincov jedného druhu všetkých vývinových stupňov, ktoré žijú v spoločnom ohraničenom priestore v určitom čase a ktoré sú vzájomne viazané predovšetkým reprodukčnými vzťahmi (môžu si vymieňať genetické informácie).

To znamená, že pri hodnotení populácie nesmieme zabúdať na jedince v takom štádiu ontogenézy, ktoré môžu unikať našej pozornosti. Populácia ktoréhokoľvek druhu komára sa napríklad skladá nielen z dospelých jedincov, ktoré nám znepríjemňujú život, ale aj z lariev a vajíčok, zdokumentovanie ktorých si vyžaduje odborné preskúmanie. Predikcia rastu populácie založená len na dospelých jedincoch by bola silno podhodnotená – výsledkom by bola napríklad neschopnosť predvídať hroziacu kalamitu a včas prijať prípadné preventívne opatrenia.

Vlastnosti populácie

Populácia má jednak charakteristiky spoločné s organizmami, ktoré ju tvoria, ale aj charakteristiky, ktoré sú vlastné iba populácii, v žiadnom prípade nie jednotlivým organizmom. V prvom prípade ide napríklad o rast populácie, jej diferenciáciu a udržiavanie, v druhom prípade o znaky ako sú napríklad natalita, mortalita, etilita či genetická prispôbivosť. Každá populácia sa vyznačuje špecifickými znakmi, parametrami či atribútmi, ktoré sú pre ňu charakteristické. Z metodického hľadiska základné populačné parametre môžeme rozdeliť na štrukturálne a dynamické.

Analýza vlastností populácie

O atribútoch populácie možno uvažovať jednak v zmysle číselných vzťahov a jej štruktúr, alebo v zmysle jej troch hlavných genetických a epigenetických vlastností, ktorými sú prispôbivosť, reprodukčná zdatnosť a perzistencia (pravdepodobnosť, že zanechajú potomstvo na dlhšie časové obdobie). Pri analyzovaní vlastností populácie sa ekológia opiera predovšetkým o matematiku vrátane modelovania.

Stratégia populácie

Súbor vlastností, ktoré populácii umožňujú jej existenciu v istom priestore, nazývame stratégiou populácie. Sú to vlastnosti anatomicko-morfologické, trofické, reprodukčná kapacita, regeneračné schopnosti, tolerancia, atď. Pod pojmom konkurenčná stratégia rozumieme schopnosť populácie vyrovnávať sa s určitou kategóriou stresov, napr. spoločenstvá krasových území s často sa opakujúcim nedostatkom vlhky.

Priestorové ohraničenie populácie

Priestorové ohraničenie populácie môže byť geografické (napríklad rieka, roklna) alebo ekologické (napríklad skupina krov v lúčnom spoločenstve). V areáli rozšírenia druhu (plocha zemepisného rozšírenia druhu) sa vyskytuje väčší alebo menší počet miestnych (lokálnych) populácií, ktoré obývajú určité miesto (locus).

Stanoviť hranice jednotlivých populácií je však zväčša veľmi problematické. Výnimku tvoria územia zreteľne geograficky alebo ekologicky ohraničené, napr. jazerá, pohoria, podzemné priestory a podobne.

Pristahované druhy rastlín a živočíchov v novom prostredí vytvárajú populácie izolované od populácií obývajúcich územia pôvodného rozšírenia. Takéto oddelené populácie sa časom prispôbia novému prostrediu a začínajú sa vzdalovať od pôvodného genotypu a fenotypu, napr. introdukované druhy rastlín a živočíchov.

Vlastnosti populácie

Každá populácia sa vyznačuje určitými charakteristikami, ktoré sú vlastné výhradne populácii ako skupine jedincov, nie však jedincov samých o sebe.

Medzi hlavné vlastnosti populácie patria hustota (denzita, abundancia), štrukturálne znaky - veková skladba (etilita), pomer pohlaví (sexilita), priestorová štruktúra (distribúcia), hmotnostná štruktúra, sociálna štruktúra, rozptyl (disperzia), natalita a mortalita. Menšia pozornosť sa spravidla venuje aj vlastnostiam ak sú habitus, chorobnosť (morbidita), správanie, konštitúcia.

Sledovať všetky atribúty populácie v prírodných podmienkach by bolo nesmierne náročné, prakticky nemožné. Preto sa v skutočnosti výskum v oblasti ekológie nezameriava na všetky parametre populácie, ale iba na niektoré z nich. Na základe vhodne zvolených metód potom možno viaceré z ostatných parametrov vypočítať.

Habitus predstavuje súbor morfológických znakov, vlastných všetkým členom určitej populácie: veľkosť, hmotnosť, tvar tela, zafarbenie a pod. Napr. v horách sú rastliny menšie ako v teplejších nižších polohách. Nápadné rozdiely od seba značne vzdialených, alebo izolovaných populácií druhu sú v systematike živočíchov označované ako geografické rasy.

Chorobnosť (morbidita) vyjadruje zdravotný stav populácie v percentách chorých a nakazených jedincov. Príčinami chorobnosti môžu byť faktory abiotické (napríklad traumatizácia, intoxikácia, nepriaznivá mikroklíma) alebo biotické (patogény, parazity). Chorobnosť zvyčajne redukuje početnosť populácie, ale vyvolaná úmrtnosť jej zoslabnutých členov môže viesť k zlepšeniu kondície populácie, a stimulovať tak jej ďalší rozvoj.

Správanie je súhrnom rozmanitých konaní, reakcií živočíchov na rozličné podnety. Živočích môže konať nezávisle od kolektívu (individuálne správanie) alebo ako člen kolektívu (kolektívne, populačné správanie). Správanie, napríklad obrana teritória, ochrana potomstva, vyhľadávanie a budovanie úkrytov, má pre existenciu populácie veľký význam.

Konštitúcia je schopnosť jedinca - vrodenej alebo získanej - podávať fyziologické výkony. V prípade populácie ide o súhrn konštitúcií všetkých jedincov tvoriacich populáciu. Konštitúcia sa prejavuje napríklad v odolnosti populácie proti patogénom či parazitom, rýchlosti individuálneho vývinu, žravosti a podobne.

Hustota (denzita, abundancia)

je množstvo jedincov populácie na určitú plošnú alebo priestorovú či objemovú jednotku, napríklad počet baktérií v 1g pôdy, jedincov planktónu v 1 l vody, húseníc na 1 m², hrabošov na 1 ha, ľudí na 1 km², atď. Okrem toho možno hustotu vyjadriť aj hmotnosťou čiže biomasou, napríklad v g na m², kg na ha, kg na km² a podobne. Z praktických dôvodov sa niekedy uvádza len približný výskyt alebo relatívna početnosť, ktorú vyjadrujeme napríklad termínmi zriedkavý, priemerný, hojný.

Niekedy je účelné rozlišovať hrubú hustotu, čo je počet jedincov na jednotku celého priestoru, a špecifickú čiže ekologickú hustotu, čo je počet jedincov na priestorovú jednotku v biotope, na ktorej sa sústreďujú (pri ekologicky podmienenej nerovnomernej priestorovej distribúcii populácie).

Frekvencia (zastúpenie) označuje podiel vzoriek, v ktorých bol sledovaný druh zistený. Takéto údaje postačujú v prípadoch, keď už len prítomnosť druhu je významná, bez ohľadu na jeho momentálnu početnosť, napr. prítomnosť patogénnych zárodkov v určitom prostredí (týfove bacily v studni ap.).

Základné otázky spojené s hustotou

1. Prečo sú niektoré druhy vzácne, iné bežné?
2. Prečo sa niektoré druhy vyskytujú na určitých miestach v nízkej hustote, zatiaľčo inde je ich hustota vysoká?
3. Ktoré faktory spôsobujú kolísanie početnosti druhov?

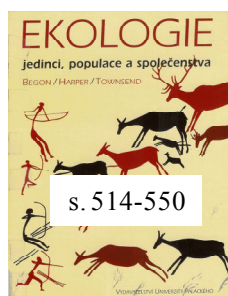
Hustota populácie je, podobne ako iné atribúty populácie, dosť premenlivá. Rozsah tejto premenlivosti však má svoje hranice. Každý druh má teoretickú hornú a dolnú hranicu hustoty populácie, ktorá by mohla existovať v časovo neobmedzenom období. Na určitej ploche lesa môže žiť v priemere napríklad 10 vtákov na 1 ha a 20 000 pôdnych článkonožcov na 1 m², nikdy však nemôže žiť 20 000 vtákov na 1 m² a 10 článkonožcov na 1 ha.

Teória početnosti druhov

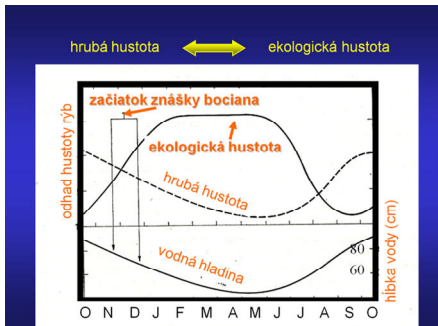
Nicholson (1933, 1954, 1957, 1958) zdôrazňoval zásadný význam procesov závislých na hustote - početnosť druhov určujú v prvom rade procesy závislé na hustote, ktoré pôsobia ako stabilizujúce alebo regulujúce mechanizmy. Tieto procesy podľa Nicholsona modifikujú vlastnosti živočíchov alebo ich prostredie, takže ovplyvňujú úroveň, na ktorej riadiace reakcie upravujú hustotu populácie. Riadiace reakcie spôsobené zmenou hustoty udržiavajú populácie vo svojom prostredí v stave "rovnováhy".

Opačný názor ako Nicholson prezentovali Andrewartha a Birch (1954): zásadný význam má podľa nich index prirodzeného rastu populácie (r). Tvrdili, že počet živočíchov v prírodnej populácii môže byť obmedzený tromi spôsobmi: 1) nedostatkom materiálnych zdrojov (potravy, hniezdisk a pod.); 2) nedostupnosťou týchto materiálnych zdrojov v pomere k schopnosti živočíchov šíriť sa a tieto zdroje vyhľadávať; 3) nedostatkom času v období, keď je index rastu (r) pozitívny. Najmenej dôležitý je podľa Andrewartha a Bircha prvý z týchto faktorov, naopak, najdôležitejší je tretí z nich. Procesy závislé od hustoty nie sú podľa týchto autorov vôbec dôležité.

Haldane neskôr ukázal, že to nie je celkom tak, t.j., že určitá regulácia predsa len jestvuje. Vzťahuje sa však na skutočnosť, že ak populácia prekročí určitú úroveň, jej veľkosť začne klesať, ale pokiaľ túto úroveň nedosahuje, rastie. Jej veľkosť pritom najväčšmi ovplyvňujú tri veci: natalita, mortalita a migrácia. Určitá regulácia populácie je logicky nevyhnutná, nemusí však nevyhnutne ovplyvňovať kolísanie veľkosti populácie výraznou mierou. Podrobnosti treba doštudovať v predpísanej literatúre, s. 514-550.



Príklad hustoty populácie cicavcov (Severná Amerika). Hustota populácie závisí (okrem iných faktorov) aj od postavenia v potravných reťazcoch. Spravidla platí, že čím je druh postavený vyššie, tým je hustota jeho populácie nižšia. Z uvedeného vyplýva, že horná hranica hustoty je určená tokom energie (produktivitou) v ekosystéme, trofickou úrovňou organizmu, jeho veľkosťou a rýchlosťou metabolizmu.



Rozdiel medzi hrubou a ekologickou hustotou. Hrubá hustota populácií malých druhov rýb v močaristej oblasti Everglades (Florida) klesá v zimnom období spolu s úrovňou vodnej hladiny. Ich ekologická hustota v znižujúcich sa vodných telesách však narastá, pretože ryby sa koncentrujú na čoraz menších plochách. Bociany znášajú vajíčka v čase, keď ekologická hustota rýb stúpa a výhľadovo bude vrcholiť.

Zdroj: (Odum, *Základy ekologie*, s. 227-230)



Foto: V. Kováč

Everglades na konci obdobia sucha (začiatok mája). Voda, ktorá v období hurikánov pokrýva celý priestor na obrázkoch vľavo je teraz sústredená v terénnych depresiách.



Foto: V. Kováč

Na vytváraní terénnych depresií sa aktívne podieľajú aj zvieratá žijúce v Everglades. Je to pre ne životne dôležité, pretože v depresiách sa voda zachová až do príchodu dažďov. Tieto refúgiá sú pospájané chodníkmi vyhlbenými do vysychajúcej pôdy. Hĺbiť ich pomáha svojim telom napríklad aj korytnačka (v červenom krúžku).



Foto: V. Kováč

Nárast ekologickej hustoty rýb a mnohých ďalších zvierat pred koncom obdobia sucha v Everglades dokáže využiť aj volavka...



Foto: V. Kováč

... a aligátory.

Unitárne a modulárne organizmy

Biológia rozlišuje v princípe dva typy fenotypov – unitárne (fenotyp tvorí jeden nedeliteľný celok) a modulárne (fenotyp pripomína stavebnicu, skladá sa z nahraditeľných častí čiže modulov). Na rozličných úrovniach hierarchického usporiadania živej hmoty dominuje modularita. Typickým príkladom modulárneho

usporiadania je napríklad DNA – skladá sa z génov, ktoré majú charakterické vlastnosti modulov: gény tvoria ucelené samostatné jednotky a za určitých okolností môžu obmieňať svoje usporiadanie. No nielen štruktúry, ale aj procesy môžu mať modulárny charakter. Napríklad aj ontogenéza – jej hierarchicky usporiadané intervaly, čiže periódy, fázy a etapy – má modulárne usporiadanie. Vďaka tomu môžu existovať napríklad živočchy, ktoré prechádzajú počas svojho života intervalom larvy, ale aj také, ktoré larvou počas svojho života nikdy neboli. Modularita je veľmi častá aj medzi fenotypmi. Väčšina rastlín (stromy a kry), ďalej napríklad huby, hubky, polypovce, koraly, machovky, sumky a ďalšie, to všetko sú modulárne organizmy. Vyznačujú sa tým, že ich vývin nie je celkom predeterminovaný a závisí od interakcií s prostredím. V praxi to znamená, že nevieme presne určiť, kde nejaký jedinec (nazýva sa geneta – genetický jedinec, produkt jednej zygoty) takého modulárneho organizmu začína a kde končí.

Moduly sa môžu fyziologicky oddeľovať - všetky nové produkty tohto procesu pochádzajú z jednej zygoty (moduly s predpokladmi pre samostatnú existenciu sa nazývajú ramety). Individuálne modulárne organizmy sa nazývajú genety (geneta - genetický jedinec, produkt jednej zygoty). V ekológii je dôležitejšia početnosť modulov ako početnosť geniet. Modularita totiž môže viesť k mimoriadnej premenlivosti jedincov a ontogenéza i starnutie modulárnych organizmov má tiež iný priebeh ako starnutie unitárnych organizmov - v prípade mnohých modulárnych nejstvieje programové starnutie. Modulárne jedince majú osobitú vekovú štruktúru - možno pri nich rozlišovať vek jedincov a vek modulov. Taxonomické vlastnosti, pomocou ktorých rozlišujeme druhy modulárnych organizmov, sú prevažne vlastnosťami modulu, nie celého organizmu. Spôsob interakcie modulárnych organizmov s prostredím je daný stavbou týchto organizmov - najmä podľa toho, ako sú ich moduly umiestnené vo vzťahu k modulom iných organizmov; pohyb, hľadanie, únik často takmer nejstviejú

Zdroj: Begon, Harper Townsend, Ekologie, ďalšie podrobnosti treba naštudovať na s. 123-142.

Priestorová štruktúra populácie - distribúcia

Rozoznávame tri hlavné typy distribúcie – náhodnú, rovnomernú a zhlukovitú. Náhodná distribúcia sa v prírode vyskytuje zriedka - len tam, kde je veľmi rovnomeré prostredie, spravidla veľmi chudobné na zdroje, alebo tam, kde organizmy nemajú sklon vytvárať zhluky. Rovnomerná distribúcia sa vyskytuje v prípade silnej konkurencie medzi jedincami – napríklad keď spevavé vtáky brániace si vlastné, presne vymedzené teritórium, dpsiachnu vysokú hustotu, a tak sa priestor rovnomerne zaplní teritoriálnymi jedincami. Najčastejšia je zhlukovitá (kontagiózná) distribúcia – dokonca je takmer pravidlom: trsy, páry, čriedy, krdle...

Poznanie charakteru distribúcie je nevyhnutné pri zisťovaní niektorých vlastností populácie, najmä hustoty.

Typ distribúcie závisí aj na mierke, v akej ju sledujeme - zhlukovité rozmiestnenie koralového druhu ryby *Acanthurus leucosternon* na malej ploche sa môže na veľkej ploche – pri pohľade na atoly – javiť ako náhodné. Naopak, zdanlivo náhodné rozmiestnenie vošiek na rastline sa pri pohľade na celý porast zmení na zhlukovité (vošky totiž preferujú iba určité druhy rastlín).

Migrácie a translokácie

Medzi migrácie patria denné (diurnálne) pohyby a pohyby vyvolané prílivom a odlivom - kraby sa pohybujú spolu s brehovou líniou; fytoplanktón v mori - vertikálne migrácie; alebo sezónne presuny medzi habitatmi (ťahy, sťahovanie).

Migrácie môžu byť viacnásobné obojsmerné - denné (planktón, kalone, vtáky) alebo ročné (žaby, mloky, spevavce, veľrybotvaré cicavce); jednorazové obojsmerné (úhor

európsky, losos atlantický) alebo jednorazové jednosmerné - motýle, napr. babôčka sťahovavá.

Zdroj: Begon, Harper Townsend, Ekologie, ďalšie podrobnosti treba naštudovať na s. 123-142.

Disperzia (rozptyl)

Disperzia je proces, pri ktorom jedince unikajú z bezprostredného okolia svojich rodičov a susedov.

Pomáha zabráňovať zahlteniu biotopu nadmer-ným množstvom jedincov. Disperzia semien rastlín je neriadenej náhodný proces (pomáhajú však adaptácie). Živočích sa môžu šíriť riadene aj neriadene. Všetky druhy organizmov sa musia šíriť, disperzia niektorých druhov je však intenzívnejšia ako disperzia iných. Rozptyl môže byť pasívny alebo aktívny. Rozdiel medzi aktívnym a pasívnym rozmiestňovaním však nemusí byť vždy zreteľný. Existuje aj pasívna disperzia pomocou aktívneho činiteľa - štítovec (*Remora*) je ryba, ktorá sa prisaje na veľkého aktívne plávajúceho hydrobionta a odvezie sa na veľké vzdialenosti.

Zdroj: Begon, Harper Townsend, Ekologie, Ďalšie podrobnosti treba naštudovať na s. 158-190.

Význam ontogenézy pri disperzii

Larvy sladkovodných bezstavovcov využívajú pri šírení z miest vyliahnutia do vhodných mikrohabitatov prúdiacu vodu riek (drift), ich šírenie sa však zabezpečuje najmä po súši - imága lietavých druhov. V prípade nelietavých druhov zabezpečujú šírenie odolné štádiá - vajíčka žiabronôžok či nezmara, gemule hubiek a pod. (roznáša ich vietor). Morské bezstavovce sa spravidla šíria presne naopak - šírenie zabezpečujú larvy, kým dospelé jedince žijú prisadnuto.

Biologické invázie

Prirodzené šírenie organizmov sa niekedy zmení na biologickú inváziu (podrobnejšie sa budeme biologickými inváziami zaoberať v časti o kolísaní početnosti populácie).

Etilita (veková štruktúra populácie)

Etilita predstavuje súhrn všetkých vývinových a/alebo vekových stupňov v jednej populácii. Vývinové stupne môžu byť zreteľne oddelené (vajíčka, larvy a imága hmyzu ...), alebo plynule prechádzajú (dlhoveké rastliny a živočích). Pri živočíchoch rozlišujeme vek embryonálny, larvál'-ny, juvenilný, dultný a senilný. Pri rastlinách podobne rozlišujeme stupeň predreprodukčný, reprodukčný a poreprodukčný.

Vekovú skladbu populácie vyjadrujeme graficky. Na os x nanášame jednotlivé vekové skupiny a na os y ich percentuálny podiel. Vekový diagram má tri základné tvary:

1. pyramídový: najviac sú zastúpené mladé jedince. Takáto populácia má perspektívu rýchleho rastu; 2. zvonovitý: charakteristický pre vyrovnanú, ustálenú populáciu; 3. obrátene hruškovitý: veľký podiel starých jedincov naznačuje upadajúcu populáciu.

Kritériá vekovej štruktúry

Vekovú štruktúru populácie možno - podľa charakteru životného cyklu daného druhu - hodnotiť prostredníctvom fyzického veku, ontogenetických intervalov alebo reprodukčného statusu.

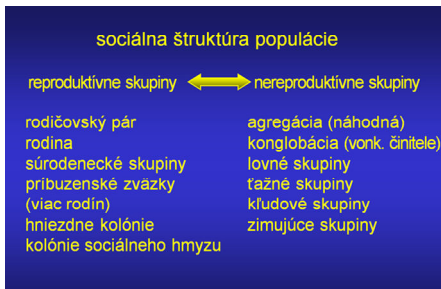
Dominantná veková trieda

Ak je niektorý ročník silno zastúpený vplyvom vysokej miery prežívania vajíčok a lariet (juveni-lov) v danom roku, v niekoľkých nasledujúcich rokoch sa reprodukcia spravidla zníži. Ide o kom-penzačný mechanizmus, ktorý spôsobuje, že dlhé prežívanie je vystriedané veľkou pravdepodobnosťou krátkeho prežívania v nasledujúcich rokoch.

Zdroj: Odum, Základy ekologie, podrobnosti treba naštudovať na s. 243-249.

Pohlavná štruktúra - sexilita

Sexilita udáva pomer zastúpenia samčích a sami-čích jedincov v populácii. Tento index má význam v reprodukčnej časti populácie ako tzv. reprodukčná sexilita. Čím vyšší je podiel samíc, tým je aj väčšia potenciálna produkcia potomstva, avšak len po hranicu, dokedy podiel samcov postačuje na oplodnenie. Rozlišujeme tri úrovne sexility. Primárna sexilita je geneticky fixovaný pomer po-hlaví v oplodnených vajíčkach, sekundárna pred-stavuje pomer pohlaví narodených mláďat a terciárna pomer dospelých reproduktujúcich sa jedincov.



Sociálna štruktúra

6 Dynamika populácie

Populácie jednotlivých druhov sú premenlivý celok, ich zloženie sa mení počas sezóny i medzi nasledujúcimi rokmi. Populačná dynamika sa prejavuje v hustote populácie (abundačná dynamika) a v jej rozdelení vnútri obývaného územia (disperzná dynamika). Môže dôjsť aj k zmenám obývaného územia (migrácii). Pohyb z územia sa nazýva emigrácia (vystahovanie), pohyb opačným smerom imigrácia (pristahovanie). Niekedy dochádza k masovej emigrácii (inupcii) z oblasti premnoženia, neraz až za geografický areál daného druhu, napr. ťahy koníkov sťahovavých alebo lumíkov.

Natalita

Natalita (množivosť) je vrodenná schopnosť organizmov produkovať potomstvo, ktorú vyjadrujeme v priemernom počte na jednu samicu, alebo - pri nepohlavnom rozmnožovaní (delenie, pučanie...) - na jedinca. Natalita sa týka celej populácie, nie jedincov. Maximálna (absolútna, fyziologická) natalita je teoreticky možná produkcia potomstva v ideálnych podmienkach, keď je rozmnožovanie obmedzené len vrodennými fyziologickými faktormi. Ekologická (realizovaná) natalita udáva produkciu potomstva za určitých vonkajších podmienok a mení sa v závislosti na týchto činiteľoch. Všeobecne platí, že organizmy, ktoré sú v daných podmienkach reprodukčne úspešnejšie, sú aj početnejšie zastúpené v danom spoločenstve a majú lepšie predpoklady na prežitie. Maximálna natalita sa využíva pri výpočtoch ako konštanta. Pri porovnávaní natality populácie rôznych druhov je problém s meraním natality v porovnateľných úsekoch ich života (napr. hmyz a vtáky - počet vajíčok sa pri hmyze zisťuje ťažko, preto sa berú do úvahy larvy, ale pri vtákoch aj vajcia).

Semelparné a iteroparné organizmy

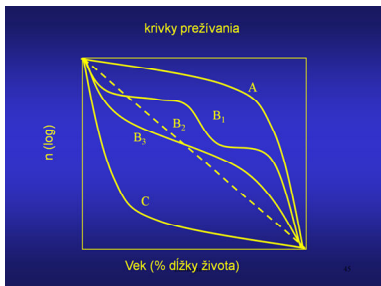
Taktika rozmnožovania rozličných druhov je rôzna. Niektoré, napr. jednoroké rastliny, efeméry, úhory, lososy sa rozmnožujú iba raz v živote a uplatňujú taktiku koncentrovaného úderu, na ktorý venujú veľké množstvo energie, často až také veľké, že po rozmnožení hynú. Iné druhy sa rozmnožujú niekoľkokrát v priebehu života, takže prípadný neúspech pri rozmnožovaní môžu napraviť, napr. vtáky zničenú násadu, hraboše mláďatá utopené vo vytopenej nore. Jednotlivé druhy sa odlišujú aj tzv. reprodukčnou hodnotou, ktorá predstavuje počet očakávaných potomkov, úspešne sa dozívajúcich reprodukčného veku. Existuje vzťah medzi pravdepodobnosťou prežitia a množstvom potomstva: stromy produkujú veľký počet semien, lebo majú malú šancu na vývin vo vhodných podmienkach. Drobné cicavce sú krátkoveké a majú vysokú úmrtnosť, preto musia byť veľmi plodné, aby nevyhynuli. Veľké cicavce majú prirodzenú úmrtnosť pomerne malú, aj počet potomkov je nízky (turovité, slony, veľryby ...).

Mortalita (úmrtnosť)

Mortalita predstavuje podiel hynutia jedincov v populácii za časovú jednotku. Ak sa vzťahuje len na určitú časť populácie, napr. istú vekovú skupinu (mláďatá ap.) ide o špecifickú mortalitu.

Minimálna (fyziologická) úmrtnosť - úmrtnosť, ktorá nastane aj za ideálnych podmienok - používa sa ako referenčná hodnota.

Reciprokom hodnotou mortality je prežívanie. Krivku prežívania získame, ak v grafe na os x nanesieme vek jedincov a na os y podiel jedincov, ktoré sa dožili daného veku. Väčšinou získame exponenciálnu krivku. Miera prežívania sa počíta ako 1-M.



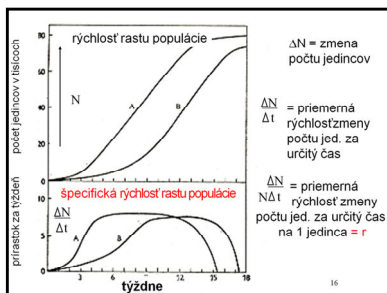
Krivky prežívania

A = konvexný typ, najväčšia úmrtnosť vo vysokom veku; B1 = schodovitý typ, najväčšia úmrtnosť pri prechode z jedného životného intervalu do ďalšieho; B2 = teoretická priamka, úmrtnosť rovnaká počas celého vekového rozpätia; B3 = sigmoidný typ, podobný ako B1; C = konkávny typ, najväčšia úmrtnosť v raných intervaloch života.

Základná reprodukčná rýchlosť populácie

patrí medzi základné dynamické parametre. Označuje sa ako R_0 a vypočítava sa (najčastejšie na základe kohortných tabuliek) ako priemerný počet potomstva (v prvom životnom intervale, v tomto prípade oplodneného vajíčka) vyprodukovaný východným jedincom za čas do vyliahnutia kohorty.

Zdroj: Begon, Harper Townsend, *Ekologie. Podrobnosti o kohortných tabuľkách a analýze kľúčového faktora treba nastudovať na s. 130-157.*



Špecifická rýchlosť rastu populácie

je ďalším zo základných parametrov dynamiky populácie. Využíva sa pri porovnávaní populácií rôznej veľkosti. Ak ho vynásobíme x100, získame percentuálnu rýchlosť rastu populácie. Výpočet:

- ΔN = zmena v počte organizmov
- $\Delta N / \Delta t$ = priemerná rýchlosť zmeny počtu jed. za určitý čas
- $\Delta N / N \Delta t$ = priemerná rýchlosť zmeny počtu jed. za určitý čas na 1 jedince = r
- $\Delta N / \Delta t$ = priemerná rýchlosť zmeny v počte jedincov
- $\Delta N / N \Delta t$ = priemerná rýchlosť zmeny v počte jedincov
- $\Delta N / N \Delta t$ = priemerná rýchlosť zmeny v počte jedincov

$$\frac{\Delta N}{N \Delta t} = r$$

okamžitá zmena $\Delta \rightarrow d$

rýchlosť rastu populácie

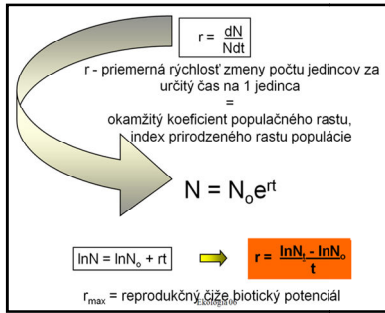
$$\frac{dN}{dt} = rN \quad \rightarrow \quad r = \frac{dN}{Ndt}$$

Okamžitá rýchlosť rastu populácie

Ekológov často zaujíma okamžitá rýchlosť rastu populácie, t.j. Δt sa blíži 0. Matematicky sa potom Δ nahrádza písmenom d :

$\frac{dN}{dt}$ = rýchlosť zmeny v počte organizmov v dt určitom okamžiku

$\frac{dN}{Ndt}$ = rýchlosť zmeny v počte organizmov v Ndt prepočte na jedného jedinca v určitom okamžiku

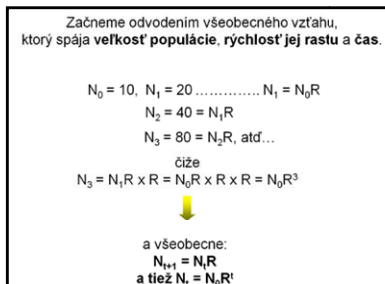


Koeficient okamžitého rastu

Ak nejestvujú limity pre rast populácie (priestor, potrava, iné organizmy a pod.), stáva sa špecifická rýchlosť rastu (t.j. rýchlosť rastu na 1 jedinca) konštantnou a súčasne maximálnou rýchlosťou pre dané mikroklimatické podmienky. V takomto prípade býva rastová rýchlosť populácie označovaná symbolom r a predstavuje exponent v diferenciálnej rovnici rastu populácie v prostredí, ktoré rast za daných podmienok neobmedzuje. V exponenciálnej integrovanej forme má táto rovnica podobu: $N = N_0 e^{rt}$, kde N_0 = počet jedincov v čase 0, N = počet jedincov v čase t , e = základ prirodzených logaritmov. Ak na oboch stranách použijeme prirodzené logaritmy, dostaneme: r_{max} , t.j. reprodukčný čiže biotický potenciál populácie.

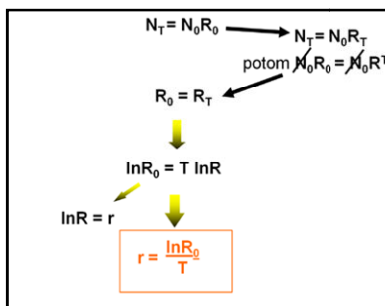
Základná reprodukčná rýchlosť a rýchlosť rastu populácie

Základná reprodukčná rýchlosť ($R_0 = \sum l_x m_x$) predstavuje súčet počtu jedincov prežívajúcich z danej kohorty vynásobený počtom potomstva a prepočítaný na 1 prežívajúceho jedinca. R_0 sa vzťahuje výlučne k priemernému počtu potomkov splodených jedným jedincom. Ako však súvisí s rastom populácie a s koeficientom r ? Keď chceme získať predstavu o rýchlosti, akou populácia stúpa či klesá, musíme čísla ďalej upravovať.



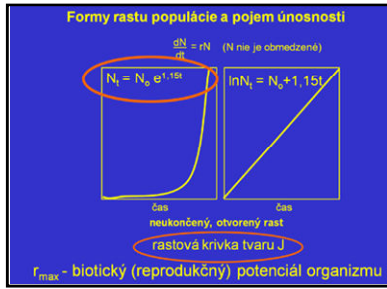
Predstavme si populáciu, ktorá má 10 jedincov, po nasledujúcich časových intervaloch rastie na 20, 40, 80, 160... Počiatočnú veľkosť populácie označíme N_0 (t.j. veľkosť populácie po uplynutí času rovného 0). Veľkosť populácie po uplynutí 1 časového intervalu potom bude N_1 , po 2 intervaloch N_2 , atď... po uplynutí t časových intervalov N_t .

t - ľubovoľná časová jednotka, T - počet časových intervalov (napr. generácií). Uvedený vzťah sa neobmedzuje na meranie času počtom generácií.



Z predchádzajúcich vzorcov (pozri vyššie) vyplýva, že R_0 je násobiteľ, ktorý mení jednu veľkosť populácie na inú veľkosť o jednu generáciu - t.j. o T časových intervalov.

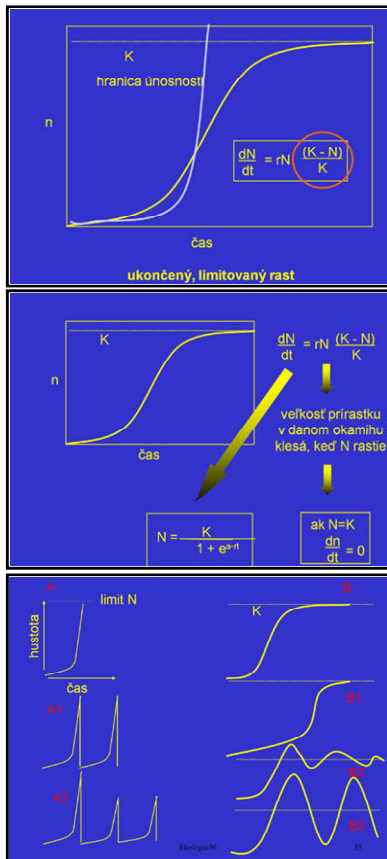
r - index prirodzeného rastu populácie rovná sa prirodzený logaritmus základnej reprodukčnej rýchlosti za T časových intervalov t - ľubovoľná časová jednotka, T - počet časových intervalov (napr. generácií), N - veľkosť populácie



Formy rastu populácie a pojem únosnosti

Populácie majú charakteristické znaky narastania početnosti – nazývame ich formy rastu populácie. V zásade jestvujú 2 základné formy, ktoré rozlišujeme podľa tvaru rastových kriviek v aritmetickom meradle – J a S. Tieto dve formy môžu byť rozmanito kombinované alebo modifikované. V prípade rastovej krivky J hustota rastie rýchlo exponenciálne, až sa napokon prudko zastaví, len čo sa, zväčša náhle, spotrebujú zdroje alebo nejakého limitujúci faktor. Tvar takeho rastu možno vyjadriť jednoduchou exponenciálnou rovnicou. Na obr. je populačný rast vyjadrený dvoma spôsobmi: vľavo v aritmetickom meradle, vpravo v logaritmickom.

J-rast hustoty populácie je charakteristický napríklad pre “vodný kvet” siníc a rias (na obr.), baktérii (pozri Eulerovo číslo) rast populácií jednoročných rastlín či rozmnožovanie niektorých druhov hmyzu – napríklad kalamitné rozmnoženie komárov, a pod. *Ďalšie podrobnosti je potrebné doštudovať zo študijnej literatúry – Odum s. 251, 252 a ďalej, Begon, Harper, Townsend s. 471 a ďalej.*



Iný, veľmi často pozorovaný typ krivky je krivka tvaru S. Vzniká ako dôsledok zvyšujúcej sa účinnosti nepriaznivých faktorov (odpor prostredia), ktorá rastie so zvyšujúcou sa hustotou populácie. Preto Nicholson opäť hovorí o type rastu, ktorý je podmienený hustotou. V najjednoduchšom prípade si možno predstaviť, že nepriaznivé faktory sú závislé na hustote lineárne. V takom prípade to možno vyjadriť rovnicou, ktorú sme tu už mali (pozri obr.) Hornú hranicu početnosti, nad ktorú už populácia nemôže rásť, predstavuje konštanta K. Nazýva sa hranica únosnosti a je hornou asymptotou S-krivky rastu populácie.

Niektoré prípady rastu populácie v aritmetickom meradle: A - exponenciálna krivka rastu tvaru J, B - krivka rastu tvaru S, A1, A2 - výkyvy prirodzené pre rastovú formu J. Nebrzdený rast sa náhle zastaví, po čom najčastejšie nasleduje prudký pokles. Podľa Nicholsona ide o typický príklad závislosti rastu populácie na hustote. B1, B2, B3 - niekoľko príkladov oneskoreného účinku hustoty populácie, ku ktorému dochádza v dôsledku toho, že medzi produkciou mladých jedincov a ich plným vplyvom na populáciu uplynie určitý čas (to je prípad vyšších rastlín a živočíchov). Ak sa nahromadia živiny alebo iné potrebné látky pred populačným rastom, môže dôjsť k prekročeniu kapacity únosnosti prostredia (B2). Preto napríklad v nových vodných nádržkách populácie niektorých druhov rýb pár rokov po spustení prevádzky výrazne rastú, potom nastane pokles, výkyvy a stabilizácia.

Aj keď rast populácie rozmanitých druhov - mikroorganizmov, rastlín aj živočíchov prebieha v laboratóriu aj prírode podľa kriviek tvaru S, neznamená to, že tieto populácie musia vždy nevyhnutne rásť podľa uvedených logistických rovníc! Existuje množstvo matematických rovníc, produktom ktorých je krivka tvaru S. Takmer každá rovnica, v ktorej sa negatívne faktory budú zvyšovať v priamej závislosti od hustoty, vyústí do krivky tvaru S. Číremu konštruovaniu kriviek sa preto v treba ekologickej výskumnej praxi vyhýbať. Je absolútne nevyhnutné mať vždy najskôr dôkazy o tom, že faktory v rovnici skutočne obmedzujú populačný rast, až potom sa môžeme pokúsiť porovnávať skutočné údaje s teoretickou krivkou. Jednoduchá situácia, pri ktorej odpor prostredia narastá lineárne s hustotou sa zrejme vyskytuje pri organizmoch s jednoduchým spôsobom života (napr. kvasinky rastúce v obmedzenom priestore, ale pri "vyšších" rastlinách a živočíchoch, ktoré majú dlhodobejšie životné cykly sú vzťahy podstatne zložitejšie a do hry vstupujú aj ďalšie faktory, pričom faktor hustoty vstupuje do hry s určitým oneskorením (pozri grafy B2, B3, obr. vyššie) .



r- a K-stratégie (oportunistické a rovnovážne populácie)

Katastrofické zmeny prostredia, t.j. disturbancie ako napríklad záplavy, požiare, extrémne sucho a pod., často vedú k veľmi vysokej mortalite, nezávisle na početnosti populácie a náhle znížia úroveň danej populácie pod minimálnu úroveň.

Také populácie, ktoré síce ľahko podliehajú vplyvu katastrofických faktorov, ale rýchlo opäť obnovujú svoju početnosť, nazývame populáciami r-stratégov (populáciami oportunistickými). Sem patria najmä krátkoveké organizmy, ktoré zvyčajne cez zimné obdobia podstatne znižujú početnosť populácií a na jar ju zasa rýchlo obnovujú. Populácie K-stratégov (rovnovážne - napr. mnohé stavovce) oscilujú okolo rovnováhy so zdrojmi a po katastrofickom znížení početnosti sa obnovujú pomalšie. Medzi oboma týmito typmi existujú početné prechodné varianty.

Pôsobením prírodného výberu sa v danej biocenóze postupne dostávajú do prevahy populácie s väčšou premenlivou adaptívnou hodnotou. Väčšia adaptívna hodnota sa môže prejavovať buď vo väčšej schopnosti rozmnožovania alebo v schopnosti lepšie využiť stanovište a zdroje energie. Na neobsadených stanovištiach, napr. po prírodnej katastrofe, na úhoroch, odkryvoch zeminy, v novo vytvorených nádržkách a pod., sú v prevahe populácie schopné rýchlo sa množiť (r-stratégia); v zaplnených ekosystémoch naproti tomu bude adaptívna hodnota vyššia v populáciách, ktoré vedú lepšie a najmä dlhodobejšie využívať stanovište, materiálne a energetické zdroje (K-stratégia), čiže výsledkom selekcie je nárast úživnej schopnosti daného stanovišta, napr. vytlačenie pionierskych rastlín lesom.

Kontinuum r/K spája opačné póly. V dôsledku premenlivosti prostredia sa poloha rovnovážnych bodov veľkosti populácie (z hľadiska prírastku a úbytku) neprestajne mení. Treba si pritom uvedomiť, že prírodné populácie sa v stave skutočnej rovnováhy prakticky nikdy nenachádzajú, ale neprestajne okolo nej oscilujú. Niekedy sú výkyvy veľké, inokedy takmer zanedbateľné.

Súčasne platí, že pozícia akejkoľvek populácie na kontinuu r/K stratégií nie je nemenná - naopak pružne sa modifikuje v závislosti od aktuálnych podmienok, t.j. v závislosti od interakcie ekologických faktorov - abiotických i biotických. Napríklad posun smerom k r-stratégii môže byť paradoxne výhodný nielen na novovytvorených biotopoch, ale aj v prostredí, ktoré je nasýtené druhmi a kde je potrebné vydať viac energie na prekonanie konkurencie, a tak zvýšiť pravdepodobnosť vlastného prežitia. To je veľmi častý prípad napríklad na začiatku biologickej invázie - posun smerom k

r-stratégiu býva charakteristický pre čerstvo etablované populácie invázných druhov. Ich budúci úspech často závisí práve od schopnosti posunúť sa v kontinuu r/K čo najväčšmi k r-koncu tohto kontinua. V takejto situácii je výhodné mať viac potomkov. Naopak, pri nízkej konkurencii je najlepšou reprodukčnou stratégiou minimálny vklad energie do reprodukcie. Výsledok selekcie závisí od adaptívnej hodnoty populácie.

7 Životné prejavy (life history)

Životné prejavy organizmov (životná stratégia) zahŕňajú celoživotný charakter ich rastu, ontogenézy – diferenciáciu, vytváranie zásob a predovšetkým rozmnožovanie. Rôzne organizmy trávajú odlišne dlhý čas (interval svojho života) rastom a diferenciáciou, vytváraním zásob a rozmnožovaním. Reprodukcia, ako už vieme môže byť iteroparná či semelparná a to všetko má pre dlhodobé prežívanie organizmov na úrovni druhu zásadný význam. Hneď na začiatku treba zdôrazniť, že štúdium životných stratégií či prejavov znamená porovnávať, nie zdôrazňovať absolútne hodnoty.

Životné stratégie organizmov sú ešte rozmanitejšie, ako organizmy (ich fenotypy), ktoré vnímame okolo seba. Medzi najvýznamnejšie zložky životných prejavov či stratégií organizmov patria: veľkosť, rýchlosť rastu a vývinu (ontogenéza), rozmnožovanie, vlastnosti fenotypu a potenciál genotypu.

Veľkosť

Veľkosť jedinca je zrejme najnápadnejším znakom životnej stratégie populácií. Mení sa od taxónu k taxónu, od populácie k populácii, od jedinca k jedincovi, osobitne premenlivá je v prípade modulárnych organizmov. Veľké rozmery môžu zlepšiť vyhliadky či schopnosti organizmu uspieť v konkurencii s inými, alebo posilniť svoj úspech ako predátora, prípadne znížiť jeho zraniteľnosť. Väčšie organizmy tiež často ľahšie udržiavajú stabilitu svojich telesných funkcií pri zmenách prostredia. To všetko preferuje väčšie organizmy. Okrem toho väčšie jedince majú aj viac potomstva (pozri prednáška - závislosť plodnosti od veľkosti samice, ilustračný príklad *N. kessleri*). Na druhej strane väčšie rozmery prinášajú aj určité riziká – vyšší strom ľahšie podľahne víchrici či blesku ako menší, väčšie jedince sú nápadnejšie, veľké organizmy potrebujú viac zdrojov a pod.

Ontogenéza a plasticita fenotypov

Život všetkých foriem života, ale najmä život mnohobunkových organizmov, treba vnímať v kontexte ich ontogenézy, ktorá nám často prezradí oveľa viac, ako akýkoľvek výskum dospelých jedincov. Niektoré parametre ontogenézy sú kvantifikovateľné, preto ich možno pomerne exaktne analyzovať. Patrí medzi ne predovšetkým rýchlosť rastu a vývinu jedincov danej populácie, vek, pri ktorom dosahujú dospelosť, či rozdiely v dĺžke jednotlivých ontogenetických intervalov – periód. Život živočíchov možno rozdeliť na päť periód: embryonálnu, larválnu, juvenilnú, dospelú a senescentnú. Trvanie týchto periód môže byť premenlivé a populácie väčšiny živočíchov môžu ich dĺžku flexibilne meniť podľa aktuálnych podmienok (abiotických i biotických) prostredia.

Flexibilita a schopnosť generovať alternatívne ontogenetické trajektórie je založená na fungovaní epigenetických mechanizmov a uskutočňuje sa prostredníctvom presmerovania alokácie získaných zdrojov. Populácia tak môže zamerať svoju životnú stratégiu buď na „istotu“ – t.j. na svoje udržanie v danom prostredí, alebo môže „riskovať“ a zamerať svoju stratégiu na rozširovanie svojho areálu a kolonizovanie nových habitatov.

Stratégia populácie je pritom odozvou živej hmoty na vonkajšie podmienky prostredia. Ak sú podmienky nestabilné alebo nepriaznivé, populácia sa „usiluje“ udržať, ak sú podmienky stabilné, resp. priaznivé, môže si „dovoliť“ stratégiu zameranú na rozptyl.



Životná stratégia populácie závisí okrem ontogenézy aj od súhrnnej miery reprodukčnej aktivity (pozri obr.), ktorá je s ontogenézou úzko prepojená.

Priame a nepriame ontogenézy

V priebehu evolúcie dochádza k divergencii ontogenetických trajektórií, ktoré dokonca môžu byť priamou príčinou evolučných zmien. Najvýraznejšie rozdiely sa prejavujú medzi živočíchmi s priamou a nepriamou ontogenézou. Pôvodné – z hľadiska evolúcie – sú nepriame ontogenézy, t.j. také, ktoré sa skladajú z vyššie uvedených piatich období života (vrátane larválnej periódy). Patria medzi ne napríklad motýle – húsenica je typická larva čiže interval života, počas ktorého má jedinec dočasné orgány, zatiaľ čo viaceré orgány typické pre definitívny fenotyp mu chýbajú. Priamu ontogenézu majú živočchy, ktoré periódu larvy zo svojho života eliminovali. Jedným z najlepších príkladov je človek.

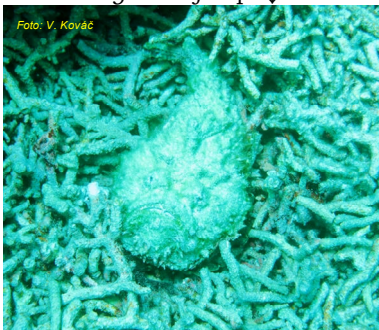
Fenotyp a životné prejavy populácie

Rozmnožovanie nie je jedinou zložkou životných prejavov. Rozhodujúci význam môžu mať aj vlastnosti somatických tkanív. Okrem investície do pohlavných produktov ide u živočíchov aj o rôznu mieru rodičovskej starostlivosti. Dĺžka života jedinca sama o sebe nie je pre populáciu veľmi dôležitá, ale dlhší život prináša napr. väčšie šance produkovať viac potomstva. Telo slúži aj na šírenie, táto schopnosť môže ovplyvniť plodnosť i schopnosť prežiť, preto je šírenie neoddeliteľnou súčasťou životných prejavov populácie.

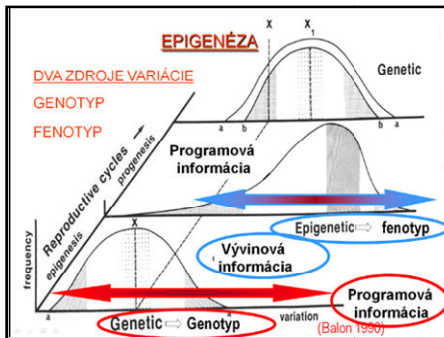
Telo, resp. fenotyp, zohráva nenahraditeľnú úlohu aj pri uchovávaní zásob energie, metabolizme, raste či obrane (od nej často závisí prežívanie). Inými slovami, fenotyp je rozhodujúci pri získavaní zdrojov a vkladaní energie a zdrojov do takých štruktúr či aktivít, ktoré uľahčujú ďalšie získavanie zdrojov, alebo poskytujú ochranu.



Caranx melampygus ↑
Synanceja sp. ↓



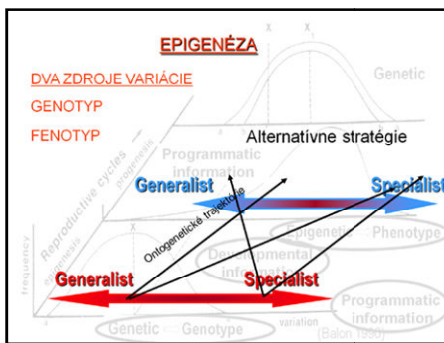
Dlhodobú existenciu druhu môže zabezpečiť napríklad pelagický spôsob života rýchlych predátorov, ktoré sú neprestajne aktívne a potrebujú veľa energie (karanxy), ale aj ich protipól – bentický spôsob života dobre maskovaných “lenivých” predátorov, ktorý sa uspokojí oveľa menším množstvom energie (menej jej spotrebujú) na prežitie – napr. synanceja.



Podľa Balona (1990), upravené.

Interakcia genotyp-fenotyp

Budovanie definitívneho fenotypu každého mnohobunkového organizmu (t.j. jeho ontogenéza) si vyžaduje dva zdroje informácií: genetický zdroj – je ním genotyp, ktorý poskytuje vyvíjajúcemu sa organizmu programovú informáciu, a epigenetický zdroj – ten zabezpečuje tvoriaci sa fenotyp, ktorý dodáva tomu istému vyvíjajúcemu sa jedincovi vývinovú informáciu. Programová informácia obsahuje podrobný návod, aký druh organizmu (a v základných rysoch aj to, aký jedinec) sa má počas ontogenézy vybudovať, vývinová informácia poskytuje jedincovi spätnú väzbu – na základe interakcií medzi vyvíjajúcimi sa štruktúrami či interakcií organizmu s vonkajším prostredím. Vďaka tejto spätnej väzbe môže program („software“) priebeh ontogenézy korigovať a usmerňovať ju tak, aby sa výsledkom celého procesu stal životaschopný jedinec (Balon 1990).



Podľa Balona (1990), upravené.

Oba tieto zdroje informácií sa vyznačujú variabilitou stavov v škále od extrémne generalizovaných po extrémne špecializované, pričom v rámci populácie má táto variabilita priebeh klasickej Gaussovej krivky zvonovitého tvaru. Dominujú „priemerné jedince“, smerom k obom extrémom počet jedincov klesá. Škálu variability programovej informácie predstavuje genetická variabilita populácie, škála variability vývinovej informácie vzniká na základe spomínaných interakcií čiže epigenetických procesov (Balon 1990).

Zdroj: Vladimír Kováč, Doslov v knihe Edward J. Larson, *Evolúcia - Neobyčajná história jednej vedeckej teórie*. Slovart 2006 (upravené).

Alternatívne ontogenézy a plasticita fenotypov

Pokiaľ sú podmienky stabilné, ontogenézy produkujú špecializované formy, ak sú však, podmienky nepredvídateľné, nastáva posun smerom ku generalizovaným alternatívam.





Reprodukčná hodnota

Prírodný výber v podstate preferuje najvhodnejšie jedince (fitness – zdatnosť v zmysle vhodnosť v danom prostredí), t.j. tie, ktoré najväčším dielom prispievajú k budúcnosti populácie. Veľkosť tohto príspevku ovplyvňujú všetky zložky životných prejavov, a to prostredníctvom plodnosti a prežitia. Pri meraní fitness však treba byť opatrný, lebo niektoré zložky môžu byť súčasťou týchto dvoch parametrov, pričom ich meranie môže zdôrazňovať plodnosť, ak však zanedbáva prežívanie, môže byť zavádzajúce. Časté rozmnožovanie nemusí byť napríklad výhodnejšie ako rozmnožovanie oneskorené. Preto sa v ekológii narába s pojmom reprodukčná hodnota.

Reprodukčná hodnota je súčtom súčasného výsledku rozmnožovania a zbytkovej (t.j. budúcej) reprodukčnej hodnoty. Zbytková reprodukčná hodnota pritom spája očakávané budúce prežitie s očakávanou budúcou plodnosťou, inými slovami, počíta s pomerným príspevkom jedinca do budúcej generácie. Reprodukčná hodnota je ako “mena”, v ktorej by sme mali vyjadrovať hodnotu životnej histórie ovplyvňovanej prírodným výberom. Najlepšie uspeje v prírodnom výbere spomedzi všetkých životných histórií taká životná história, ktorá má najvyššiu celkovú reprodukčnú hodnotu, t.j. najvyšší súčet súčasnej a zbytkovej reprodukčnej hodnoty.

Zdroj: Begon, Harper Townsend, Ekologie, ďalšie podrobnosti treba naštudovať na s. 473-509.

Reprodukčná hodnota sa vekom jedincov mení. U mladých jedincov je nízka, lebo pravdepodobnosť, že sa dožijú reprodukčného veku, je tiež nízka. Nízka je aj u starých jedincov, pretože plodnosť alebo zdatnosť čiže schopnosť prežiť, alebo oboje, klesajú.

Konkrétny rast či pokles reprodukčnej hodnoty sa mení aj v závislosti na hodnotách natality a mortality, ktoré sú druhovo aj vekovo špecifické. Vo všeobecnosti však

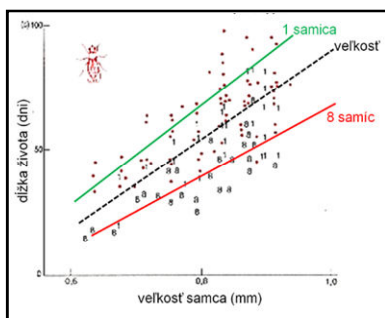
platí, že reprodukčná hodnota počas ontogenézy spočiatku stúpa, potom klesá. Na obr. vľavo rastlina plamienka Drummondova, vpravo veverka sivá. Hodnoty reprodukčnej hodnoty sa vypočítavajú na základe zložitých matematických vzorcov.

Kompromis životnej stratégie

Každá životná stratégia je v skutočnosti kompromisom v získavaní a rozdeľovaní zdrojov.

Hypoteticky možno nadizajnovať organizmus s veľmi vysokou reprodukčnou hodnotou. Taký organizmus by sa rozmnožoval hneď po zrodení, vytváral by veľmi veľa potomkov, ktorým by venoval vysokú mieru rodičovskej starostlivosti, rozmnožoval by sa opakovane a často, žil by neobmedzene dlho, víťazil by nad konkurentami, unikol by predátorom a ľahko by získaval korisť.

V skutočnosti však nič také nejestvuje – každý organizmus je z tohto hľadiska kompromis – kompromisne rozdeľuje zdroje, ktoré má k dispozícii.



Príklad kompromisu drozofily. Samce, ktoré vynaložili viac energie na reprodukciu (párenie so samicami), žili kratšie (Inglesfield a Begon, 1983). S veľkosťou síce dĺžka života narastá, ale najdlhšie žili samce, ktoré mali k dispozícii osem oplodnených samíc (na grafe ako bodka), kratšie samce, ktorá mala iba jednu nikdy neoplođenú a sedem oplodnených samíc denne (na grafe ako 1) a najkratšie samce, ktoré mali každý deň k dispozícii osem neoplođených samíc (na grafe ako 8).

Náklady na rozmnožovanie

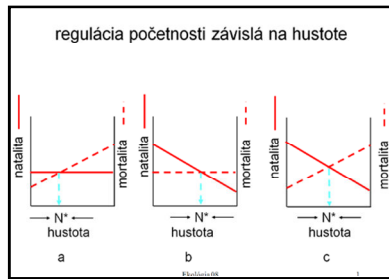
V zásade platí, že čím vyššie sú náklady na rozmnožovanie, tým je nižšia pravdepodobnosť daného jedinca na prežitie. Napr. fyzický stav lani, ktoré dojdili mláďatá je horší ako stav tých, ktoré nedojčili. Inými slovami, súčasné rozmnožovanie vedie k nižšej miere prežívania, pomalšiemu rastu alebo slabšiemu rozmnožovaniu v budúcnosti, pretože zdroje, ktoré majú organizmy k dispozícii, sú obmedzené. Cenou za rozmnožovanie je redukcia zbytkovej reprodukčnej hodnoty (ktorá sa prejavuje trebárs zmenšenou telesnou veľkosťou). Prírodný výber zvyčajne zvyhodňuje životné stratégie s najväčším súčtom súčasného rozmnožovania a zbytkovej reprodukčnej hodnoty.

Reprodukčná alokácia a náklady na rozmnožovanie

Ak prevláda na stanovišti nadbytok zdrojov, náklady na rozmnožovanie môžu byť nízke, takmer nulové. Dobrým príkladom sú pásomnice a iné endoparazity, ktoré majú extrémne vysokú reprodukčnú alokáciu, ale nízke náklady (podiel spotrebovaných zdrojov) na rozmnožovanie.

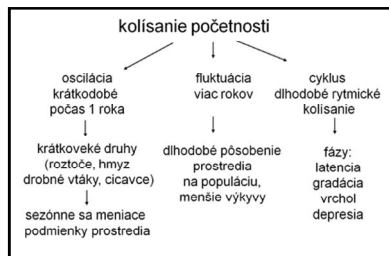
Náklady na rozmnožovanie však nie sú iba alokáciou zdrojov. Reprodukcia môže zahŕňať zvýšenú zraniteľnosť voči predátorom. Príklad zo Sev. Ameriky: pohyblivé druhy jašteríc prenasledujúce korisť a unikajúce pred predátormi majú nižšiu reprodukčnú alokáciu ako jašterice, ktoré striehnu z krytu a spoliehajú sa na maskovanie. Osobitným prípadom sú lososy – ich reprodukcia zahŕňa veľmi vysoké riziko pre prežitie, preto je ich reprodukčná alokácia maximalizovaná a rozmnožovanie sebevražedné – semelparné (pri takom veľkom riziku by sa totiž nízka reprodukčná alokácia nevyplatila).

Kombinácia veľkosti potomstva a počtu jeho jedincov môže zvyhodniť celkovú reprodukčnú hodnotu. Zjednodušene povedané, jestvujú dve základné stratégie: viac menšieho potomstva alebo menej väčšieho potomstva.



Regulácia populácie

- s natalitou nezávislou na hustote, mortalitou závislou na hustote
- s natalitou závislou na hustote, mortalitou nezávislou na hustote
- s natalitou i mortalitou závislou na hustote



Autoregulácia početnosti

Ak hustota populácie dosiahne určitú úroveň, zvyčajne začne klesať, ak je veľkosť populácie nižšia ako táto úroveň, zvyčajne rastie. K regulácii populácie môže teda v tomto zmysle dôjsť v dôsledku pôsobenia jedného alebo niekoľkých procesov závislých na hustote, ktoré ovplyvňujú:

1. natalitu a (alebo) imigráciu
2. mortalitu a (alebo) emigráciu

Ak je natalita vyššia ako mortalita populácia rastie, a naopak. N^* znázorňuje stálu rovnovážnu veľkosť populácie. Okamžitá rovnovážna veľkosť populácie závisí jednak od výšky hodnoty procesov nezávislých na hustote, a jednak od veľkosti a sklonu oboch procesov závislých na hustote. Treba zdôrazniť, že ide iba o modely, v skutočných podmienkach rovnováha nenastáva, systém sa k nej iba snaží približovať.

Trendy populačnej dynamiky

Vývoj populácie v čase prebieha lineárne alebo alternujúco. Lineárna dynamika postupuje v určitom smere, početnosť populácie stále narastá alebo klesá. Alternujúca dynamika vykonáva zmeny smeru početnosti populácie v dlhších časových úsekoch, zmeny môžu byť periodické (ročné alebo viacročné), resp. neperiodické, vyvolané extrémnymi hodnotami niektorého hraničného faktora (počasie, výživa, biologickí nepriatelia ...).

Hustota populácie v prírode nie je konštantná ani pri zdanlivo stálych podmienkach. Populácia sa z rôznych príčin rozvíja, vzniká alebo zaniká. Kolísanie krivky početnosti a jej "normálnej" hodnoty môže byť krátkodobé počas jedného roka (oscilácia), alebo počas viacerých rokov (fluktuácia), prípadne dlhodobé rytmické kolísanie (cyklus). Oscilácia sa výrazne prejavuje pri krátkovekých druhoch - roztokočoch, hmyze, drobných vtákoch a cicavcoch. Je určovaná sezónne sa meniacimi podmienkami prostredia. Fluktuácia je predovšetkým výsledkom dlhodobého pôsobenia prostredia na genofond populácie, vykazuje menšie výkyvy ako oscilácia.

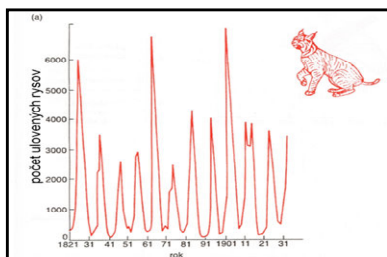
Znížená, ako aj zvýšená hustota môžu mať na danú populáciu limitujúci vplyv (Alleho princíp) – optimálna veľkosť skupiny alebo populácie zvyšuje odolnosť druhu a zvyšuje vyhliadky jedincov na prežitie.

Gradácia predstavuje také rozmnoženie populácie, ktoré naruša normálny chod biocenózy. Vzniká vtedy, keď sa hlavné existenčné faktory druhu počas dlhšieho obdobia približujú optimu. V prírodných ekologicky vyvážených biocenózach zásluhou ich autoregulačnej schopnosti dochádza ku gradácii celkom výnimočne. Predpokladom pre vznik gradácie býva až narušenie prirodzených ekosystémov človekom.

Gradácia napokon vyvrcholí (kulminuje), pričom výkyvy denzity (amplitúdy) od "normálneho stavu" a trvanie tohto výkyvu môžu byť rôzne. Gradácia začína zvyšovaním abundancie (progradácia) a nasledujúcim exponenciálnym vzrastom populácie (progresia). Po kulminácii dochádza k poklesu populácie (retrogradácia), začína sa fázou náhleho ústupu (regresia) a keď prekročí hranicu "normálneho" stavu, pokračuje miernejším opadom (dekrescencia) až po "podnormálny" stav.

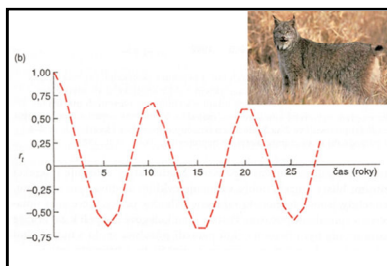
Trend populačnej dynamiky určujú genetické vlastnosti daného druhu a pôsobenie ekologických faktorov, tzv. gradocén. Gradocén tvorí komplex rôznych integrujúcich faktorov, ktoré majú špecifické účinky pre jednotlivé druhy, napr. na zrážky inak reagujú suchomilné a vlhkomilné organizmy, avšak ich reakcie ovplyvňuje súčasne aj teplota. Huby pre svoj rozvoj vyžadujú nielen vlhko, ale aj primeranú teplotu, rastliny okrem vlahy a teploty potrebujú aj isté trvanie svetla (fotoperiodiky), atď.

Celé dianie dynamiky populácie má systémový charakter, v ktorom na seba navzájom pôsobia zložky živého a neživého prostredia. Tomuto komplexu ekologických faktorov hovoríme democén a životný priestor populácie, v ktorom sa democén realizuje, nazývame dematop.



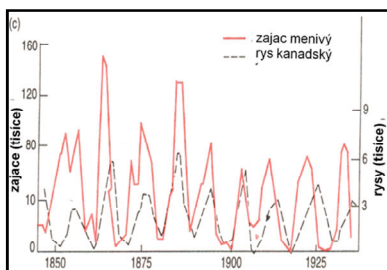
Príklad populačnej dynamiky abundancie - fluktuácie a cykly: počet rysov ulovených pre spoločnosť The Hudson Bay Company v rokoch 1821-1831. Fluktuácia je zreteľná v približne 9- až 12-ročných intervaloch, cykly v približne 40-ročných intervaloch.

Zdroj: Begon, Harper Townsend, *Ekologie*.



Korelogram rysa kanadského

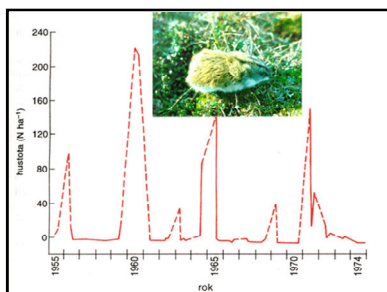
Korelogramy slúžia na overenie, či ide o skutočné cykly, alebo o náhodu. Metóda uvádza do vzťahu počet zvierat zistených každý rok s počtom v nasledujúcich rokoch so stále rastúcim časovým intervalom. Vysoké pozitívne korelácie sa objavia vždy vtedy, keď sa intervaly medzi rokmi vyrovnajú s korešpondujúcimi fázami cyklu. Ak populácia neosciluje periodicky pravidelne, korelogram klesne na nízke, nevýrazné hodnoty.



Väzba predátor – korisť

Závislosť kolísania populácie rysa kanadského od kolísania populácie zajaca menivého (obr. vľavo). Populácie oboch druhov podliehajú približne 9-10 ročnému cyklu.

Zdroj: Begon, Harper Townsend, *Ekologie*.



Kolísanie početnosti lumíka pestrého. V tomto prípade nie je vzťah kolísania početnosti lumíka k predátorom (sova snežná, liška...) taký zreteľný ako v prípade rysa a zajaca (vzťah korisť – predátor). Na rad teda prichádzajú iné príčiny, ktoré zostávajú viac-menej neznáme. To podnietilo vznik hypotéz a teórií o príčinách kolísania početnosti populácií, ktoré majú všeobecnejší charakter.

Príčiny kolísania populácií – teórie

Príčiny kolísania hustoty populácií možno rozdeliť na vnútorné a vonkajšie, hoci nie vždy sa dajú takto identifikovať. Najrozšírenejšia je predstava o príčinách meteorologických: zmena počasia pre daný druh nepriaznivá, napr. jesenné ochladenie decimuje fytofagne roztoče a hmyz. Ďalšími príčinami môžu byť interakcie vnútri populácie (hustota, natalita, mortalita, vnútrodruhovú konkurencia) a pod., nedostatok zdrojov - potravný faktor (populácia s vysokou hustotou nenachádza

dostatok potravy), nedostupnosť zdrojov - zdroje sú prítomné, ale ich súčasti, napr. biogénne alebo stopové prvky nedostupné (nutričná hodnota je nízka), alebo medzidruhové interakcie - medzi trofickými úrovňami, t.j. parazity alebo predátory druhu s hustou populáciou sa rozmnožia a rozšíria natoľko, že ju redukujú.

Biologické invázie

Biologické invázie:

4 etapy populačnej dynamiky

1. Prienik do nových ekosystémov
2. Obdobie latencie (etablovanie populácie)
3. Prudký vzostup populácie
4. Pokles a stabilizácia populácie s následnou fluktuáciou

Druh je považovaný za invázny ak:

bol do lokality, územia alebo regiónu, kde sa predtým prirodzene nevyskytoval, zavlečený ľudskou činnosťou,

bez intervencie človeka má schopnosť vytvoriť v novom prostredí životaschopnú populáciu schopnú reprodukcie,

bez intervencie človeka má schopnosť prudko zvyšovať svoju početnosť a zväčšovať svoj areál rozšírenia

Ďalšie podrobnosti: prednáška Ekológia 08

Medzidruhové vzťahy

medzidruhové vzťahy			
typ vzťahu	druh 1	druh 2	charakter vzťahu
neutralizmus	0	0	populácie sa navzájom neovplyvňujú
konkurencia - priama	-	-	populácie sa navzájom obmedzujú
konkurencia - zdroje	-	-	populácie sa obmedzujú nepriamo
amenalizmus	-	0	populácia 1 je obmedzovaná, populácia 2 je nedotknutá
parazitizmus	+	-	populácia 1 (parazit) je zvyčajne väčšia ako populácia 2 (hostiteľ)
predácia	+	-	populácia 1 (predátor) je zvyčajne menšia ako populácia 2 (hostiteľ)
komenzalizmus	+	0	populácia 1 (komezál) profituje, populácia 2 je nedotknutá
protokooperácia	+	+	vzájomný vzťah je prospešný obom druhom, nie je však nutný
mutualizmus	+	+	vzájomný vzťah je prospešný obom druhom, je nutný

Vývoj medzidruhových vzťahov v čase

v priebehu evolúcie a vývoja ekosystémov sa záporné interakcie vytrácajú v prospech kladných (podpora prežívania druhov vo vzájomnej súčinnosti)

recentné a nové asociácie vytvárajú skôr záporné vzťahy

Ďalšie podrobnosti: prednáška Ekológia 08, predpísaná literatúra (Odum, Základy ekologie, Begon, Harper, Townsend, Ekologie)

8 Synekológia

Synekológia je ekológia **spoločenstiev** organizmov. Spoločenstvo, čiže biocenóza, resp. cenóza, je súborom populácií organizmov žijúcich v danom čase na danom priestore. Synekológia skúma predovšetkým to, ako sú jednotlivé zoskupenia druhov v prírode rozšírené, ako jednotlivé spoločenstvá vznikli, ako existujú či ako ich ovplyvňujú alebo podmieňujú interakcie medzi druhmi a fyzikálne vlastnosti v prostredí.

Pojem **biocenóza** zaviedol Moebius v roku 1877, a to pri štúdiu ustricových lavíc, keď zistil, že sa skladajú z rôznych druhov žijúcich v stabilných vzájomných vzťahoch a v zhode s podmienkami daného biotopu. Biocenózu definoval ako spoločenstvo žijúcich organizmov, ktoré zložením a počtom druhov i jedincov vzájomne sa podmieňujúcich zodpovedá priemerným vonkajším podmienkam, a ktoré sa rozmnožovaním trvalo udržiava vo vymedzenom priestore.

K charakteristickým znakom každej biocenózy patria tri vlastnosti – stálosť, nezávislosť a autoregulácia. Medzi typické ustálené biocenózy patria napríklad spoločenstvá lesov, trávnatých porastov, morí, jazier či riek, ktoré pretrvávajú celé stáročia a sú značne stabilné.

Clements v roku 1916 sformuloval názor, že spoločenstvo je vlastne jeden veľký **superorganizmus**, superindividuum. Podľa tejto koncepcie spoločenstvo tvorí systém, resp. jednotka, ktorá sa tvorila dlhodobou koevolúciou druhov, ktoré spoločenstvo tvoria. Druhy spoločenstva sú potom viazané vzájomnými funkčnými vzťahmi a v dôsledku toho je zloženie spoločenstva stabilné, funguje a reaguje ako celok. jednotlivé spoločenstvá sa v zmysle tejto koncepcie dajú od seba dobre odlišiť, lebo sú ostro ohraničené.

Fytocenológ Gleason neskôr prišiel s odlišným ponímaním spoločenstva, ktoré bolo založené na **individualistickom** koncepte. Podľa neho ideálne spoločenstvo (t.j. spoločenstvo so stálou štruktúrou, druhmi, vzťahmi, atď...) neexistuje. Spoločenstvo predstavuje funkčný systém, ale veľmi otvorený a tiež premenlivý. Do spoločenstva vždy vstupujú tie druhy, ktoré nachádzajú v danom biotope v danom čase vhodné podmienky pre svoju existenciu. Ako sa tieto podmienky menia, tak sa mení aj druhové zloženie spoločenstva, pričom nemožno hovoriť o fixných jednotkách, ale skôr o postupnej zmene spoločenstva.

Podľa individualistického konceptu sa teda druhové zloženie spoločenstiev mení postupne, kým podľa konceptu superorganizmu existuje náhly gradient, resp. zmeny sa dejú náhle.

Oba tieto koncepty sa uplatňujú aj dnes, hoci v súčasnosti dominuje v ekologickom výskume skôr individualistický prístup. To však neznamená že prístup superorganizmu treba zavrhnúť, v skutočnosti je pre rozmanité úvahy veľmi užitočný.

Prostredie, v ktorom sa vyvinula biocenóza sa nazýva **biotop**. Medzi biotopom a biocenózou jestvujú veľmi úzke väzby a vzťahy. Pojem biotop má podobne ako biocenóza, ale aj mnohé iné ekologické pojmy, viacero výkladov. Väčšina autorov však chápe biotop ako miesto, kde organizmy žijú, vo vzťahu k biocenóze potom ide o abiotické prostredie biocenózy.

Vzťahy a vzájomné princípy biotopu a biocenózy možno charakterizovať troma základnými biocenotickými princípmi.

1. biocenotický princíp (Thienemann 1918, 1920): Čím sú životné podmienky biotopov rozmanitejšie, tým viac druhov biocenóza obsahuje, pričom hustota populácií jednotlivých druhov je pomerne nízka. V takom prípade je biotop veľmi členitý a poskytuje viac možností pre výskyt väčšieho počtu druhov. **Napríklad v entomocenózach tropického dažďového lesa ľahšie nazbierate 100 jedincov rozličných druhov než 100 jedincov jedného druhu.**

2. biocenotický princíp (Thienemann, 1918): Čím väčšími sa životné podmienky biotopu odchyľujú od stavu optimálneho (pre danú biocenózu), tým je biocenóza druhovo chudobnejšia, pričom populácie niekoľko málo druhov dosahujú vysokú hustotu. **Druhovo chudobné biocenózy sú typické napríklad pre tundru, znečistené vody, slané jazerá, morské hlbiny či vysokohorské biotopy.** Tento princíp posilňuje aj pravidlo abundancie, podľa ktorého vo variabilnejších biotopoch dosahujú najvyššiu abundanciu eurýktné druhy, zatiaľ čo stenoektné druhy bývajú najpočetnejšie zastúpené v biotopoch s uniformnými a extrémnymi podmienkami.

3. biocenotický princíp (Franz, 1952): Čím sú životné podmienky v biotope stabilnejšie, tým je biocenóza druhovo bohatšia, vyrovnanjšia a stabilnejšia.

V rôznych častiach biotopu vznikajú miesta, na ktorých sa organizmy koncentrujú viac ako na iných miestach, pretože väčšími vyhovujú ich požiadavkám. Také miesta sa nazývajú **choriotopy** a v podstate predstavujú horizontálnu stratifikáciu biotopu. Spoločenstvá organizmov, ktoré ich osídľujú, nazývame **choriocenózy**.

Ďalším subsystémom biocenózy môžu byť **merocenózy** – cenózy viazané na istú štruktúrnu jednotku v spoločenstve, napríklad na korene stromov, listy, dutiny a pod...

Zoskupenie rovnakých životných foriem označujeme termínom synúzie. Patria medzi ne napríklad synúzie machov na kameňoch, synúzie rastlín bylinnej etáže dubového lesa. V zoocenológii sa pojem synúzie používa aj v zmysle taxocenózy.

Tam, kde sa stretávajú dve rôzne spoločenstvá, vznikajú často prechodné spoločenstvá, ktoré sa nazývajú **ekotony**. Ekosystém má spravidla územie hlavného výskytu biocenózy a perifériu vykazujúcu prechodné prvky k susediacej biocenóze. Prechodné pásmo medzi ekosystémami (ekoton) sa vyznačuje značne variabilnými podmienkami, napr. okraje lesov tvorí pásmo krov, do ktorého prenikajú prvky flóry i fauny z oboch hraničiacich ekosystémov. Ekotony môžu byť rôzne široké: medzi tečúcou vodou a pevninou býva dosť úzka zóna pobrežnej vegetácie, kým medzi lesom a stepou vzniká lesostep do šírky desiatok až stovák km. **Ekotony sa vyznačujú zvýšenou druhovou pestrosťou, jav nazývame okrajový efekt (edge effect).** Na pomerne malej ploche ekotonu sa môžu striedať jednotlivé vývojové stupne biocenóz, napr. jazero - trasovisko - mokrá lúka - les. Takéto navzájom súvisiace sukcesívne série nazývame biocenotický komplex. Ekosystém môže mať aj vyčlenené fragmenty, ktoré od neho oddeľujú buď prirodzené bariéry (voda, skaly ...) alebo antropogénne zásahy (sídlišká, obrábané plochy, vodné stavby ...). Z fragmentov sa po redukcii materskej biocenózy stávajú refúgiá, napr. poľné lesíky a pobrežné stromové porasty, ako pozostatok pôvodných lesov v kultúrnej krajine.

Kvantitatívne a štruktúrne vlastnosti spoločenstiev

Druhová hustota spoločenstva predstavuje počet druhov danej cenózy na jednotku plochy alebo objemu. Druhové zloženie spoločenstva sa označuje aj termínom druhové spektrum. To, z koľkých druhov sa spoločenstvo skladá, závisí od viacerých parametrov. Jedným z nich je samotná flóra a fauna danej oblasti, vzniká teda spätná väzba, keď druhová skladba spoločenstva vlastne závisí od druhovej skladby spoločenstva. Ide o prípady, keď je prítomnosť niektorého druhu podmienená prítomnosťou iného druhu.

Pri zisťovaní druhového bohatstva spoločenstva je dôležitá **veľkosť vzorky**, ktorá sa spracúva, resp. veľkosť plochy, z ktorej vzorka pochádza. Pri zväčšovaní plochy počet zistených druhov najskôr strmo stúpa, neskôr sa spravidla stabilizuje (závislosť je nelineárna). Keďže sa nedá sledovať osídlenie celého biotopu, musíme sa obmedziť na reprezentatívne vyčlenené časti biotopu, osídlenie ktorých zodpovedá skutočnému

stavu biocenózy. Takúto časť sledovaného biotopu nazývame minimálna plocha alebo minimálny areál. Čím je počet druhov biocenózy vyšší, tým väčší je minimálny areál. Zisťovanie druhového bohatstva spoločenstva ďalej závisí od veľkosti areálu, ktoré dané spoločenstvo obsadzuje a na ktorom žije.

$$S = aP^b$$

Abundancia - počet všetkých jedincov spoločenstva na jednotku plochy bez ohľadu na druhovú príslušnosť.

Dominancia vypovedá o významnosti jednotlivých druhov v spoločenstve. Pri zisťovaní dominancie môžeme vychádzať z počtu jedincov daného druhu, ktoré potom vyjadríme v % podiele druhu v spoločenstve. Problémom sú však modulárne organizmy. Ďalej treba mať na pamäti, že jedinec je v rámci spoločenstva veľmi relatívny pojem. Celkom iný význam bude mať jeden mravec a jeden jeleň. Preto je vhodnejšie vychádzať z biomasy, t.j. hmotnosti organizmov. Spoľahlivým ukazovateľom je najmä energia – množstvo energie, ktoré preteká populáciou druhu. Ak však skúmame taxocenózu, dá sa vychádzať aj z počtu jedincov.

Fytocenológovia používajú dominanciu ako pokryvnosť a vyjadrujú ju v percentách alebo v stupňoch pokryvnosti odvodených z percentuálnych hodnôt. Ide zväčša o plochu vertikálnej projekcie nadzemných častí rastlín na horizontálnom priemete fytocenologickej plochy.

Hodnotu dominancie ovplyvňuje počet druhov, ktoré zoocenózu tvoria, pričom s rastúcim počtom druhov sa relatívne znižuje. Preto je v spoločenstvách s veľkým počtom druhov dominancia najpočetnejších druhov relatívne nižšia ako v zoocenózach, ktoré sú druhovo chudobné. Dominanciu môžeme vyjadrovať v triedach, ktoré zodpovedajú určitým percentuálnym rozsahom. Dominancia má aj svoju štruktúru (pozri ďalej). Štruktúra dominancie vypovedá o tom, ako sú obsadené niky.

Frekvencia nám udáva, ako často sa jednotlivé druhy vyskytujú v sérii vzoriek odobratých z tej istej zoocenózy, čiže to, ako často sa podieľajú na celkovej štruktúre spoločenstva. Získané percentuálne údaje zostavíme do 5 alebo 10 frekvenčných tried, zväčša s intervalom 20, alebo 10 %. Výsledky možno znázorniť graficky alebo v tabuľke. Najväčšiu frekvenciu vykazujú dominantné druhy spoločenstva, preto sa dostávajú do najvyšších frekvenčných tried. Z rozloženia frekvencie vyplýva hustota jednotlivých populácií v zoocenóze. Čím častejšie sa ten ktorý druh vyskytuje v paralelných vzorkách, tým má vyššiu denzitu. Frekvencia teda vyjadruje aj hustotu, je však závislá od disperzie.

Konštantnosť vyjadruje stálosť druhového zloženia určitého typu zoocenózy, či už v kontexte priestorovom alebo časovom. Zisťuje sa tak, že sa z určitej vzorky odoberieme väčší počet vzoriek v rôznom čase, alebo odoberieme vzorky z rovnakého typu zoocenózy, ale z rozličných miest, a zistíme tak, akú stálosť výskytu vykazujú jednotlivé druhy v rôznom čase, resp. na rôznych miestach svojho rozšírenia. Ak označíme počet vzoriek, v ktorých sa druh vyskytol, ako n_i a počet všetkých vzoriek ako s , vzorec pre konštantnosť (a frekvenciu) bude:

Frekvencia

$$F = \frac{n_i \cdot 100}{s} \quad \boxed{\text{Séria vzoriek z tej istej biocenózy (súčasne)}}$$

Konštantnosť

$$K = \frac{n_i \cdot 100}{s} \quad \boxed{\text{Séria vzoriek z tej istej biocenózy (v rôznom čase)}}$$

Diverzita, čiže druhová rozmanitosť, spoločenstva je štruktúralno-quantitatívna vlastnosť každého spoločenstva, ktorá vyjadruje pomer počtu druhov k počtu jedincov. Tento vzťah sa vyjadruje ako index diverzity H' . Pre index diverzity bolo odvodených množstvo rozličných vzorcov, najčastejšie sa však používa index Shannona a Weanera. Ak je počet druhov a, b..... s $N_a, N_b \dots N_s$, a počet všetkých jedincov cenózy N, potom pravdepodobnosť, že jeden jedinec patrí druhu i je p_i . Túto pravdepodobnosť vypočítame zo vzťahu (pozri obr.), t.j. podielom počtu jedincov ktoréhokoľvek druhu a počtu všetkých jedincov, ktoré zoocenózu tvoria.

Index diverzity potom vypočítame podľa vzorca (pozri obr.), ktorý je odvodený z teórie informácií. Hodnota indexu je vyjadrená v bitoch (1 bit = jednotka informácie; zodpovedá informácii o tom, že nastal jeden z dvoch rovnako pravdepodobných javov). Čím je index diverzity vyšší, tým väčší je počet druhov, ktoré tvoria zoocenózu, a tým väčší je celkový počet jedincov rozložený na viac druhov. Inými slovami, ak všetky jedince patria tomu istému druhu, index diverzity je najnižší (=0), a naopak, ak každý jedinec patrí inému druhu, index diverzity je najvyšší.

Ďalšou významnou vlastnosťou spoločenstva je vyrovnanosť, čiže **ekvitabilita**, ktorá sa vyjadruje ako pomer zisteného indexu diverzity k maximálnemu možnému indexu diverzity (pri danom počte druhov).

Diverzita

$$p_i = \frac{N_i}{N} \quad \boxed{\text{pravdepodobnosť, že 1 jedinec spol. patrí druhu i}}$$

Diverzita $H' = \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$ Shannonov index

$$H'_{\max} = \ln S$$

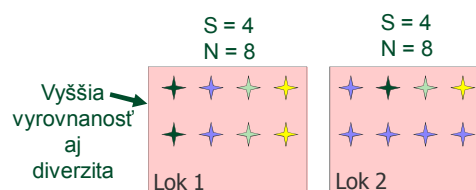
Ekvitabilita $E = \frac{H'}{H'_{\max}}$ Sheldonov index

Vyrovnanosť (ekvitabilita)

- Definícia vyrovnanosti
- Do akej miery sa zhoduje abundancia jednotlivých druhov spoločenstva?
 - Jednoduchý spôsob skombinovania abundancie a druhovej bohatosti
- Zriedka dosahujú všetky druhy rovnakú abundanciu
 - Niektoré druhy sú konkurencieschopnejšie, plodnejšie, majú všeobecne vyššiu abundanciu ako ostatné

Vyrovnanosť zvyšuje diverzitu

- Vyššia vyrovnanosť → vyššia diverzita
 - Platí pre všetky modely



Vyrovnanosť ako indikátor

- V mnohých ekosystémoch je vysoká vyrovnanosť známkou zdravého prostredia
 - V takých ekosystémoch nebýva jeden dominantný druh
 - V narušených často dominujú invázne druhy
 - Paradox "obohateného" spoločenstva
 - Narušené oblasti
 - Jednoduchá biodiverzita
 - Dominancia zopár druhov - ekologická aj početnostná

Vyrovnanosť medzi lokalitami

- Porovnávať rôzne ekosystémy je spravidla nemožné
 - V niektorých oblastiach je nižšia biodiverzita prirodzeným javom
 - Tajga má prirodzene oveľa nižšiu vyrovnanosť ako opadavý les
 - V tajge často dominuje jeden druh (napr. smrek)
 - Porovnanie môže znemožniť aj sezónnosť
 - skoro na jar v miernom pásme vyrovnanosť nižšia ako neskôr

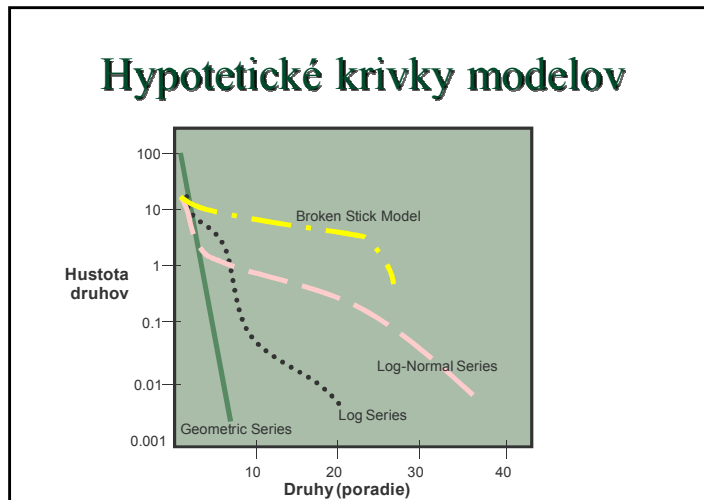
Štruktúra dominancie (typy vyrovnanosti)

- Vyrovnanosť môže mať niekoľko podôb, ktoré možno znázorniť **modelmi štruktúry dominancie**
- Jestvujú 4 hlavné modely štruktúry dominancie
 1. Geometrická séria
 2. Log séria
 3. Log-normálna séria
 4. "Broken stick"
- Dominancia jediného druhu od modelu #1 po #4 klesá
 - Možná je aj početnostná aj ekologická dominancia

Hypotetické krivky modelov

Ako to vyzerá v prípade:

- **Maximálnej** vyrovnanosti?
- **Minimálnej** vyrovnanosti?



Modely a ich použitie

Umožňujú využiť všetky dostupné údaje a predstavujú najúplnejšiu interpretáciu dát
 Všeobecne platí,že:

1. Vyrovnanosť rastie v rade Geometric □ Log □ Log-normal □ Broken Stick model
2. Dominancia každého druhu klesá v rade Geometric □ Log □ Log-normal □ Broken Stick model
3. Broken stick model je najbližšie prirodzenému stavu, t.j. max. vyrovnanosti

Geometrický model

Nika neobsadená, ekosystém sa formuje;

Druh 1 zaberá istý podiel zdrojov a bráni ostatným využívať ich zdroje pre tento druh sa však časom zmenšujú a jeho schopnosť odolávať konkurencii prichodu ďalších sa oslabuje; Druh 2 zaberá ďalší, ale podstatne menší podiel

Nasledujú ďalšie druhy, pokým sa niky nezaplnia ekosystém sa z hľadiska počtu druhov nasýti. Kooperácia v ekosystéme je minimálna.

Log-model

Model blízky geometrickej sérii

V niekoľkých štúdiách sa oba modely mohli použiť na tie isté dáta

Zahŕňa podobnú hypotézu o pôvode spoločenstva

Príchod druhov no nového prostredia

Oba modely vypovedajú o tom, že o štruktúru komunity formuje niekoľko málo rozhodujúcich faktorov

V oboch modeloch dominuje jeden (geometrický) alebo zopár (log) druhov

Log model sa od geometrického líši v predpokladoch o príchode druhov

Log séria: ďalšie druhy prichádzajú náhodne

Intervaly medzi príchodmi ďalších druhov môžu byť krátke i dlhé

Geom. séria: príchod ďalších druhov je pravidelný a postupný

Log-normálny model

Model Log-normálnej série vyhovuje väčšine spoločenstiev

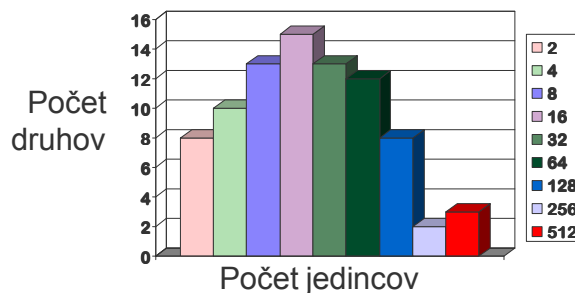
Zvyčajne ide o veľké, vyzreté spoločenstvá

Napr. lesy mierneho pásma

Krivka zodpovedá logaritmickému normálnemu rozdeleniu pravdepodobnosti

□ Druhy zoskupené do tried

- Najčastejšie oktávové rozdelenie (Log_2)
- Podiel stredne zastúpených druhov sa zvyšuje



Model predpokladá formovanie spoločenstva:

Postupné rozčleňovanie prázdnych ník

Niky jednotlivých druhov sa prekrývajú, medzidruhovú kompetíciu

Každý ďalší druh obsadí časť potenciálnej niky

Podiel obsadenej časti niky zodpovedá abundancii druhu

Vypadnutie druhu zo spoločenstva nie je kritické

Broken stick model

Hypotéza náhodných hraníc medzi nikami

“broken stick” – MacArthur (1957)

Palica náhodne naraz polámaná na S kúskov

Priestor je obsadený, niky sa dotýkajú, ale neprekrývajú

Nijaký vzťah medzi prítomnosťou skorších druhov a veľkosťou niky ďalších objavujúcich sa druhov (na rozdiel od predchádzajúcich modelov)

Tento model Najlepšie "sedí" na úzko definované spoločenstvá taxonomicky príbuzných organizmov (taxocenózy). Ak Broken Stick model vyhovuje nazbieraným dátam, nie je potrebný žiadny ďalší index diverzity – S sa stáva adekvátnou mierou diverzity.

Časové zmeny spoločenstiev

Všetky spoločenstvá podliehajú zmenám v čase i priestore. Časové zmeny spoločenstiev možno rozdeliť na tri typy: periodické, náhle (disturbancie) a komplexné.

Periodické zmeny sú také zmeny spoločenstiev, ktoré sa pravidelne striedajú. Môže ísť o krátkodobé cykly čiže cirkadiánný (24-hodinový) cyklus, alebo sezónne cykly, t.j. cykly podliehajúce ročným obdobiam. Cirkadiánne zmeny sa prejavujú najmä u živočíchov, ale aj rias či siníc. Mnohé živočíchy podnikajú cirkadiánne migrácie za potravou, preto sa zloženie spoločenstva na danom mieste môže v priebehu 24-hodinového cyklu meniť.

Sezónne zmeny v spoločenstvách vyplývajúce zo striedania ročných období sa prejavujú v podobe fenologických aspektov. Fenológia je osobitný smer v ekológii zaoberajúci sa štúdiom periodicity životných prejavov v spoločenstvách v závislosti od kalendárneho času. Skúma predovšetkým fenofázy, t.j. určitý stav spoločenstva v priebehu roka. Sezónne aspekty na seba nadväzujú a niekedy je ťažké ich od seba odlíšiť. Podľa Tischlera (1955) rozoznávame v biocenózach mierneho pásma 6 sezónnych aspektov:

1. Zimný čiže hiemálny (november - marec)
2. Predjarný čiže prevernálny (marec - apríl) medzi koncom zimných javov (koniec snehovej pokrývky i celodenných mrazov), začiatok kvitnutia jarných efemérov
3. Jarný čiže vernálny (máj - začiatok júna) od otvárania listových pukov po odkvitnutie
4. Letný čiže estiválny (polovica júna - polovica júla)
5. Neskoroletný čiže serotinálny (polovica júla - polovica septembra) hranicou je koniec rastu drevín
6. Jesenný čiže autumnnálny (september - október) dozrievanie plodov, príprava na zimu, opadávanie listov, zvýšenie metabolizmu

Komplexné zmeny sú dlhodobejšie zmeny spoločenstiev, ktoré môžu mať charakter **cyklických** zmien, **fluktuácií** alebo **sukcesíí**.

Cyklické zmeny súvisia s vekom spoločenstva a s rozdielnymi nárokmi rastlín v inom období rastu, napr. mladý porast *vs.* starý les.

Fluktuácie predstavujú dlhodobé kolísanie v zložení spoločenstva, ktoré nemajú cyklický charakter, spoločenstvo podliehajúce fluktuáciám nemá fixné zloženie.

Sukcesie - vývoj spoločenstva, ktorý smeruje k určitému ustálenému stavu, pričom nejde o cyklický, ale jednosmerný vývoj, ktorý dokonca vieme s istou presnosťou predvídať. Sukcesia prebieha v dôsledku zmien fyzického prostredia, pričom tieto zmeny sú vyvolané pôsobením spoločenstva ako takého. Sukcesia je kontrolovaná spoločenstvom. Biocenózy sa vyvíjajú určitým smerom k vrcholovému štádiu v daných prírodných podmienkach, **klimaxu**. Podľa rázu rozhodujúceho faktora vývojového procesu rozlišujeme sukcesiu **autogénnu** a **alogénnu**. Autogénnu sukcesiu vyvoláva pôsobenie organizmov na abiocén, napr. skala postupne zarastá lišajníkmi, machom, trávou a bylinami, až napokon sa uchytia stromy. Alogénnu sukcesiu vyvolávajú geomorfologické procesy a klimatické činitele, napr. preloženie koryta rieky zmení v jej okolí výšku hladiny spodnej vody a polohu inundačného pásma. Zmenený vodný režim územia zapríčini zmeny v druhovej skladbe aj biomase suchozemskej vegetácie, čo sa následne odrazí na štruktúre zoocenózy. Alogénnu sukcesiu spoločenstiev vyvoláva i zmena pôvodnej krajiny na krajinu kultúrnu (antropogénnu subklímax).

Rozlišujeme aj **primárnu** sukcesiu - pionierske štádiá - vyššie spomínaný príklad skaly, a **sekundárnu** sukcesiu - prípad, keď nové spoločenstvo vzniká na substráte, ktorý bol predtým obývaný a zlikvidovaný, napr. orbou, ťažbou a pod.

Spoločenstvá, ktoré nasledujú v sukcesii za sebou sa označujú termínom **série**. Rozoznávame **hydrické** a **xérické** série.

Hydrické série sa začínajú vo vode. Ak sa napríklad vybágruje štrkové jazero, séria má spravidla nasledujúcu podobu: mikroorganizmy, riasy, sinice, pri brehu rastliny - v dôsledku toho sa na dne hromadí organická hmota a jazero sa postupne **zazemňuje** - vodná plocha sa mení na mokraď, v ktorej sa postupne uchytiť prvé dreviny - napr. vrby a jelše. Tie spôsobujú zvýšené vyparovanie vody a vysušenie substrátu, až napokon vznikne suchozemské prostredie. Xérické série začínajú suchozemským prostredím.

Terminálnym štádiom sukcesie je klimax - stabilizované spoločenstvo, ktoré je teoreticky stabilizované v čase za daných klimatických podmienok. Prvky, ktoré ho tvoria, sú ustálené, preto spoločenstvo už nepostupuje do nijakého ďalšieho štádia. Rozlišujeme niekoľko typov klimaxu:

Klimatický klimax - typ klimaxu, ktorý je v súlade s makroklimou.

Edafický klimax podmieňujú miestne pôdne podmienky - napríklad lužné lesy, ktoré získavajú opakovaně živiny prostredníctvom záplav.

Extrazonálny klimax - typ spoločenstva v stave klimaxu, ktoré sa nachádza v inej klimatickej oblasti - napr. horské klimaxové spoločenstvá predstavujúce glaciálne relikty.

Katastrofický klimax - vzniká v oblasti s pravidelným výskytom katastrofických javov (napr. periodické požiare), čiastočne sem môžu patriť aj lužné lesy.

Disklimax - stabilizované spoločenstvá nie klimaxového charakteru, ale udržiavané človekom alebo domácimi hospodárskymi zvieratami - kosené lúky, pasienky, stepi s pastvou, sady...

9 Ekosystém

Ekosystém

základná ekologická jednotka,
ktorú tvoria biocenózy
integrované s ich neživým prostredím - biotopom

vyznačuje sa vnútornou usporiadanosťou,
špecifickým obehom hmoty a tokom energie,
čo sa prejavuje schopnosťou autoregulácie

Ekosystémy sú otvorené systémy,
ktoré sa vyznačujú vlastnou štruktúrou

Ekosystém vyžaduje neprestajný prísun energie. Získava ju zo svetla prostredníctvom autotrofných organizmov, ktoré ju viažu a ukládajú v podobe ATP. **Energia** systémom **preteká**, čo znamená, že **nekoluje!** Naproti tomu, **hmota** – **látky** – v ekosystéme **kolujú**, pričom ich **kolobeh** je takmer **uzavretý**.

Termodynamické zákony

I. Každý ekosystém závisí od energie importovanej do ekosystému (slnečné žiarenie, výnimočne geotermálna energia). Ak sú nejaké ekosystémy predsa len závislé od iných typov energie, ide vždy o energiu premenenú zo slnečnej energie.

II. Procesy, ktoré sú spojené s premenou energie, nikdy neprebiehajú so 100 % účinnosťou. Pri premene energie dokádza k zvyšovaniu miery neusporiadanosti –

usporiadaná forma energie sa čoraz väčšími mení na formu neusporiadanú. Neusporiadaná forma energie je teplo. Miera neusporiadanosti sa nazýva entropia.

Pohyb látok v ekosystéme prebieha cez dve fázy trofických potravných **reťazcov**. Prvou fázou je **pastevno-koristnícky (herbivorný)** reťazec, kde producenty vytvárajú biomasu, v ktorej je viazaná energia. Konzumenty prevádzajú biomasu a energiu do inej podoby. Druhou fázou je **rozkladný (detritový)** reťazec, v ktorom reducenty zabezpečujú rozklad zvyškov z predchádzajúceho reťazca až na jednoduché minerálne látky.

Vo vyspelých ekosystémoch transformácia biomasy prebieha po zložitých prepletajúcich sa dráhach, napr. dážďovky sú detritofágne, teda patria k deštruentom. Samy sa však stávajú korisťou predátorov - chrobákov, obojživelníkov, vtákov, krtov ap. Tým sa časť ich biomasy vráti do hladiny sekundárnych konzumentov. Všežravé živočíchy - potkan, diviak, liška, človek ap. - sú súčasne primárnymi, sekundárnymi aj terciárnymi konzumentmi. Predstava priameho potravného reťazca je teda značne zjednodušená, preto je správnejšie pohyb biomasy v ekosystéme nazývať potravná sieť. Čím sú ekosystémy druhovo bohatšie, tým zložitejšie sú ich potravné siete, napr. porovnajme potravné vzťahy v prameňoch a v rybníku alebo na púšti a v pralese.

Všetky organizmy v biocenóze, bez ohľadu na ich systematickú príslušnosť, ktoré majú podobnú trofickú vzdialenosť k primárnym producentom, súborne nazývame trofická rovina, napr. rovina byľinožravcov, rovina predátorov, ich parazitov atď.

Ekologická pyramída

Ak trofickú štruktúru určitého ekosystému zobrazíme pomocou plošného diagramu, dostaneme obraz ekologickej pyramídy. Medzi za sebou nasledujúcimi trofickými úrovňami sústavne klesá objem biomasy, resp. energie, najčastejšie asi o 90%, napr. z 1000 kg rastlinnej hmoty sa vyprodukuje približne 100 kg hmotnosti byľinožravcov a z nich 10 kg hmotnosti dravcov. Postupný úbytok biomasy v jednotlivých trofických úrovniach však nie je vždy v uvedenom približnom pomere 10:1. Transformačné straty môžu byť odlišné podľa povahy daného ekosystému alebo v dôsledku pôsobenia limitujúcich faktorov prostredia. Rozdiely v účinnosti energetickej premeny rôznych prírodných ekosystémov spôsobujú najmä odlišné vlastnosti producentov, napr. vo vodách býva väčšia okamžitá biomasa konzumentov ako producentov, lebo producenti sú prevažne drobné riasy, ktorých sa konzumenti ľahko zmocnia a celé ich požírajú. V suchozemských biocenózach prevládajú producenti, lebo sú odolnejší voči konzumácii, v lese dominujú v biomase stromy, podiel živočíchov je podstatne menší.

Procesy syntézy a rozkladu

Všetky premeny látok, ako aj tok energie v ekosystémoch sa uskutočňujú v procesoch **syntézy a rozkladu**. Syntéza organických látok (vytváranie biomasy) je proces, ktorý je energeticky náročný a je k nemu potrebný aj **katalyzátor**, pričom veľké množstvo energie sa viaže vo forme **chemických väzieb**.

Rozklad je proces, pri ktorom sa energia viazaná v biomase uvoľňuje, pričom dochádza k rozkladu organických látok.

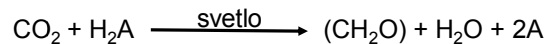
Všeobecný zápis asimilácie – pozri nižšie.

Pri fotosyntetickej asimilácii sa jej zúčastňuje **O₂**

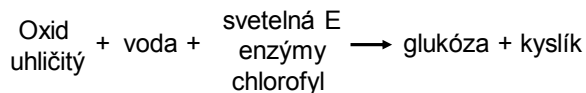
Pri chemosyntetickej - baktérie (Chlorobacteriaceae, Thiodoraceae) - **H₂S** (anaeróbne podmienky) alebo (Athiodoraceae) **rôzne organické radikály**. Fotosyntetizujúce sírne baktérie vytvárajú vo väčšine jazier len 3-5 % celkovej ročnej produkcie, v stojatých vodách bohatých na H₂S až 25 %.

Procesy syntézy a rozkladu

Asimilácia



Fotosyntéza



Rastliny a regulácia aktivity fotosyntézy

C3: na 1g sušiny 400-1000g vody
vyššia produkcia
dobre znášajú konkurenciu

C4: na 1g sušiny < 400g vody
v dobrých podmienkach vyššia fotosyntéza
nadbytok O₂ neinhibuje fotosyntézu
nízka miera dýchania - vyššia čistá produkcia,
ale menej bielkovín
trávy, púšťové rastliny, riedke lesné systémy
subarktické podmienky

CAM: viazanie a asimilácia CO₂ oddelená časovo
tmavá č. dňa - väzba CO₂ na org. kyseliny
svetlá č. dňa - fotosyntéza
adaptácia na extrémne podmienky - nedostatok vody

Rozklad

Dýchanie - respirácia, môže byť **aeróbné** alebo **anaeróbné**

Aeróbné dýchanie prebieha za prítomnosti kyslíka, ktorý je akceptorom elektrónov, ide o opačný proces asimilácie. Nie vždy prebehne až do konca, takže u niektorých organizmov sa štiepenie cukrov končí organickými látkami.

Anaeróbné dýchanie prebieha bez prítomnosti kyslíka, akceptorom elektrónov sú zväčša organické, niekedy aj anorganické látky. Vyskytuje sa najmä u saprofágov, je typické napríklad pre metánové baktérie, ktoré rozkladajú organické látky za vzniku metánu.

Kvasenie - rozklad organických látok na jednoduchšie organické látky, pričom sa uvoľňuje CO₂. V prírode prebieha samovoľne.

Požiar - pyrolýza - prudká oxidácia, rozklad, uvoľňovanie veľkého množstva energie vo forme tepla.

Medzi syntézou a rozkladom je z ekologického hľadiska principiálny rozdiel. Zatiaľ čo syntéza prebieha vždy v jednom organizme, rozklad nikdy neprebehne v jednom organizme - vždy sa v ňom uskutoční len časť rozkladu. Inými slovami organická hmota sa nasyntetizuje z jednoduchých látok v jednom jedincovi v jednom procese, kým rozklad sa uskutočňuje "na etapy" - podieľajú sa na ňom rôzne skupiny organizmov, ktoré sú **substrátovo špecifické**.

Pri rozklade vzniká určitá sukcesia organizmov, pričom sa vytvára reťazec. Rýchlosť rozkladu jednotlivých látok je rôzna. Bielkoviny, tuky a cukry sa rozkladajú pomerne

rýchlo, ale štruktúrne, stavebné látky, ako sú celulóza, lignín, chitín, keratín, kosti, sa rozkladajú pomaly.

Stavovce sa rozložia po smrti priemerne do 2 mesiacov (okrem chlpov, peria, kostí...), za rovnaké obdobie sa rozloží 1/4 sušiny tráv, do 10 mesiacov asi 60 % sušiny tráv, zvyšok sa rozkladá dlhšie.

Najtrvalejším produktom rozkladu je humus. Ako prvé sa do prostredia dostanú rozpustné látky, následne sa vytvorí humus (je to rýchly proces) a napokon humus mineralizuje (pomalý proces)

Energetická bilancia Zeme

Slnčná energia

Hmotnosť Slnka, ktoré je centrálnym telesom Slnčnej sústavy, dosahuje cca 333 000-násobok hmotnosti Zeme. Stred Slnka (jadro) dosahuje teplotu asi 15 000 000 °C. Okolo neho sa nachádza plynná vrstva s hrúbkou asi 680 000 km. Teplota na povrchu Slnka dosahuje približne 5 000 °C. Slnko je od Zeme vzdialené 150 000 000 km. Radiačná slnečná energia, ktorá prichádza na Zem, pochádza z jadrovej energie vodíkových atómov nachádzajúcich sa v strede Slnka. Pri obrovskej teplote slnečného jadra dochádza k nárazom medzi protónmi, ktoré sa pohybujú obrovskou rýchlosťou, a vzniká tak jadrová fúzia: štyri jadrá vodíka sa spoja a vytvorí jedno héliové jadro. Hmotnosť nového jadra hélia je asi o 0,7% menšia ako hmotnosť 4 pôvodných vodíkových jadier. Strata hmotnosti nadobúda podobu energetického kvanta elektromagnetického žiarenia, ktoré preniká cez plynnú vrstvu na povrch Slnka. Tento proces trvá asi milión rokov. Na Zem preniká žiarenie vo forme fotónov, ktoré putujú na povrch Zeme 8 minút. **Prostredníctvom slnečného žiarenia sa prenáša najmä svetelná a tepelná energia, čo umožňuje život na Zemi. Do ekosystémov Zeme sa prenáša prostredníctvom fotosyntézy.**

Množstvo energie, ktorá dopadá na Zem sa označuje ako **solárna konštanta**. Je to množstvo energie, ktoré dopadá cez deň na povrch atmosféry, a to na plochu 1m² kolmú na smer dopadajúcich lúčov za jednotku času. Má hodnotu **1,38kJm⁻²s⁻¹**, ale nie je stála: kolíše v závislosti od 11-ročnej periodicity slnečnej aktivity.

Produkcia

schopnosť systému osvojiť si, viazať energiu v procese fotosyntézy, ako aj schopnosť hromadiť organické látky. Vyjadrujeme ju množstvom energie alebo biomasy za časovú jednotku.

Primárna produkcia

zahŕňa proces tvorby biomasy a premeny energie v procese asimilácie (autotrofné organizmy).

Sekundárna produkcia

zahŕňa procesy prebiehajúce v heterotrofných organizmoch.

Jedným z ukazovateľov primárnej produkcie je hrubá primárna produkcia (brutto - **BPP**) čiže úplné množstvo látok vytvorených asimiláciou vrátane energie viazenej v týchto látkach. Rastliny sa nesprávajú čisto ako producenty, pretože aj ony potrebujú energiu na vlastné procesy, takže časť energie z fotosyntézy sa ihneď spotrebuje. Ak od BPP odčítame respiráciu, zostane zvyšok, ktorý rastliny navydýchajú, t.j. čistá primárna produkcia (netto - **NPP**). Tá je základom všetkých ďalších procesov v ekosystéme.

V prípade maximálneho využitia žiarenia, ktoré dopadá na rastliny, dosahuje BPP max. **5 %** z tohto žiarenia. Výnimkou je Arktída, kde môže účinnosť využitia žiarenia výnimočne a krátkodobo stúpnuť na **10 %**. Keď sa **5 %** slnečnej energie využije na BPP, **70 %** z toho sa môže preniesť na NPP, t.j. **4 %** celkovej energie slnečného

žiarenia dopadajúceho na rastliny. V normálnych podmienkach sú tieto hodnoty ešte nižšie - BPP 1%, NPP 0,5 %. Celkovo pre biosféru vrátane oblastí s nevhodnými podmienkami platí BPP 0,2%, NPP 0,1 %.

Sekundárna produkcia sa týka konzumentov. Každý konzument má k dispozícii čistú produkciu z predchádzajúcej trofickej úrovne. Istú časť z toho vôbec nespotrebuje, pretože tá ide do mŕtvej organickej hmoty, ďalšiu časť prijme vo forme potravy. Zo skonzumovanej potravy organizmus metabolizuje (asimiluje) opäť len časť, zvyšok odchádza v podobe výkalov do neživej organickej hmoty.

Miera využitia prijatej potravy sa vyjadruje ako účinnosť (eficiencia) asimilácie. Je to pomer medzi asimilovanou potravou a prijatou potravou (A/I). Prijatá energia sa hneď spotrebúva – získava sa dýchaním – zvyšok, čo zostane, sa ukladá do organických látok, zásobných látok alebo prechádza do potomstva.

Podstatná časť prijatej energie je viazaná v organizme – to je čistá sekundárna produkcia na danej trofickej úrovni.

Pomer medzi čistou produkciou a asimiláciou sa nazýva účinnosť produkcie (P/A). Táto účinnosť sa mení a závisí od postavenia organizmu v potravnom reťazci.

		A/I	P/A
Herbivora	bezstavovce	40%	40%
	stav. ektotermné	40%	10%
	stav. endotermné	40%	2%
Carnivora	bezstavovce	80%	30%
	stav. ektotermné	80%	10%
	stav. endotermné	80%	2%

U herbivorov dosahuje účinnosť asimilácie asi 40%. Inými slovami, 60 % prijatej energie spotrebujú na vlastnú existenciu. Účinnosť asimilácie je však premenlivá podľa toho, či ide o bezstavovce, ektotermné stavovce, alebo endotermné stavovce.

Bezstavovce: $P/A = 40\%$

Ektotermné stavovce $P/A = 10\%$ (na dýchanie ide až 90% prijatej energie)

Endotermné stavovce $P/A = 2\%$, zvyšok sú straty

U karnivorov, pokiaľ ide o bezstavovce, dosahuje pomer medzi asimilovanou a prijatou potravou (A/I) zhruba 80 %, pomer P/A asi 30%.

V prípade ektotermných stavovcov sú pomery $A/I = 80\%$, $P/A = 10\%$ a v prípade endotermných stavovcov $A/I = 80\%$, ale $P/A = 2\%$.

10 Biogeochemické cykly

Živú hmotu organizmov tvorí predovšetkým šesť hlavných (biogénnych) prvkov: **H, C, O, N, S, P**. Spája ich jedna spoločná vlastnosť: ich protónové číslo nie je väčšie ako 16. Okrem toho obsahuje živá hmota zväčša prvky s protónovým číslom < 30 (napr. Cu, Na, K, Ca, Mg, Cl). Tieto základné prvky sú uložené v hlavných zásobníkoch, t.j. v atmosfére, hydrosfére a litosfére, odkiaľ prúdia do biosféry a následne sa vracajú späť. So vznikom a existenciou života na Zemi je neoddeliteľne spojených najmä šesť hlavných biogeochemických cyklov – uhlíka, kyslíka, vody, dusíka, fosforu a síry.

Pojem **biogeochemický cyklus** vyjadruje fakt, že cirkulácia týchto prvkov sa odohráva ako v neživom, tak aj v živom prostredí – prvky prechádzajú cez anorganické i organické zložky, t.j. z neživého prostredia do organizmov a späť. Pre fungovanie ekosystému má význam skôr rýchlosť kolobehu ako celkové množstvo živín, pričom zo živín má význam iba ich ekologicky dostupná časť.

Základným zdrojom stavebného materiálulivej hmoty sú takzvané prekursor, ktoré sa nachádzajú v zásobníkoch. V nich dochádza k rýchlej výmene medzi organizmami a ich bezprostredným okolím. Cykly nemusia mať vždy pravidelný priebeh – môžu aj stagnovať alebo sa dočasne úplne zastaviť. K tomu dochádza napríklad pri hromadení organickej hmoty, kde sa prvky môžu zdržať veľmi dlho. Takúto stagnáciu vyvoláva predovšetkým proces sedimentácie pevných častíc a tvorba ložísk fosilných palív.

Cyklus vody

Celkové množstvo vody na Zemi sa odhaduje na 1400 miliónov km³, z toho až 97% sa nachádza v oceánoch, ktoré sú tak hlavným zásobníkom vody. Cyklus vody teda začína aj končí vo svetovom oceáne. Do pohybu ho uvádza slnečná energia, ktorá spôsobuje zmenu skupenstva vody z kvapalného na plynné, čiže vyparovanie.

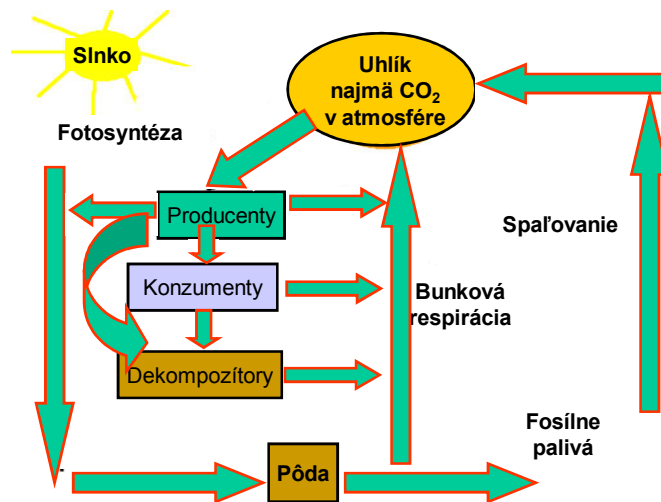
Velký cyklus vody sa odohráva v rámci celej atmosféry. Z oceánu sa vyparí približne 450 000 km³ za rok, z čoho asi 90% padá v podobe zrážok naspäť do oceánu a 10% prenášajú vzdušné prúdy nad kontinenty.

Malý kolobeh vody sa odohráva v rámci krajiny resp. väčších či menších geografických celkov. Časť z tejto vody je viazaná v biotickej zložke ekosystémov, časť tvoria povrchové a podzemné vody, ktoré sú nevyhnutnou súčasťou suchozemských ekosystémov. Voda sa podieľa na všetkých ostatných biogeochemických cykloch.

Cyklus uhlíka

Základným zásobníkom cyklu uhlíka je atmosféra. Hoci sa uhlík nachádza v prírode v rozmanitých podobách, pre **živú hmotu**, je dostupný iba plynný CO₂ v atmosfére (0,03%) a uhlík rozpustený vo vode, a to opäť v ako CO₂ alebo v podobe kyslých uhličitanov.

Rastliny viažu atmosferický uhlík prostredníctvom fotosyntézy (CO₂ sa v autotrofných organizmoch premieňa **fotosyntézou na sacharidy**, pričom vodík sa získava fotolyticky z vody, z ktorej sa uvoľňuje do atmosféry kyslík) a ukladajú ho do svojej biomasy, z ktorej sa cez trofické reťazce prenáša do ostatných organizmov. Rozkladom, čiže disimiláciou sa potom vracia späť do obehu. Zrkadlovým procesom fotosyntézy je dýchanie, pri ktorom organizmy dýchajú **prijímajú O₂ a vydychujú CO₂** do atmosféry. Po smrti sa organizmy rozkladajú prostredníctvom dekompozitorov, pričom sa uhlík dostáva späť do atmosféry vo formě CO₂ a cyklus sa uzatvára.



Množstvo atmosférického CO₂ úzko súvisí s CO₂ rozpusteným vo svetovom oceáne, ktorý sa rozpúšťa a následne viaže v uhličitanoch alebo v hydrogénuhličitanovej podobe (-HCO₃) vytvára kyselinu uhličitú. Do cyklu uhlíka intenzívne vstupuje človek spaľovaním fosilných palív. Uhlík, ktorý sa v nich ukladal milióny rokov, človek uvoľňuje v horizonte desiatok rokov.

Ak sa odumreté organizmy a zbytky rastlín hromadia bez toho, aby sa rozkladali, cyklus uhlíka sa začne spomalovať. Dochádza k tomu najmä v hrubých vrstvách humusu, v ktorom sa rozkladné procesy odohrávajú pomalšie. Ak sa odumreté organizmy ukladajú na dne stojatých vôd, vzniká **sapropelové bahno**, z ktorého unikajú plynné produkty ako CH₄, H₂S, NH₃, H₂, CO₂, pričom bahno sa obohacuje o síru, dusík a najmä uhlík.

Ak rozklad organizmov pokračuje na morskom dne, vzniká **ropa**, v suchozemskom prostredí a za určitých podmienok zasa **uhlie**.

Cyklus kyslíka

Cyklus kyslíka predstavuje komplementárny proces cyklu uhlíka, ktorý prebieha opačným smerom (pozri rovnicu fotosyntézy). Atmosférický kyslík produkujú autotrofné organizmy čiže primárne producenty (rastliny, sinice, riasy) fotosyntézou. Do kolobehu sa dostáva pri respirácii a dekompozícii. Respirácie (dýchanie) je rozkladný proces, pomocou ktorého organizmy uvoľňujú zo zdrojov svojej výživy energiu. Týka sa to nielen heterotrofných, ale aj autotrofných organizmov – aj rastliny dýchajú (prevažne v noci).

Kyslík sa spotrebúva aj pri spaľovaní (pyrolýze), čiže pri lesných požiaroch, ale aj pri akomkoľvek spaľovaní fosilných a iných palív. V súčasnosti tvorí kyslík 21% v zmesi plynov atmosféry, keby sa jeho podiel zvýšil na viac ako 25%, nastalo by rozsiahle horenie, ktoré by mohlo nadobudnúť globálne rozmery a zničiť mnohé ekosystémy na Zemi.

Atmosféra, vrátane koncentrácie kyslíka v nej, prekonala počas geologickej a biologickej histórie Zeme vývoj, ktorý mal významný vplyv na rozvoj života (detaily pozri nižšie v časti venovanej hypotéze Gaia).

Cyklus síry

Základným zdrojom biogeochemického cyklu síry je litosféra. Síra cirkuluje v biosfére vo viacerých podobách – H₂S, SO₂, SO₃ a SO₄²⁻, organické zlúčeniny síry.

Síru vstrebávajú z pôdy rastliny svojimi koreňmi v podobe **rozpustných síranov**. V

rastlinách dochádza k redukcii na sulfidy, ktoré slúžia na syntézu aminokyselín a ďalších organických zlúčenín, ktoré ako potrava prechádzajú do vyšších trofických úrovní a stávajú sa súčasťou metabolizmu heterotrofných organizmov, napríklad živočíchov. Po ich odumretí, ako aj po odumretí samotných rastlín, sa takto organicky viazaná sira uvoľňuje počas rozkladu pomocou určitých špecializovaných mikroorganizmov. Najčastejšie sa premieňa na H_2S a napokon preniká do atmosféry, prípadne do vodného prostredia.

Problém – kyslé dažde (podrobnosti v predpísanej literatúre a na prednáške)

Cyklus dusíka

Dusík sa v atmosfére vyskytuje ako inertný plyn, pričom tvorí hlavnú zložku atmosféry (78,9%).

Rastliny prijímajú dusík výlučne v anorganickej podobe (NO_3^- NH_4^+). Atmosférický dusík sa premieňa na dusičnany dvoma spôsobmi:

1.fyzikálno-chemicky – napríklad pri elektrických výbojoch (bleskoch) počas búrok a potom spolu s dažďovou vodou preniká pôdy.

2.biologickou cestou – fixovaním pôdnymi baktériami, sinicami a aktinomycétami.

Z baktérií ide buď o aerobné bakterie (*Azotobacter*) alebo anaerobné baktérie napr. *Clostridium*. Tieto baktérie žijú v symbióze na koreňoch a hľuzách vikoovitých rastlín. Okrem toho sa N dostáva do pôdy aj mineralizáciou odumretej organickej hmoty. Mineralizácia (rozklad) sa odohráva pomaly a postupne v niekoľkých etapách, a to prostredníctvom mikroorganizmov (dekompozítorov). Amonifikačné baktérie štiepia bielkoviny odumretých organizmov na jednotlivé aminokyseliny a ďalej až na amoniak, ktorý buď využijú rastliny alebo sa ďalej oxiduje. Táto oxidácia sa uskutočňuje prostredníctvom **nitriфикаčných baktérií** na dusitany a následne na dusičnany. Tie sa ďalej v procese **denitrifikácie** rozkladajú **denitrifikačnými baktériami** až na elementárny dusík alebo. Mineralizovaný N v pôde však môžu rastliny využívať len obmedzene, pretože väčšinu spotrebujú pôdne mikroorganizmy.

S biogeochemickým cyklom dusíka sú spojené aj antropogénnou činnosťou vyvolané environmentálne problémy. V dôsledku nadmerného používania dusíkatých hnojív v poľnohospodárstve sa zvyšuje množstvo dusíka fixovaného v pôde a v podzemných vodách. Zvýšené koncentrácie dusíka predstavujú nebezpečenstvo pre organizmy vrátane človeka (dusitany spôsobujú methemoglobinémiu, nitrosoamíny majú kancerogénne, mutagénne a teratogénne účinky) a dochádza tiež k **eutrofizácii** vôd.

Cyklus fosforu

Zdrojom fosforu pre živé organizmy je litosféra. Fosfor tvorí dôležitú súčasť protoplazmy, nachádza sa v nukleotidoch či v nukleových kyselinách, je stavebným prvkom kostí, zubov a chrupiek. Patrí medzi najdôležitejšie biogénne prvky, no často sa stáva limitujúcim faktorom produkčných procesov v ekosystémoch. Inými slovami, obmedzuje ďalší rozvoj života.

Autotrofné organizmy dokážu využívať iba fosfor nachádzajúci sa v zlúčeninách, ktoré sú rozpustné vo vode (spravidla rozpustné fosforečnany). Z rastlín vstupuje do potravných reťazcov a sietí heterotrofných organizmov, po ich úhyne sa vracia časť vracia späť do pôdy vďaka rozkladnej činnosti baktérií.

Fosfor sa však stráca z kolobehu vyluhovaním svojich rozpustných foriem do povrchových a podzemných vôd, ktoré ho odvádzajú do mora, kde tvorí (po zlúčení s iónmi vápnika) nerozpustné hlbinné sedimenty. Na tvorbe takýchto hlbinných sedimentov sa podieľajú aj odumreté organizmy (schránky či kostry rozsievok, koralov, stavovcov), ktoré klesajú na dno hlbokých oceánov. Z mora sa však môže časť z neho dostať aj späť do suchozemských ekosystémov, a to napríklad prostredníctvom neresových migrácií lososov, ktoré ho vynášajú vo svojich telách vysoko do horných úsekov riek. Lososy tam po neresе hynú a stávajú sa významným

zdrojom fosforu tamojších ekosystémov.

S biogeochemickým cyklom fosforu sú však – podobne ako s cyklom dusíka – spojené aj antropogénnou činnosťou vyvolané environmentálne problémy. Spôsobuje ich najmä prihnojovanie rozpustnými fosforečnanmi a používanie pracích prostriedkov s prídavkom fosforečnanov.

Podrobnosti o biogeochemických cykloch všetkých biogénnych prvkov – prednášky a predpísaná literatúra.

11 Hypotéza Gaia

*Život a jeho prostredie sú prepojené tak tesne, že evolúcia je evolúciou Gaie, a nie zvlášť organizmov a zvlášť prostredia.
James Lovelock: The Ages of Gaia (1989)*

Gaia, čiže planéta Zem, je vnímaná ako **superorganizmus**, ktorého telom nie sú iba organizmy (biosféra), ale aj atmosféra, hydrosféra a litosféra - preto aj štruktúra týchto zemských obalov je len čiastočne výsledkom geochemických pochodov, prevažne sú tieto štruktúry **dielom živých bytostí**. V Lovelockovom poňatí navyše dielom zmysluplným, **nenáhodným**. Namiesto toho, aby boli organizmy formované prostredím, samy toto prostredie vytvárajú. Gaia si ako každý iný organizmus udržiava homeostázu.

Matka Zem

Gaia, alebo Gaea, je meno, ktoré dali **staroveký Gréci** ich Bohyni Matke, bohyni Zeme. Gaia porodila Urana a potom si ho vzala za muža. S ním splodila Titanov a Cyklopov.

Hypotéza Gaia je revolučná, nie však úplne nová. Dávno pred Lovelockom došli k podobným záverom aj iní vedci a filozofi.

Platón (428-347 pred Kristom)

Starogrécky filozof Platón veril, že Zem sama o sebe je živá. Keď opisoval vesmír, napísal, že "sa najväčmi podobá tej živej Bytosti [Zemi], ktorej všetky ostatné živé bytosti, nerozdielne alebo geneticky sú súčasťou."

James Hutton (1726-1797)

Škótsky geológ, často nazývaný otcom geológie, sa vyslovil, že Zem by mala byť považovaná za "superorganizmus" a skúmaná fyziológiou. Pri vysvetľovaní svojho uvažovania prirovnával pohyb živín na Zemi – z pôdy cez rastliny a živočíchy späť do pôdy – kolobehu krvi v tele.

Alexander von Humboldt (1769-1859) Nemecký bádateľ a geograf naštartoval vedecké skúmanie, aký je vzťah organizmov k ich prostrediu, teda to, čo sa dnes nazýva ekológia.

Lovelock pracoval pre významné inštitúcie ako je americká NASA či britská Rada lekárskeho výskumu, no nemal v láske mainstreamové disciplíny a prúdy; preto bol a je zvláštny prípad tvorivého vedca, kráčajúceho vlastnou cestou.

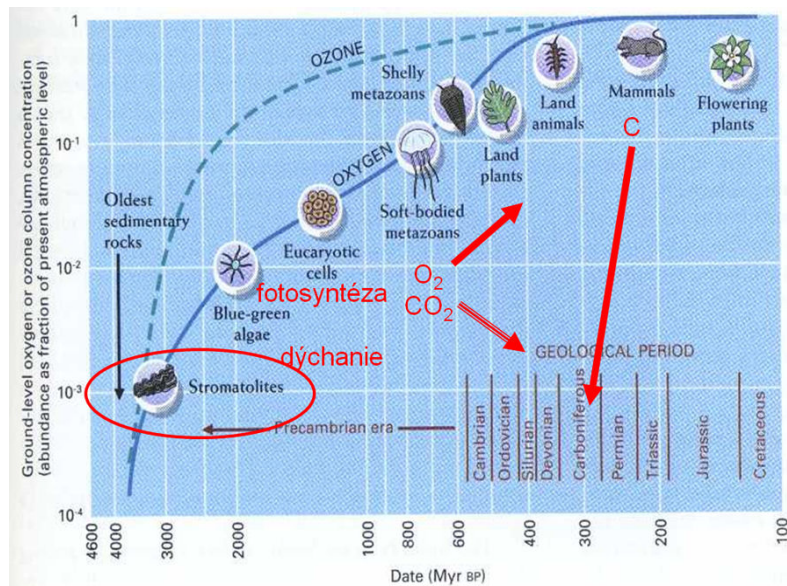
Základom Lovelockových úvah o Gaie bol výskum atmosféry planét Slnecnej sústavy. Ako rozoznal živú planétu od neživej? Dobrým indikátorom je podľa Lovelocka práve zloženie atmosféry planéty. Atmosféry Marsu a Venuše sú v rovnováhe s ich planetárnou kôrou a dajú sa vysvetliť chemickými interakciami atmosféry s kôrou. Naproti tomu zloženie atmosféry Zeme se od teoretického **rovnovážného** stavu

diametrálne líši: pokiaľ by neboly jej zložky neprestajne obnovované, zmizli by všetky jej hlavné súčasti - kyslík a dusík - ako aj metán. Z vnútra planéty tieto plyny neunikajú, takže ich **jediným zdrojom sú živé organizmy**. Dalším Lovelockovým krokom bylo konštatovanie, že tak ako v prípade atmosféry, aj zloženie litosféry a hydrosféry planéty je určované činnosťou živých organizmov, a že organizmy určujú kolobeh všetkých komponentov týchto zemských obalov.

Obrovský dosah tvrdenia, že Gaia je homeostatický organizmus možno demonštrovať na príklade **globálnej teploty**: keďže živé organizmy tolerujú len veľmi úzke teplotné rozpätie (v porovnaní s extrémami v okolitom vesmíre či v zemskom vnútri), nesmela teplota v priestore obývanom životom z týchto hraníc vystúpiť (prinajmenšom nie všade naraz). Gaia dokázala zaistiť teplotu vyhovujúcu pre život po celú dlhú dobu svojej existencie, a tá je takmer rovnako dlhá, ako sama existencia planéty. Za ten čas Gaia zažila množstvo zmien vonkajších premenných (svietivosť Slnka sa zvýšila minimálne o 25 %, zmenila sa obežná dráha, sklon zemskej osy atď.), napriek tomu sa priemerná teplota Gaie po celý čas udržala vo veľmi úzkom rozpätí. Teplota na našej planéte teda nie je výsledkom pôsobenia kozmických síl, ale je regulovaná (na rozdiel od Marsu či Venuše).

Takéto odvážne tvrdenie pochopiteľne vyvoláva nedôveru, Lovelock ho preto demonštruje myšlienkovým experimentom - svetom **sedmokrások**: Vezmime si planétu, s krištálove čistou atmosférou a konštantným zložením. Jedinými obyvateľmi planéty sú dva druhy sedmokrások - biele a tmavé, pričom celý povrch planéty je pokrytý kobercom sedmokrások. Jedinou premennou na tejto zvláštnej planéte je pomer svetlých a tmavých sedmokrások. Optimálna teplota pre rast svetlých sedmokrások je povedzme 22 °C, kým tmavých 20 °C. Materská hviezda (slnko) postupne zvyšuje svoju svietivosť, takže teplota na planéte by mala stúpať. K tomu ale nedôjde, pretože do hry vstupujú sedmikrásky, ktoré regulujú albedo (mieru odrážania žiarenia) planéty. Keď hviezda svietila slabo, bola teplota na planéte nižšia, t.j. blízka 20 °C a preto prevládali sedmokrásky s tmavými kvetmi, ktoré pohlcujú viac energie a teplota na planéte začala zvyšovať, čo vyhovovalo bielym sedmokráskam (lebo teplota vystúpila na 22 °C), a tie začali postupne na planéte prevládať. V dôsledku toho sa začalo od bielych kvetov viac žiarenia odrážať a teplota sa prestala zvyšovať. Napokon bola dominancia svetlých sedmokrások taká veľká, že teplota na planéte sa v dôsledku priveľkého albeda začala znižovať. To ale začalo zasa vyhovovať tmavým sedmokráskam a pokles teploty sa zastavil, pretože zvýšená početnosť tmavých sedmokrások sa prejavila vo väčšom množstve pohltenej energie... Takže stačí takýto jednoduchý svet a dokáže fungovať ako planetárny termostat.

Zem vznikla približne pred 4,5 miliardami rokov. Keď sa jej povrchová teplota znížila natoľko, že sa voda udržala v kvapalnom stave, mohla mať atmosféra podobné zloženie ako "mŕtva Zem". Pro úvahy o Gaii je dôležité, že **abiogeneticky** (bez účasti živých organizmov) vzniká fantastická smes organických látok, z ktorých sa absolútna väčšina v dnešnej biosfére nevyskytuje a ktoré by boli pre dnešné organizmy toxické. V tomto prostredí vznikli živé organizmy, hoci nevieme ako, ale zrejme dost náhle: v najstarších známych horninách, starých 3,7 miliardy let, sa našli fosilizované **stromatolity** - makroskopické útvary vznikajúce činnosťou fotosyntetizujúcich baktérii, prakticky identické s dnešnými stromatolitmi. Môžeme preto konštatovať, že zhruba pred 4 miliardami rokov existovali baktérie funkčne úplne rovnocenné dnešným, schopné dýchania i fotosyntézy a schopné spracovať prakticky akúkoľvek organickú látku buď ako zdroj energie, alebo ako materiál pre syntézu organických látok vlastného tela.



Pokúsme sa teda spolu s Lovelockom zrekonštruovať tento dávny svet (pozri obr. vyššie). Metabolicky potentné baktérie začali prebudúvať abiogeneticky vzniknutú organickú "polievku" na zlúčeniny vlastného tela. Na rozdiel od abiogenézy je metabolizmus procesom cieľným, a tak vznikali iba organické látky, ktoré boli pre organizmy potrebné. Energiu získavali tieto organizmy dýchaním. S vynálezom dýchania začalo pretváranie planety: v oceáne začali ubúdať organické látky a v atmosfére sa objavili nové plyny - dusík a metán. Produkcia sulfidových iónov v procese dýchania (ale aj pôsobením vulkanizmu) umožnila tiež vznik nerozpustných sulfidov ťažkých kovov (CuS, ZnS, FeS...) a ich bezpečné uloženie do zemskej kôry. Metán v atmosfére účinne absorboval ultrafialové žiarenie a spôsobil tak asi **prvú ekologickú katastrofu**: prestala abiogenetická syntéza organických zlúčenín. Riešením mohla byť výlučne - a fosílie ukazujú, že aj bola - **fotosyntéza**.

So vznikom fotosyntézy sa začínajú dva deje: **tvorba kyslíku** a intenzívni odoberanie CO₂ z atmosféry. Tieto dva deje sú dnes zhruba v rovnováhe: koľko kyslíku a organických látok se fotosyntézou vyrobí, toľko se opäť dýchaním recykluje. V čase vzniku fotosyntézy a dlho potom to tak ale nebolo: predpokladá sa, že dýchanie kyslíku vzniklo súčasne s fotosyntézou a produkovaný kyslík spočiatku reagoval predovšetkým so širokým spektrom redukujúcich látok prítomných v prostredí (dvojmocné železo, urán, sulfany, metán apod.). Uvádza sa, že v koncentrácii cca 1 % se kyslík objavuje v atmosfére až po dvoch miliardách rokov - teda pred 2,3 miliardami rokov. Baktérie nedokážu recyklovať všetku vyprodukovanú organickú hmotu, a tak bola časť organickej hmoty pochovaná do zemskej kôry (dnešná ropa, zemný plyn...). Poslednou veľkou „úlohou“ evolúcie bolo odstránenie obrovského množstva uhlíka z atmosféry a jeho uloženie do zemskej kôry ve forme uhličitanov. To tesne súvisí s funkciou planetárneho termostatu a s kolobehom takmer všetkých ostatných biogenných prvkov a vody.

Planetárny termostat a ľadové doby

Ako bolo spomenuté, Gaia musí po celý čas evolúcie kompenzovať zvyšujúcu sa svietivosť našej hviezdy. Deje se tak najmä neprestajným znižovaním koncentrácie CO₂ v atmosfére. Čím je koncentrácia tohoto plynu nižšia, tým sa stáva regulácia citlivejšia na náhodné vonkajšie vplyvy (regulačný systém se blíži k hraniciam svojich možností. To má za následok dlhodobé klimatické výkyvy – doby ľadové a doby medziľadové. Podľa Lovelocka je pri súčasnej svietivosti Slnka pre Gaiu optimálnym stavom **doba ľadová**. Interglaciál je odchýlkou, prehriatím zemskeho organizmu, a Gaia sa snaží eliminovať ho a vrátiť sa do glaciálu.

Dnes je systém v bode, keď by sa teplota mala začať znižovať. Avšak súčasná civilizácia pôsobí presne naopak - zvyšuje koncentráciu skleníkových plynov. Zatiaľ je

to CO₂ zo spaľovania fosilných palív a metán z fariem a ryžových polí. Ak však bude otepľovanie pokračovať, môže sa spustiť pozitívna spätná väzba, a to napríklad tak, že sa z rozmrazenej tundry uvoľní obrovské množstvo metánu, rozmrzne Arktída, a zníži sa tak albedo planéty atď.

Gaia sa však stala terčom pochybností a zosmiešňovania, no aj tvrdých kritik ako nevedecká, mystická až zavádzajúca. Naozaj, ako by mohla neživá Zem čosi regulovať? Ako by mohla sledovať svoje vlastné záujmy? Ako by život mohol, ako tvrdil Lovelock, optimalizovať prostredie tak, aby slúžilo jeho zámerom? To môže iba človek, nie atmosféra, oceán ani víchrica.

Problém bol zrejme v tom, že veda nemá metafory príliš rada. Potrebuje presné názvy a citlivé nástroje pre jasne určené deje. Metafory veci zahmlievajú, emócie prekrážajú objektívnemu pohľadu. Lenže Lovelock sa nesnažil uchopiť do rúk nič menšie ako celú Zem, a zistil, že je užitočné predstavovať si ju ako živočícha. Vo svojej novej knihe sa priznal, že teraz si ju predstavuje najskôr ako ťavu, ktorá reguluje svoju telesnú teplotu v rôznych režimoch. Gaia má rovnako ako ťava niekoľko stabilných režimov, aby sa mohla prispôbovať meniacemu sa vonkajšiemu aj vnútornému prostrediu.

Pokiaľ ide o použitie metafory, píše: „Aby sme dokázali preložiť vedomé myšlienky do nevedomého porozumenia, musíme použiť metaforu, čo je pomerne nepresný nástroj... Som vedec, preto si uvedomujem, že teória Gaia je iba provizórna a pravdepodobne ju nahradí nejaký širší a globálnejší pohľad na Zem. Zatiaľ ju však vidím ako semienko, z ktorého môže vyrásť inštinktívna ekológia, taká, ktorá by okamžite dokázala, či je planéta zdravá alebo chorá, a pomáhala by tak udržať svet v poriadku.“

Podľa Lovelocka je Zem nielen stará, ale aj jednoznačne chorá. Už nie je čas jej úpadok zastaviť, ale iba spomaliť, a získať tak čas na organizovaný ústup. Prvé, čo treba urobiť, je prestať sa opierať fosilnými palivami - uhlím a ropou. No dovtedy, kým bude k dispozícii bezpečná a čistá energia termojadrovej fúzie, odmieta drahé experimentovanie s vizionárskymi zdrojmi energie, ako je slnko, voda či vietor. V tom je naprosto neoblomný:

„Dovolili sme autorom beletrie a zeleným lobbistom zneužiť strach z jadrovej energie a z takmer všetkých nových vied, rovnako ako pred nedávnom cirkev zneužívala strach z ohňa pekelného... Civilizácia je bezprostredne ohrozená a buď jadrovú energiu využije okamžite, alebo zažije utrpenie, ktoré jej spôsobí rozhnevaná planéta.“

Nie je čas na udržateľný rozvoj, tvrdí, iba na udržateľný ústup. Tento vojenský termín má svoje opodstatnenie. Sme totiž vo vojne, minimálne v klimatickej; my si to ešte neuvedomujeme, no Gaia už hej. Otepľovanie, ktoré spôsobil človek, už dosiahlo také rozmery, že Zem ho dlhodobo nedokáže regulovať. Nie je múdre ignorovať možnosť katastrofy, píše Lovelock. „Zo všetkého najviac potrebujeme zmeniť našu povahu a spôsob myslenia, ako ho menia kmeňové národy, keď tušia skutočné nebezpečenstvo... Našou úlohou bude obrana civilizácie, odvrátenie chaosu.“

Keby sa taká katastrofa stala, predstavte si tých, ktorí prežijú. Ak by sa napríklad chceli dozvedieť, ako sa vyrovnáť s epidémiou cholery, zrejme by sa im dostala do rúk príručka astrológie alebo alternatívnej medicíny; také ohromné je množstvo literatúry s touto témou, ktorá teraz vychádza. Veda je nielen na okraji regálov kníhkupectiev, ale aj na okraji myslenia davu. Aj toto je Lovelockovo varujúce svedectvo o našej dobe.

Dnes už berú mnohí vedci Lovelockovu-Goldingovu metaforu vážne. Ešte aj tí, ktorí s ňou nesúhlasia. Pred pár dňami publikoval britský *New Scientist* rozsiahly článok amerického geológa a zoológa Petera Warda, profesora Washingtonskej univerzity a autora mnohých vynikajúcich kníh o minulosti, súčasnosti a budúcnosti Zeme.

Ward v rozsiahlom polemickom článku tvrdí, že keď už pre Zem použiť nejakú metaforu, treba odložiť Gaiu, ktorá sa o život stará, a použiť Medeu, ktorá ho ničí. Tak sa aj Wardov článok volá: Diabolská dvojica Gaii: Je život svojím vlastným úhlavným nepriateľom? Netreba azda ani dodávať, že Ward článok napísal na základe svojej novej knihy, ktorá má zatiaľ iba anglický názov: *The Medea Hypothesis: Is life on Earth ultimately self-destructive?*

Medzičasom vyšla Lovelockovi ďalšia kniha, volá sa *The Vanishing Face of Gaia. A Final Warning*. Recenzent v *Nature* napísal, že čítať túto knihu je ako počúvať správu BBC o konci sveta.

Hypotéza Gaia – texty citované (a spracované) podľa zdrojov: Anton Markoš, Vesmír 70, 305 (1991); Michal Ač „James Lovelock: Sme vo vojne. S Gaiou aj so sebou“, denník SME, 23. 6. 2009. <http://veda.sme.sk/c/4904433/james-lovelock-sme-vo-vojne-s-gaiou-aj-so-sebou.html>