

Univerzitet u Banjoj Luci
Prirodno-matematički fakultet

Maja MANOJLOVIĆ

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

Banja Luka, maj 2021.

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

Autor:

dr **Maja Manojlović**, docent
Prirodno-matematičkog fakulteta
Univerziteta u Banjoj Luci

Izdavač:

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
Prirodno-matematički fakultet

Recenzenti:

dr **Biljana Lubarda**, vanredni profesor
Prirodno-matematičkog fakulteta
Univerziteta u Banjoj Luci

dr **Dragođa Golub**, vanredni profesor
Prirodno-matematičkog fakulteta
Univerziteta u Banjoj Luci

dr **Dragan Škobić**, izvanredni profesor
Fakulteta prirodoslovno-matematičkih i odgojnih
znanosti Sveučilišta u Mostaru

Glavni i odgovorni urednik:

dr **Duško Jojić**, redovni profesor
Prirodno-matematičkog fakulteta
Univerziteta u Banjoj Luci

Odlukom Senata Univerziteta u Banjoj Luci br. 02/04-3.977-59/21 od 29.04.2021. godine i Nastavno-naučnog vijeća Prirodno-matematičkog fakulteta u Banjoj Luci br. 19/3.720/21 od 14.04.2021. godine prihvaćena je pozitivna recenzija i odobreno da se rukopis knjige "Terestrična ekologija" objavi kao univerzitetska nastavna literatura.

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

MAJA MANOJLOVIĆ

Predgovor

Udžbenik Terestrična ekologija je nastao iz potrebe za adekvatnom literaturom na osnovnim studijima Ekologije i zaštite životne sredine Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, gdje se ovaj predmet izučava u toku petog semestra. Nastao je kao rezultat pripreme za nastavu, koju autor izvodi na osnovnim studijima iz predmeta Terestrična ekologija i Ekologija životinja sa zoogeografijom.

Udžbenik prati Nastavni program predmeta i koncipiran je na način da poveže znanje stečeno tokom prve dvije godine osnovnog studija i da pripremi studente za predmete koji se proučavaju u šestom i narednim semestrima.

Osnovni cilj udžbenika jeste da se sistematizuju podaci iz postojeće literature, koja se koristi širom svijeta kako bi studenti bili upoznati sa rezultatima novih istraživanja iz ove oblasti.

U izboru materijala, kao i u načinu izlaganja, udžbenik nosi subjektivan pečat, u skladu sa autorovom odlukom da problematici kopnenih ekosistema pristupi postepenim usmjeravanjem znanja, od opšteg ka posebnom. S druge strane, taj koncept je u skladu sa Nastavnim planom osnovnog studija, po kojem se Idioekologija biljaka proučava u narednom semestru, te udžbenik iz Terestrične ekologije donosi potrebna predznanja na nivou globalne i predione ekologije. Istovremeno, Mehanizmi fizioloških adaptacija se izučavaju tokom V semestra, tako da se detalji vezani za adaptacije životinja na specifične klimatske prilike detaljnije obrađuju u okviru tog predmeta.

U udžbeniku nisu obuhvaćene biogeografske podjele svijeta na fitogeografske i zoogeografske oblasti, jer se Biogeografija izučava u VII i VIII semestru osnovnih studija.

Knjiga je, osim studentima, namijenjena svima koje interesuje problematika terestrične ekologije.

Posebnu zahvalnost dugujem recenzentima, prof. dr Biljani Lubardi, prof. dr Dragojli Golub i prof. dr Draganu Škobiću, na sugestijama i korisnim savjetima, kojima su poboljšali kvalitet rukopisa.

SADRŽAJ:

EKOLOGIJA.....	9
Istorijski razvoj.....	10
Istorijski razvoj ekologije na našim prostorima	13
Savremena ekologija.....	15
Hijerarhija nivoa organizacije živog svijeta.....	16
Regulacija funkcionalnosti biosistema	19
Veza ekologije sa drugim naukama.....	20
Podjela i značaj ekologije.....	21
POSTANAK PLANETE ZEMLJE I POSTANAK ŽIVOTA	24
Postanak života	27
RAZVOJ ŽIVOTA	31
Paleozoik	31
Prelazak života na kopno	34
Mezozoik.....	37
LEDENA DOBA.....	41
Uzroci pojavljivanja ledenih doba	42
Ledena doba kvartara.....	44
Živi svijet u vrijeme posljednjeg ledenog doba	47
KLIMATSKI SISTEM.....	54
Uticaj atmosfere na klimu Zemlje	56
Atmosferska cirkulacija	60
Uticaj okeana na klimu Zemlje.....	64
Uticaj kopna na klimu	66
Uticaj vegetacije na klimu planete	68
Dugoročne klimatske promjene	69
Antropogene klimatske promjene	71
Međugodišnja klimatska varijabilnost.....	73
Sezonske i dnevne varijacije	75
BIOSFERA.....	79

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

Biomi	83
Temperatura i vlaga	83
Horizontalni i vertikalni raspored bioma	86
Klasifikacija bioma	90
Walter ova klasifikacija zonobioma	92
ZB. I EKVATORIJALNI ZONOBIOM	95
Tropska vječnozelena kišna šuma	97
Fauna tropske vječnozelene kišne šume	103
ZB. II TROPSKI ZONOBIOM	107
Tropska listopadna šuma	109
Savane	111
Prijetnje	114
ZB. III ZONOBIOM SUPTROPSKIH PUSTINJA	117
Suptropska pustinjska vegetacija	121
Fauna	123
ZB. IV MEDITERANSKI ZONOBIOM	127
Vegetacija Mediteranskog zonobioma	128
Mediteranska vječnozelena tvrdolisna šuma	130
Fauna	132
ZB. V TOPLI UMJERENI (OKEANSKI) ZONOBIOM	133
Umjerena listopadna šuma osjetljiva na mrazeve	135
Fauna	137
ZB. VI TIPIČNI UMJERENI (ŠUMSKI) ZONOBIOM	138
Umjerena širokolisna šuma otporna na mrazeve	139
Fauna	142
ZB. VII SUŠNI UMJERENI (KONTINENTALNI) ZONOBIOM	145
Stepa i hladna pustinja otporna na mrazeve	147
Stepe	148
Fauna	149
Hladne pustinje	150

Fauna	151
ZB. VIII HLADNI UMJERENI (BOREALNI) ZONOBIO M	152
Tajga	154
Fauna	156
ZB. IX ARKTIČKI I ANTARKTIČKI ZONOBIO M.....	159
Tundra	160
Fauna	162
LITERATURA:	164
PORIJEKLO TABELA:	169
PORIJEKLO SLIKA:.....	170
INDEX POJMOVA:.....	184

EKOLOGIJA

Sav život, koji danas postoji na Zemlji, u osnovi je izgrađen na isti način, funkcionišući po istom principu. Osnovna gradivna jedinica svih živih bića je ćelija. Kod višćelijskih organizama, ćelije su integrisane u tkiva, tkiva u organe, organi u sisteme organa, koji čine organizam. Zajedničke osobine svih živih bića su reprodukcija, metabolizam, senzibilitet, pokretljivost, prilagodljivost i promjenjivost. Jedinke ne žive usamljene i nezavisne od okruženja. One žive u veoma kompleksnom prostoru u kojem uvijek ima i drugih jedinki koje pripadaju istoj vrsti, drugih jedinki koje pripadaju različitim vrstama biljaka, životinja, gljiva i mikroorganizama, sredini u kojoj se nalaze različiti oblici nežive materije i određena količina različitih oblika energije. Svaki organizam, provodeći život u tom kompleksnom prostoru, stupa u cijeli niz interakcija za živom i neživom komponentom okruženja, prilagođavajući se uslovima sredine koju naseljava. Od njegove sposobnosti prilagođavanja zavisi uspješnost ostvarivanja njegovih životnih aktivnosti.

Biologija, kao nauka, se bavi proučavanjem građe i načina na koji funkcionišu živa bića. Međutim, ekologija je nauka koja se bavi proučavanjem prirode prostora u kojem se odvija život, odnosima koji u prirodi postoje između živih bića i spoljašnje sredine, kao i načinima na koji su se živa bića prilagodila različitim uslovima spoljašnje sredine.

Postoje brojne definicije ekologije. Neke od njih su da je ekologija "nauka o domaćinstvu živih bića", "nauka koja proučava odnose između živih bića i njihove životne sredine, kao i uzajamne odnose između živih bića", "nauka čiji je cilj razumjevanje zakonitosti i mehanizama održavanja živog svijeta, kao i cjelovitosti prirode uopšte", „proučavanje međusobnih odnosa organizama sa njihovom okolinom i jednih s drugima“, kao „ekonomija prirode“ i kao „biologija ekosistema“.

Zajedničko svim ovim definicijama je da je **ekologija nauka koja se bavi istraživanjem prostora (domaćinstvo, dom, stanište) u kome živa bića žive, odnosima između živih bića i njihove spoljašnje sredine i mehanizmima prilagođavanja i preživljavanja.**

Zahvaljujući konstantnim interakcijama između organizama i sredine, svako živo biće trpi evolucionu pritisak da se adaptira na najbolji mogući način uslovima sredine koja ga okružuje. Ekologija, sa evolucione perspektive, proučava pritiske selekcije, kao i rezultate prethodnih selekcija. Ona traži odgovor na pitanja istorijskog razvoja i adaptacije organizama, uzroka načina života biljnih i životinjskih organizama,

posebno razloge prisustva ili odsustva pojedinih vrsta na različitim staništima.

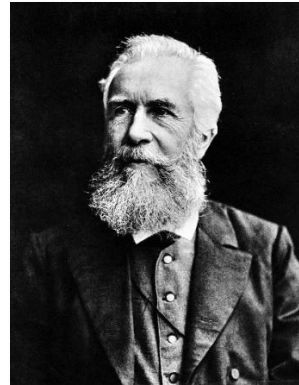
Istorijski razvoj

Još u ranoj ljudskoj istoriji ekologija je imala praktični značaj. U primitivnom društvu sve individue su morale da poznaju svoje okruženje, da poznaju snagu prirode, kao i biljke i životinje koje ih okružuju, da bi preživjeli. Početak civilizacije se povezuje sa otkrićem vatre i pronalaskom različitih alata za promjenu okruženja. Kako se razvijala ljudska populacija i povećavao njen pritisak na životnu sredinu, razvijala se i ekološka misao, bez čvrstih, jasno definisanih početaka. Razvila se iz radova o istoriji prirode prirode starih grčkih filozofa, posebno Teofrasta (Theophrastus), Aristotelovog prijatelja i saradnika. Teofrast je prvi opisao međusobne odnose između organizama i između organizama i njihove nežive okoline.

Prije nastanka same riječi ekologija, tokom biološke renesanse u 18. i 19. vijeku, mnogi naučnici su doprinjeli razvoju ekologije. Antoni van Leeuwenhoek, tvorac mikroskopa i otac mikrobiologije, ujedno je i pionir u proučavanju lanaca ishrane i mehanizama regulacije populacija. Engleski botaničar Richard Bradley je istraživao je biološku produktivnost.

U 18. vijeku Carl von Linné, švedski botaničar je pisao o interakcijama biljaka i životinja, nazivajući taj splet odnosa ekonomijom prirode. Početkom 19. vijeka njemački biogeograf Alexander von Humboldt, podstakao je proučavanje rasprostranjenosti vegetacije kao biljnih zajednica i njihovog okruženja. Zahvaljujući njegovom ogromnom doprinosu nauci, smatra se tvorcem fitogeografije. Edvard Forbes, britanski marinski biolog, proučavao je morske zajednice početkom devetnaestog vijeka i među prvima je koristio kvantitativne metode za mjerenje dubine vode i broj pojedinačnih organizama. Globalno posmatrano, početkom i sredinom devetnaestog vijeka dvije grupe botaničara, jedna u Evropi, a druga u Sjedinjenim Državama, proučavale su biljne zajednice s dvije različite tačke gledišta. Evropski botaničari bavili su se proučavanjem sastava, strukture i distribucije biljnih zajednica, dok su američki botaničari proučavali razvoj biljnih zajednica, odnosno sukcesije. Ekologija biljaka i ekologija životinja razvijale su se odvojeno sve dok američki biolozi nisu naglasili međusobnu povezanost biljnih i životinjskih zajednica kao biotske cjeline. U istom periodu razvija se interes za dinamiku populacija, koje je dobilo poseban zamah početkom 19. vijeka, nakon što je engleski ekonomista Thomas Malthus skrenuo pažnju na sukob između širenja ljudske populacije i sposobnosti Zemlje za snabdijevanje hranom.

Sam pojam ekologija osmislio je i u nauku uveo njemački zoolog **Ernest Haeckel** 1866. godine. Termin ekologija prvobitno je primijenio na „odnos životinje kako prema organskom, tako i prema neorganskom okruženju“. Riječ dolazi od grčkog οἶκος, „kuća“, ili „okolina“ ili „mjesto za život“ i “-λογία”, „proučavanje“. Dakle, ekologija se bavi organizmom i njegovom okolinom. Koncept okoline uključuje i druge organizme i fizičko okruženje. Uključuje odnose između pojedinaca unutar populacije i između pojedinaca različitih populacija. Haeckel je napisao, "Ekologija je proučavanje svih onih složenih interakcija koje Charles Darwin naziva uslovima borbe za egzistenciju." Ekologija se pojavila kao priznata nauka krajem 19. i početkom 20. vijeka, kao spoj okeanografije, limnologije, ekologije biljaka i životinja.



Sl. 1 Ernest Haeckel

U Sjedinjenim Državama, ekologija je cvjetala posebno na Srednjem zapadu. S. A. Forbes iz Prirodno-istorijske laboratorije u Illinoisu pokrenuo je studije jezera i potoka 1880-ih. U 1890-im Edvard A. Birge je pokrenuo studije jezera na Univerzitetu u Viskonsinu. Frederic Clements započeo je studije vegetacije na Univerzitetu u Nebraski i formulisao ideje o ekološkim zajednicama 1890.-ih godina, koje su pedeset godina dominirale američkom ekologijom. Iste decenije Henry C. Cowles sa Univerziteta u Čikagu proučavao je vegetaciju dina jezera Michigan.

Clements and Cowles su ispitali promjene populacija, zajednica i okruženja biljnih vrsta tokom vremena. Ovaj proces su nazvali sukcesija, prilagođavajući termin pjesnika-prirodnjaka Henry D. Thoreau. Clements-ov koncept sukcesije, koji je dominirao ekologijom do pedesetih godina 20. vijeka, bio je da se zajednice progresivno razvijaju do relativno stabilnog stanja, do vrhunca (klimaksa), za koji je rekao da ima svojstva superorganizma. Ekologija se institucionalizovala u britanskim i američkim ekološkim društvima 1913., odnosno 1915. godine.

Dvadesetih godina 20. stoljeća američki zoolog Raymond Pearl, američki hemičar i statističar Alfred J. Lotka i talijanski matematičar Vito Volterra razvili su matematičke temelje za proučavanje populacija, te su njihova istraživanja dovela do eksperimenata na interakciji predatora i plijena, konkurentnim odnosima između vrsta i regulacije populacija. Istraživanja uticaja ponašanja na populacije intenzivirana su 1920. godine prepoznavanjem teritorijalnosti kod ptica gnjezdarica. Koncepte

instinktivnog i agresivnog ponašanja razvili su austrijski zoolog Konrad Lorenz i britanski zoolog, rođenjem holanđanin, Nikolaas Tinbergen, a ulogu socijalnog ponašanja u regulaciji populacija istraživao je britanski zoolog Vero Wynne-Edwards.

Dok su neki ekolozi proučavali dinamiku zajednica i populacija, drugi su se bavili energetske bilansom. Godine 1920. August Thienemann, njemački limnolog, predstavio je koncept trofičkih nivoa, pomoću kojih se energija hrane prenosi kroz niz organizama, od zelenih biljaka (proizvođača) do nekoliko nivoa životinja (potrošači). Engleski ekolog životinja, Charles Elton, dalje je razvio ovaj pristup konceptom ekoloških niša i piramida brojeva, koje je izložio u svojoj knjizi 1927. godine, koja je ujedno i prva knjiga o ekologiji životinja. Izložio je postulate i ideje koje ostaju ključni koncepti i moderne ekologije. To su:

1. Lanac hrane ili ciklus (kasnije nazvan mrežom ishrane ili trofičkom strukturom): redoslijed kojim hranjive materije i energija prelaze iz biljaka u biljojede do grabljivaca, zatim u različite oblike razlagača i nazad u neorgansko okruženje.
2. Niša: Svaka vrsta ima adaptacije koje su joj omogućile određeni status u zajednici.
3. Piramida brojeva: Više malih životinja je potrebno da podrže manji broj velikih organizama u lancu ishrane, jer se iz lanca ishrane gube neke hranjive materije i energija.

Dvadesetih i tridesetih godina 20. vijeka javila su se rana dostignuća u kvantitativnoj ekologiji i matematičkoj teoriji. Ekološke studije sve češće koriste kvantitativne uzorke populacija i zajednica za procjenu broja i vrsta organizama u staništu i za mjerenje fizičkog okruženja. Teorijska, matematička, populaciona ekologija bile su pokušaj, naročito fizičara Alfred Lotka i matematičkog biologa Vito Volterra da principe fizičke hemije prošire na ekologiju u obliku diferencijalne jednačine koja opisuje rast populacije tokom vremena.

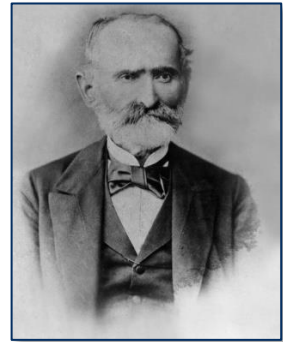
Britanski ekolog Sir Arthur Tansley priznao je da nije moguće posmatrati organizme izvan njihovog fizičkog okruženja, kao što su to uobičajeno činili ekolozi, a 1935. je skovao termin "ekosistem". Ekosistemi su integrisani sistemi živih organizama (biotička) i neorganskog (abiotička) okruženja.

Tridesetih godina prošlog vijeka, američki limnolozi Edward Birge i Chancey Juday, mjereći energetske bilans jezera, razvili su ideju primarne produkcije, brzine kojom se fotosintezom generiše ili fiksira energija hrane. Raymond L. Lindeman iz Sjedinjenih Država, 1942. godine, razvio je trofičko-dinamički koncept ekologije, koji detaljno opisuje protok energije

kroz ekosistem. Kvantifikovane terenske studije protoka energije kroz ekosisteme dalje su razvila braća Eugene Odum i Howard Odum iz Sjedinjenih Država. Ekološka teorija procvjetala je 1950-ih u radu George Evelin Hutchinson i Robert MacArthur, koji su formulisali teorije niša životinjskih zajednica na osnovu konkurencije među vrstama.

ISTORIJSKI RAZVOJ EKOLOGIJE NA NAŠIM PROSTORIMA

Na prostorima bivše Jugoslavije počeci ekološkog proučavanja živog svijeta vezani su za poznatog naučnika Josifa Pančića (1814. – 1888.), koji je, iako ljekar, napisao doktorsku disertaciju iz botanike. Posebno se posvetio proučavanju biodiverziteta naših krajeva, istovremeno dajući veliki doprinos akademskoj zajednici uspostavljanjem prirodnjačkih zbirki, botaničke bašte, osnivanjem različitih katedri i studijskih pravaca. Napisao je brojne udžbenike iz zoologije (1864.), mineralogije i geologije (1867.), te botanike (1868.). Otkrio je i opisao brojne biljne i životinjske vrste, kao i novu vrstu crnogorice *Picea omorika*, koja je po njemu nazvana Pančićeva omorika. Otkrio ju je 1875.



Sl. 2 Josif Pančić

godine kod Zaovine i Rastišta na rijeci Drini. Neka od njegovih dijela su: *Ribe u Srbiji*, *Flora u okolici Beograda*, *Ptice u Srbiji*, *Kopaonik i njegovo podgorje*, *Šumsko drveće i šiblje u Srbiji*, *Flora Kneževine Srbije*, *Flora Crne Gore*, *Građa za floru Kneževine Bugarske*, *Ortoptere u Srbiji*, *Dodatak Flori Kneževine Srbije*, *Ribarstvo u Srbiji* i mnoga druga. U svojim prvim radovima (*Živi pijesak u Srbiji*, *O našim šumama*), ističe da čovjekovo djelovanje treba da bude u skladu sa ekološkim principima. Iako je, prije svega, poznat kao veliki florističar i faunističar, on je svojim naučnim radom uticao na razvoj ekologije. Dao je veliki doprinos proučavanju ekoloških faktora, populacija, životnih zajednica i promjenama u njima, razumijevanju čovjekovog položaja u prirodi, zaštiti prirode i slično. U okviru poglavlja *Fitogeografija*, objavljenog u okviru udžbenika *Botanika*, objašnjava zakonitosti rasprostranjenja biljaka, ističući da faktori opstanka i napretka biljnih vrsta zavise s jedne strane od okruženja u kojem jedinka živi, a s druge strane od same prirode, odnosno organizacije jedinke.

Još jedno veliko ime, koje se ističe u zaslugama za razvoj moderne ekologije na našim prostorima je Siniša Stanković (1892. – 1974.),



Sl. 3 Siniša Stanković

akademik, profesor Beogradskog univerziteta. Osnivač je Instituta za ekologiju i biogeografiju SANU. Po njemu je Institut za biološka istraživanja "Siniša Stanković" dobio ime. Njegovo najpoznatije djelo je *Okvir života* (1935.), u kojem obrađuje većinu osnovnih stavova i principa koje prihvata savremena ekologija. Osim što predstavlja osnovne principe i zadatke ekologije, Stanković ukazuje i na potrebu prihvatanja ekološkog načina mišljenja i van akademske zajednice. Zbog tada slabo razvijene ekološke kulture, ova studija dobija na značaju tek nakon Drugog svjetskog rata, pojavom drugog, proširenog izdanja i formiranjem Katedre za ekologiju i biogeografiju na Botaničkom i Zoološkom institutu Prirodno-matematičkog fakulteta u Beogradu. Prvi univerzitetski udžbenik iz ekologije na našim prostorima, *Ekologija životinja*, Siniša Stanković je napisao 1962. godine. O značaju ovog djela govori i činjenica da i danas predstavlja osnovnu udžbeničku literaturu na prostorima bivše Jugoslavije.

Najuglednija i najdjelotvornija naučnica na području Bosne i Hercegovine, kao i jedna od najuglednijih u bivšoj Jugoslaviji bila je Smilja



Sl. 4 Smilja Mučibabić

Mučibabić. Prva je žena doktor bioloških nauka (Cambridge, 1953.) u Bosni i Hercegovini, osnivač i prvi rukovodilac Katedre za biologiju Filozofskog fakulteta u Sarajevu (1953.), suosnivačica Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu (PMF) (1954.), prva dekanica Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu (1960.), osnivačica, prva i dugogodišnja šefica Odsjeka za biologiju PMF-a u Sarajevu (1960.), suosnivačica i prva predsjednica više stručnih i naučnih udruženja i njihovih časopisa (u BiH i bivšoj Jugoslaviji).

Profesionalno-istraživačko stvaralaštvo i pripadajuća publicistička aktivnost Smilje Mučibabić obuhvataju: idioekološka i sinekološka naučna istraživanja populacija protozoa (u kontrolisanim laboratorijskim

uslovima), prve projekte kompleksnih ekoloških i biosistematskih terenskih istraživanja u Bosni i Hercegovini, sintetičke analize stanja i perspektiva razvoja nauke i obrazovanja u BiH, aktivno učešće u pokretanju i uređivanju naučnih i stručnih časopisa, recenziranje i mentorstava istraživačkih (makro)projekata, diplomskih, magistarskih i doktorskih disertacija, kritičke analize i prikaze naučnih i stručnih knjiga, javne promocije naučnoistraživačke i obrazovne djelatnosti, kao i druge srodne aktivnosti. Smilja Mučibabić je veoma uspješno implementirala i prilagodila pozitivna iskustva svojih prvih naučnih voditelja: akademika Siniše Stankovića i uglednog engleskog ekologa Eugen Odum (u čijim su knjigama citirani i njeni radovi).

Milorad M. Janković (1924. —2002.) je bio jedan od najznačajnijih srpskih biologa i ekologa, univerzitetski profesor i predsjednik Ekološkog društva Srbije. Bio je prvi upravnik Odsjeka za biološke nauke, koji je kasnije prerastao u Biološki fakultet. Osnivač je i dugogodišnji šef Katedre za ekologiju i geografiju biljaka na Biološkoj grupi PMF-a, kao i Odjeljenja za fiziološku i biohemijsku ekologiju biljaka Instituta za biološka istraživanja "Siniša Stanković". Bio je dugogodišnji upravnik Instituta za botaniku i Botaničke bašte. U dugoj i plodnoj karijeri objavio je preko 1.000 naučnih i stručnih radova, elaborata, studija i prostornih planova. Autor je preko 30 knjiga, monografija i udžbenika.

U novije vrijeme širom bivše Jugoslavije ističu se brojni naučnici koji su dali doprinos razvoju ekologije kao nauke. U Bosni i Hercegovini zapažen je rad: Radomira Lakušića, Sulejmana Redžića, Ljubomira Berberovića, Tonka Šoljana, Dubravke Šoljan, Tihomira Vukovića, Aleksandra Ivanca, Nevenke i Bore Pavlovića i drugih.

Savremena ekologija

Civilizacijski tokovi, posebno industrijska revolucija, narušili su sklad između ljudi i prirode, čineći opstanak života na planeti Zemlji upitnim. Kako se ekologija razvijala kao nauka, postalo je očigledno da njeni koncepti populacije, zajednice, okoline i ekosistema moraju sadržavati ljudska bića i njihove uticaje na Zemlju. Još 1864. godine George Perkins Marsh tvrdio je da ljudski postupci imaju duboke, recipročne i obično destruktivne efekte na Zemlju, od kojih čovječanstvo zavisi. Rani ekolozi bili su svjesni implikacija ekologije na ljudsko okruženje i radili su na problemima poljoprivrede, ribarstva i veličine populacija divljih životinja.

Taj je uticaj čovjeka postao očigledan američkoj javnosti i političarima priznanjem ekološke krize u 1970-im godinama. Godine 1962. Rachel Carson, marinski biolog, dostavila je rano upozorenje o prijetnji herbicidima i pesticidima na životnu sredinu, objavivši knjigu *Tiho proljeće* („Silent Spring“).



Sl. 5 Rachel Carson

Prethodile su joj godine zapažanja i praćenja vladine zloupotrebe insekticida i pesticida, naročito DDT-ja. Hemijska industrija, koja ih je proizvela, i poljoprivredna industrija, koja ih je koristila, nepravedno su je kritikovale i omalovažavale. Međutim, njena knjiga je, postavši bestseller, uticala na širu javnost, te uzrokovala začetak pokreta za zaštitu

životne sredine i udarila temelje američkoj Agenciji za zaštitu čovjekove okoline. U jednom od intervjua izjavila je: "Čovjek je dio prirode, i njegov rat protiv prirode neizbježno je i njegov rat protiv samoga sebe."

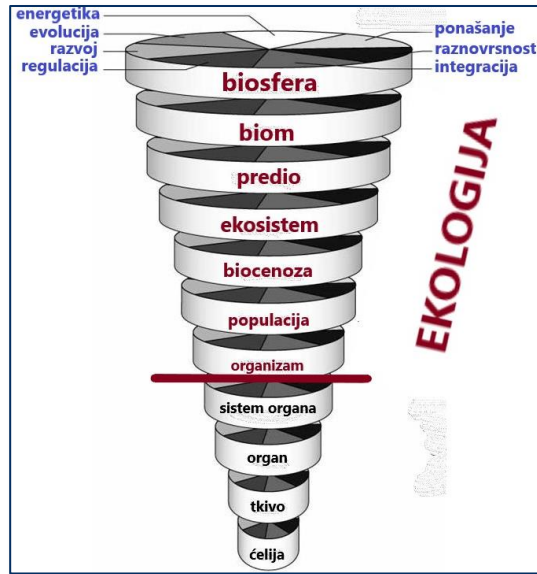
U okviru ekologije, usljed pogoršanja opštih uslova življenja, danas se najveća pažnja poklanja primijenjenoj ekologiji. Ljudske aktivnosti izazvale su cijeli niz negativnih pojava ogromnih razmjera, kao što su kisele kiše, efekat staklene bašte, ozonske rupe, klimatske promjene, degradacija šumskih površina, dezertifikacija, erozija, smanjenje biodiverziteta i slično. Na stvaranje većine problema najviše je uticala demografska eksplozija i potrošačka psihologija savremenog čovjeka.

U naše vrijeme, pojavljuju se sve više i novi, do sada nepoznati, problemi, koje treba rješavati, a da su drugi, do tada poznati, ostali neriješeni. Stručnjaci iz različitih oblasti (ekolozi, geografi, pedolozi, hemičari, geolozi, urbanisti, arhitekti, građevinari) sve su više angažovani na problemima zaštite životne sredine. I predstavnici drugih struka, kao što su sociolozi, ekonomisti, pravnici i slično, uključuju se u zaštitu životne sredine, jer je ona odavno postala društveno, možemo reći i filozofsko pitanje.

Hijerarhija nivoa organizacije živog svijeta

Posmatranje koncepta ekološke hijerarhije nivoa organizacije života je možda najbolji način da se razgraniči moderna ekologija i shvate podjele na grane (discipline).

Da bi se proučavanje ekologije konceptualno sistematizovalo, biološki svijet je organizovan u hijerarhiju, u rasponu od gena, ćelija, tkiva, organa, organizama, vrsta, populacije, zajednice, ekosistema, predjela, bioma, do nivoa biosfere. Sistemi koji sadrže žive (biotičke) i nežive (abiotičke) komponente čine biosisteme, u rasponu od genetskih sistema do ekoloških sistema. Ovaj spektar može se zamisliti ili proučavati na bilo kom nivou ili na bilo kom intermedijarnom položaju pogodnom za analizu. Na primjer, sistemi parazita i domaćina ili sistem dvije vrste međusobno povezanih organizama (kao što je partnerstvo gljiva i algi koje čine lišajeve) su srednji nivoi između populacije i zajednice (biocenoze).



Sl. 6 Ekološka hijerarhija nivoa organizacije života (Odum i Barett)

Ekologija se u velikoj mjeri, ali ne u potpunosti, odnosi na sistemske nivoe izvan nivoa **organizma**. U

ekologiji se pojam **populacije**, prvobitno skovan da označi grupu ljudi, proširuje i obuhvata grupe jedinki bilo koje vrste organizma. Isto tako, **biocenoza** (biotska zajednica, zajednica), obuhvata sve populacije koje zauzimaju određeno područje. Biocenoza i neživo okruženje funkcionišu zajedno kao ekološki sistem ili **ekosistem**. U ekologiji je **predio** definisan kao heterogena oblast sastavljena od grupe interaktivnih ekosistema koji se na sličan način ponavljaju. **Biom** je široko korišten pojam koji označava veliki regionalni ili subkontinentalni sistem okarakterisan glavnim tipom vegetacije, kao što je npr. biom umjerenih listopadnih šuma, biom tajgi, biom tropskih kišnih šuma i slično. **Biosfera** je najveći i gotovo samodovoljan biološki sistem, često označen i kao ekosfera, koji uključuje sve žive organizme Zemlje koji su u interakciji sa fizičkim okruženjem u cjelini.

Pošto je svaki nivo u spektru nivoa organizacije integrisan ili uzajamno zavisian od drugih nivoa, ne može biti oštrih linija podjele u funkcionalnom smislu, čak ni između organizma i populacije. Pojedinačni organizam, na

primjer, ne može dugo da opstane bez svoje populacije, ništa više nego što bi organ mogao da preživi dugo kao samopostojeća jedinica bez svog organizma. Slično tome, biocenoza ne može postojati bez ciklusa kruženja materije i protoka energije u ekosistemu.

Glavne poddiscipline ekologije, populaciona ekologija (kao i ekologija zajednica) i ekologija ekosistema, pokazuju razliku ne samo u obimu, već i u predmetu proučavanja. Ekologija populacija i ekologija zajednica se fokusiraju na distribuciji i raznovrsnosti organizama, dok ekologija ekosistema proučava kruženje materije i protok energije.

Ovaj okvir formira panarhiju i pokazuje nelinearno ponašanje; to znači da su „efekat i uzrok nesrazmjerni, tako da male promjene kritičnih promjenljivih, kao što je broj azotnih fiksatora, mogu dovesti do neproporcionalnih, možda i nepovratnih promjena u svojstvima sistema“. Ponašanja sistema moraju se prvo rasporediti u različite nivoe organizacije. Ponašanja koja odgovaraju višim organizacionim nivoima dešavaju se sporim stopama. Suprotno tome, niži nivoi pokazuju brze stope. Na primjer, pojedinačno lišće drveća brzo reaguje na trenutne promjene intenziteta svjetlosti, koncentracije CO₂ i slično. Rast stabla reaguje sporije i integriše ove kratkoročne promjene.

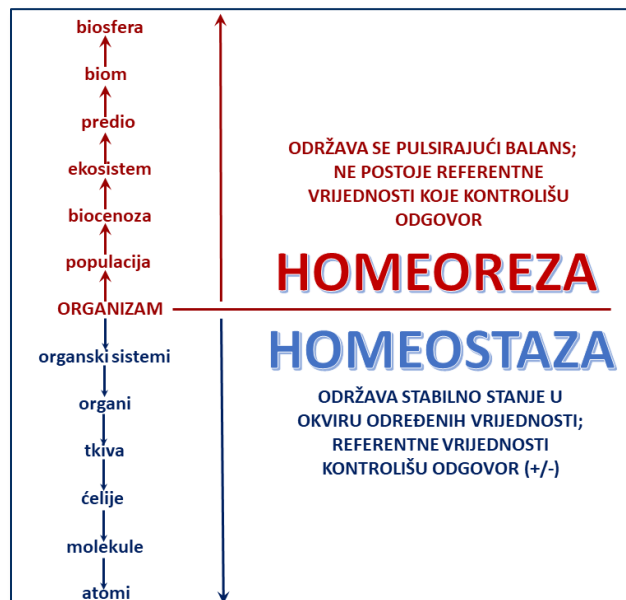
Kako ekosistem, predio, biom i biosfera posjeduju zajedničke strukturne i funkcionalne osobine, mogu se smatrati posebnim podnivoima zajedničkog ekološkog nivoa organizacije. Mnogi naučnici ih i imenuju na način da ekosistem označavaju kao ekosistem I reda, predio kao ekosistem II reda, biom kao ekosistem III reda i biosferu kao ekosistem IV reda. Prateći ovaj hijerarhijski niz, organizam predstavlja osnovnu funkcionalnu jedinicu ekosistema, a ekosistem osnovnu funkcionalnu jedinicu biosfere.

Ljestvica ekološke dinamike može funkcionisati kao zatvoreni sistem, poput lisnih uši koje migriraju na jednom stablu, a istovremeno ostaje otvoren za šire uticaje, poput atmosfere ili klime. Dakle, ekolozi hijerarhijski klasifikuju ekosisteme analizirajući podatke prikupljene od jedinica finijih razmjera, kao što su vegetacijske zajednice, klima i tipovi tla, i integrišu ove informacije kako bi identifikovali nove obrasce ujednačene organizacije i procese koji djeluju od lokalnog do regionalnog, pejzažnog i hronološkog nivoa.

Regulacija funkcionalnosti biosistema

Postoje osnovne funkcije koje djeluju na svim organizacionim nivoima.

Primjeri takvih funkcija su ponašanje, razvoj, raznovrsnost, energija, evolucija, integracija i regulacija. Neki od njih (na primjer, energija) se "ponašaju" isto na svim nivoima hijerarhije, dok drugi djeluju drugačije na različitim nivoima. Evolucija prirodne selekcije, na primjer, uključuje mutacije i druge direktne



Sl. 7 Homeostaza i homeoreza

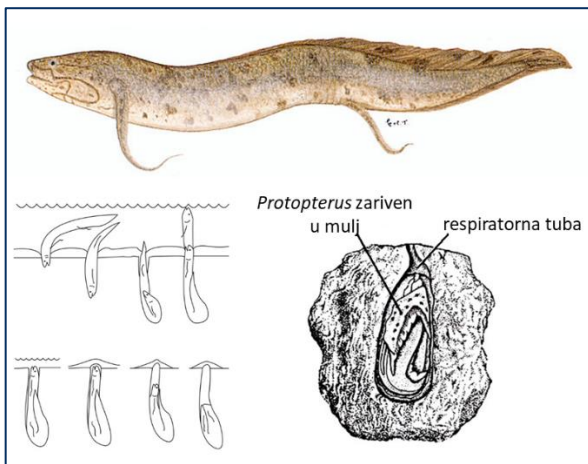
genetske interakcije na nivou organizma, ali i indirektno koevolucione i grupne procese selekcije na višim nivoima.

Regulacija uslovljena dejstvom pozitivnih i negativnih povratnih informacija (npr. regulacija sekrecije hormona) djeluje od organizma prema dole, tj. unutar jedinice na nivou sistema organa, organa, tkiva, ćelija i molekula. Unutar organizma, u okviru referentnih vrijednosti, uspostavlja se **homeostaza**, koja podrazumijeva veoma zahtjevne genetske, hormonske i neuronske kontrole životnih funkcija i procesa. Međutim, ne postoje kontrolne vrijednosti iznad nivoa organizma (nema homeostata ili termostata u prirodi). Shodno tome, kontrola povratnih informacija je mnogo labavija, što rezultuje pulsiranjem, a ne ustaljenim stanjem. Za ovu pulsirajuću kontrolu predložen je termin **homeoreza**, sa grčkog, koji označava „održavanje protoka“. Drugim riječima, ne postoje ravnoteže na nivou ekosistema i biosfere, ali postoje pulsirajuće ravnoteže, poput proizvodnje i disanja ili između kiseonika i ugljen-dioksida u atmosferi.

Veza ekologije sa drugim naukama

Ekologija je usko vezana sa nizom grana biologije. Ekologija prati reakcije organizma kao cjeline u odnosu na dejstva spoljašnje sredine, a **fiziologija** proučava fiziološku osnovu reakcije. Fiziologija proučava organske funkcije i mehanizme životnih procesa koji se odigravaju u organizmu i njegovim dijelovima (organima, tkivima i ćelijama), kao i reakcije organizma na različita unutrašnja i spoljašnja dejstva.

Dvodihalice (Dipnoa) imaju sposobnost udisanja atmosferskog kiseonika u nepovoljnim uslovima. *Protopterus annectens*, najveća od 3 vrste



Sl. 8 *Protopterus annectens* – plućno disanje za vrijeme estivacije

afričkih dvodihalica, naseljava močvare koje periodično presušuju. Tada se ukopava u mulj, formirajući oko sebe čahuru ispunjenu sluzi i preko respiratorne tube uzima vazduh, izdvajajući kiseonik pomoću veoma prokrvljenog ribljeg mjehura, koji obavlja funkciju pluća. Zahvaljujući tome, u stanju mirovanja (estivacija), može provesti duži vremenski period, do poboljšanja uslova. Mehanizam plućnog disanja kod te ribe, kao i prelaz sa škržnog na plućni način disanja i obrnuto, prati fiziologija. Ekologija posmatra prelaz sa jednog načina disanja na drugi kao adaptivnu reakciju ribe na promjenjive uslove staništa. Isto tako, priroda i mehanizam fotosinteze planktonskih algi u morima i jezerima predstavljaju fiziološki problem, koji se eksperimentalno prati primjenom radioaktivnog ugljenika, ali ekologiji pripada zadatak da utvrdi tempo i visinu produkcije organske materije biljnog planktona kroz proces fotosinteze, pod datim temperaturnim, svjetlosnim i drugim spoljašnjim uslovima ostvarenim u morskoj ili jezerskoj sredini.

Specifične karakteristike organskih vrsta rezultat su interakcija nasljeđa i sredine. **Genetika** ispituje zakonitosti prenošenja svih raznovrsnih svojstava živog bića kroz generacije. Ekologija prati uzroke nastanka varijabilnosti,

kao i uslove sredine koji utiču na manifestaciju genetski uslovljenih karaktera.

Svaka od izolovanih populacija evoluira pod različitim ekološkim uslovima u pravcu stvaranja nove podvrste ili vrste, prilagođene tim uslovima. Izolovanost populacija počiva istovremeno na geografskim i ekološkim faktorima. Dakle, **evolucija** predstavlja kretanje materije, praćeno kroz proučavanje forme i funkcije živih bića. Ekologija je u suštini nauka o borbi za opstanak, jer iz odnosa organizama sa okolinom proizilazi faktor evolucije - prirodna selekcija. Ekološka istraživanja predstavljaju neophodnu komponentu u proučavanju procesa organske evolucije, jer se istorijski tokovi mijenjanja bioloških formi ne mogu posmatrati odvojeno od kretanja u njihovoj životnoj sredini.

Upoznavanje nežive okoline organizama, kao i utvrđivanje uticaja nežive prirode na živo biće, nemoguće je bez oslonca na dostignuća **fizike i hemije**. Ekologija je usko uzajamno povezana i sa **geografijom, geologijom, mineralogijom, hidrologijom, geomorfologijom, klimatologijom i meteorologijom** - cjelovit opis nekog predjela nezamisliv je bez podataka o svim komponentama, koje uključuju živi i neživi svijet, kao i sve ekološke faktore, koji na njemu djeluju. Savremena ekologija nastoji da odnose izmjeri i izrazi brojevima što potvrđuje njenu povezanost sa **matematikom**. Pored navedenih, ekologija je usko vezana sa mnogim društvenim naukama, jer je dio ekologije koji se bavi izučavanjem čovjeka, urbanih sredina, kao i njegovim uticajem na životnu sredinu u bliskoj vezi sa **antropologijom, sociologijom i istorijom**.

Podjela i značaj ekologije

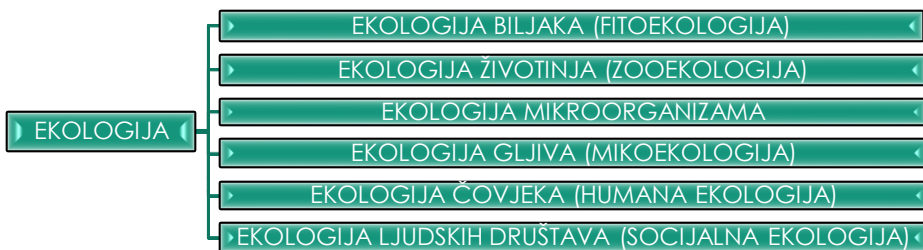
Po svojoj suštini i po predmetu izučavanja ekologija je danas prevazišla okvire biološke naučne discipline obuhvatajući istovremeno i problematiku mnogih drugih prirodnih i društvenih nauka. Po namjeni istraživanja razlikuju se osnovna ili fundamentalna ekologija i primjenjena ili aplikativna ekologija. Fundamentalna ekologija izučava osnovne ekološke pojave, procese i zakonitosti i, u odnosu na nivoe organizacije, objekte i probleme kojima se bavi, dijeli se na veliki broj naučnih disciplina. Aplikativna ekologija je usmjerena na izučavanje ekoloških fenomena i primjenu ekoloških zakonitosti u određenim ljudskim djelatnostima.

Danas možemo govoriti o granama ekologije po usmjerenosti istraživanja na individualne organizme ili na grupe organizama:

TERESTRIČNA EKOLOGIJA



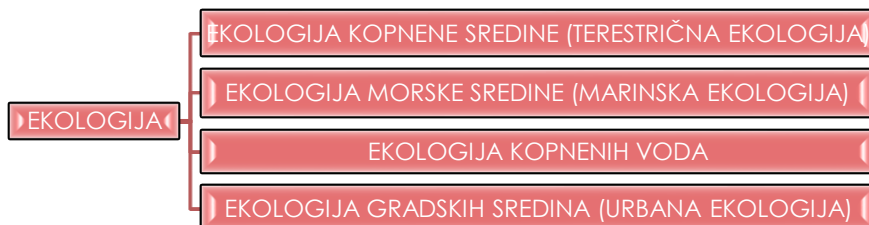
Prema sistematskoj pripadnosti proučavanih organizama ekologiju dijelimo na:



U odnosu na strukturne i funkcionalne odlike objekta istraživanja razlikuju se:



U odnosu na prirodu životne sredine razlikujemo:



Prema namjeni se razlikuju medicinska ekologija, šumarska ekologija, ekološka ekonomija, konzervaciona ekologija i slično. Takođe, ekologiju možemo podijeliti i prema proučavanom biomu, npr. šumska ekologija, pustinjska ekologija, bentoska ekologija. U odnosu na filozofski pristup npr.

sistemska ekologija je usredsređena na proučavanje, razvoj i organizaciju ekoloških sistema iz holističke perspektive.

Ekološka istraživanja omogućavaju da se duboko prodire u tajne žive prirode i u sve veze koje postoje između živih bića i životne sredine.

Ekologija ima veliki značaj u zaštiti prirode. Rezultati istraživanja u oblasti ekologije predstavljaju vrijedna uputstva za sprječavanje teških poremećaja u biosferi, jer se usljed povećanja populacije ljudi, sve veće prenaseljenosti, naročito u gradovima, ugrožava prirodna sredina (vazduh, voda, zemljište i biocenoze).

Ekološka istraživanja predstavljaju naučnu osnovu za veću proizvodnju hrane. Ekologija daje i ubjedljive argumente da se obradive površine na kopnu za proizvodnju hrane neadekvatno eksploatišu i otkriva bolje puteve agroproizvodnje.

Ekologija ukazuje da racionalna, tehnički usavršena eksploatacija velike organske produkcije mora i okeana, otvara perspektivu sigurnog rješenja problema ishrane.

Ekologija medicini pruža značajne podatke o načinu života parazitskih organizama, bakterija i virusa, što je veoma značajno prilikom liječenja, a naročito u preventivnoj medicini.

Terestrična ekologija proučava kopnene ekosisteme, zajednice biljaka, životinja i mikroorganizama, njihove populacije i njihove interakcije sa atmosferom i slatkim vodama, te njihovu ulogu u kretanju energije, vode i glavnih biogehemijskih elemenata.

POSTANAK PLANETE ZEMLJE I POSTANAK ŽIVOTA

Zemlja predstavlja treću od ukupno osam planeta našeg Sunčevog sistema, a on je tek djelić galaksije nazvane Mliječnom stazom, koja broji 200 milijardi zvijezda. Naša je galaksija tek jedna od stotinu milijardi sličnih ostrva u svemiru.

Kroz istoriju su se javljale različite teorije o nastanku svemira, kao i o prirodi naše planete. Dugo se smatralo da je Zemlja ravna ploča. S druge strane, još su stari Grci bili svjesni činjenice da je Zemlja okrugla. Aristotel je 340. godine p.n.e. iznio dokaze njenog sferičnog oblika. Uočio je kružnu sjenu Zemlje na Mjesecu, prilikom pomračenja, što bi bilo nemoguće da je Zemlja ravna ploča. Takođe, grčki moreplovci su uočili da se zvijezda Sjevernjača pojavljuje niže na nebu posmatrana sa juga nego kad se gleda iz sjevernih područja. Kao treći razlog navodi činjenicu da se na pučini prvo uočavaju jedra, a tek onda trup broda koji doplovljava. S druge strane, Aristotel je smatrao da je svemir vječan i da je Zemlja, kao centar vasione, statična, a da se sva druga tijela kreću oko nje. Sve do Nicolaus Copernicus različiti modeli svemira su podrazumijevali statičnost Zemlje. Njegov model (1514. godine) sastojao se od Sunca u centru sistema, oko kojeg se kreću kružnim putanjama Zemlja i ostale planete. Pronalaskom teleskopa (Galileo Galilei) astronomija doživljava procvat. Kepler (Johannes Kepler) i Galilej su unaprijedili Kopernikov model i promijenili našu percepciju svemira, utvrdivši da se tijela kreću po eliptičnim putanjama i da brojne planete imaju svoje satelite, što je pobilo dotadašnje vjerovanje da se sva tijela kreću oko Zemlje.

Iako su se stavovi o Sunčevom sistemu i samoj planeti Zemlji mijenjali kroz ljudsku istoriju, mišljenje da je svemir vječan bilo je opšteprihvaćeno sve do 1929. godine. Tada je Edwin Hubble uočio da se galaksije u vasioni kreću, udaljavajući se sve više i više od nas. Iz tog otkrića je zaključio da se svemir širi, što znači da su sva nebeska tijela bila znatno bliža u prošlosti, odnosno da je svemir u nekom trenutku morao nastati. Postavilo se prvi put u nauci pitanje početka Univerzuma.

Iz Hubble-ovih istraživanja proistekla je teorija Velikog praska (BIG BANG), koja tvrdi da je svemir imao početak. Ovu teoriju je većina naučnika prihvatila kao model nastanka i evolucije svemira, a temelji se na Einstein-ovoj opštoj teoriji relativnosti i nizu astronomskih posmatranja.

Prema teoriji Velikog praska u trenutku nastanka svemira, prije oko 13,7 milijardi godina, sve je bilo koncentrisano u jednoj tački, sva materija, radijacija i sva energija koje sada postoje. Pri ekstremno visokoj temperaturi u toj tački svemir se počeo širiti jako brzo, raspršujući svoj

sadržaj u svim smjerovima.

Obzirom da je širenje svemira iz jedne tačke bilo praćeno eksplozivnim zvukom, „rođenje svemira“ je nazvano Velikim praskom. Širenjem svemira nastajao je svemir kakvog danas pomalo upoznaje



Sl. 9 Prikaz Velikog praska

nauka: svemir sa atomima, zvijezdama, galaksijama i planetama. Na taj način je nastalo mnoštvo zvijezda, uključujući Sunce, kao i planete Sunčevog sistema i Zemlja među njima.

Danas su poznate brojne teorije o postanku Zemlje, od kojih mnoge imaju samo istorijsko značenje.

1. NEBULARNA ili Kant-Laplasova HIPOTEZA, koju je postavio Kant krajem 18. vijeka. Pretpostavio je da su Sunce i planete Sunčevog sistema nastali iz nebule, materije u međuzvezdanom prostoru. Po ovoj teoriji nebula je imala sferičan oblik i sastojala se od različitih vrelih gasova. Zahvaljujući vlastitoj gravitacionoj privlačnosti postepeno se zgušnjavala. Kako su u središnjem dijelu nebule gravitacione sile bile jače, formiralo se Sunce, a na rubu nebule planete.

2. PLANETEZIMALNA HIPOTEZA je bila aktuelna oko 1900. godine. Po njoj se Sunce, za koje nije objašnjeno kako je nastalo, sudarilo sa nekom zvijezdom, što je izazvalo nastanak izbočenja na njegovoj površini. Zahvaljujući eruptivnim silama koje su vladale na Suncu izbočine su se povećavale i velike količine gasovite mase bile su izbačene do udaljenosti današnjih planeta. Njihovim hlađenjem nastale su planetezimalne, koje su kasnije oblikovale planete.

3. GASNA HIPOTEZA je slična planetezimalnoj teoriji. Kraj Sunca je prošla neka zvijezda i zbog njezine privlačne sile došlo je do otkidanja mlaza Sunčeve gasovite mase, koja se zgušnjavala i oblikovala planete.

4. HIPOTEZA SUNČEVOG BLIZANCA Po ovoj teoriji Sunce je u davnoj prošlosti imalo svog blizanca nepoznatog porijekla. Blizanca je odvukla neka zvijezda, na udaljenost u kojem je i dalje djelovala Sunčeva

gravitacija. Pretpostavka je da je blizanac eksplodirao i da su planete nastale na taj način.

5. GLOBULARNA KONTRAKCIONA HIPOTEZA govori da su planete Sunčevog sistema, pa i Zemlja, nastale od globula i danas prisutnih u svemiru. Globule su veliki hladni oblaci koji se mogu kontrahovati zbog gravitacije. Prema ovoj hipotezi materija globula se zbog vlastite gravitacije zbijala, a unutrašnja temperatura rasla na nekoliko miliona stepeni. Tada su počele nuklearne reakcije, prvenstveno stvaranje helijuma iz vodonika, koje su opskrbljivale jezgru energijom, što se odražava u sjaju zvijezde.

6. PROTOPLANETARNA HIPOTEZA je veoma slična nebularnoj. Smatra se da je od globula prvo nastao disk, stezanjem i rotiranjem, u čijem središnjem dijelu je nastalo Sunce, a od rubnih dijelova globularnog diska različiti oblici, na različitim udaljenostima od središta, koje odgovaraju današnjim udaljenostima planeta od Sunca. Ti prvi oblici nazvani su protoplanetama. Smatra se da su se sastojali od vodonika, helijuma, puno leda, metala i silikata. Gravitacionim kontrakcijama i nuklearnim reakcijama povisila se temperatura, što je izazvalo topljenje većine leda. Pretpostavlja se da je Zemlja polako gubila gasove, tako da danas ima 1/20 mase svog protoplaneta.

7. SCHMIDT-OVA TEORIJA je još jedna inačica nebularne teorije, po kojoj je Sunce, prolazeći kroz oblak kosmičke prašine u Galaksiji, svojom gravitacijom privuklo značajan dio materije, koja se zgušnjavanjem i sabijanjem formirala u planete.

8. HIPOTEZA JEZGRINE REAKCIJE navodi da je Zemlja nastala u pet evolutivnih faza: prvo se stvorio oblak gasa i prašine, zatim se formirala njegova putanja, oblak se zgusnuo i javile su se složene nuklearne reakcije, da bi se na kraju uz Zemlju stvorio i kompletan sistem u kojem planete okružuju Sunce.

Starost Zemlje se procjenjuje na oko 4,54 milijardi godina, primjenom metoda datiranja radionuklidima. Jedna grupa naučnika smatra da je Zemlja na početku bila velika užarena kugla koja se postepeno hladila, a druga da je u početku bila hladna, ali se kompakcijom zagrijala. U oba slučaja, hlađenjem Zemlje formirala se na njenoj površini kora, koja i danas pluta na polutekućoj unutrašnjosti. Stalne eksplozije i vulkanske erupcije emitovale su ogromnu količinu gasova i prašine, koji su, zadržani gravitacijom, postepeno formirali praatmosferu. Smatra se da su se u sastavu praatmosfere nalazili vodena para, prašina i ostali gasovi.

Hlađenjem vodene pare nastale su padavine, koje su milionima godina mijenjale izgled Zemlje, formirajući praokeane.

Postanak života

O postanku života na Zemlji, kao i o vremenu pojavljivanja života postoji mnoštvo teorija, od kojih su navedene pojedine:

1. TEORIJA KREACIONIZMA - Ovu teoriju zastupaju sve religije. Po njoj život je stvorilo vrhunsko, nadprirodno biće.

2. TEORIJA PANSPERMIJE – zastupa stav da je život na Zemlju došao iz svemira, da je "zasijan". Pobornici ove teorije smatraju da je život stigao kometima koji su u prošlosti često pogađali Zemlju. Postoji i inačica ove teorije koja se zove UPRAVLJANA PANSPERMIJA, prema kojoj je život takođe ekstraterestričnog porijekla, ali su ga donijeli inteligentni vanzemaljci, a „zasijan“ je ciljano.

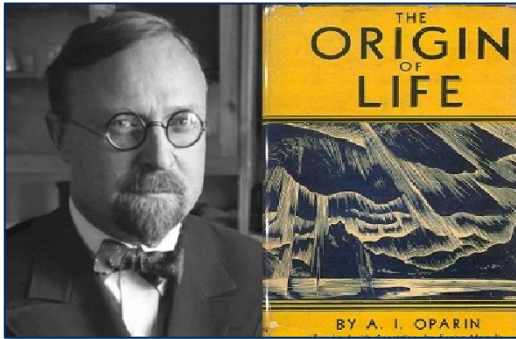
3. TEORIJA SPONTANE GENERACIJE - Smatralo se da živi organizam može nastati iz nežive materije. Tako su po toj teoriji muve nastale iz trulog mesa, a miševi od krpa bačenih u čošak. Bila je vrlo popularna do kraja 19. vijeka, kada je Louis Pasteur srušio ovu teoriju.



Sl. 10 Teorija panspermije

4. TEORIJA EVOLUTIVNOG NASTANKA ŽIVOTA - je danas naučno prihvaćena teorija. Ona tumači da su se na Zemlji odigrali komplikovani hemijski procesi, te je zahvaljujući hemijskoj evoluciji stvoreno složeno hemijsko jedinjenje koje je "oživilo" i omogućilo početak biološke evolucije. Prema dostupnim podacima otkriveno je da je prvi oblik života bio na Zemlji prisutan prije 3,8 milijardi godina.

Ovu teoriju zastupao je Alexander Oparin, ruski biohemičar. One je pretpostavio da se problem početka života na Zemlji može sagledati iz druge perspektive, bez uvođenja Boga ili svemirskih brodova. Radio je na modelu koji bi objasnio prve oblike života na Zemlji. Svoja otkrića publikovao je 1924. godine u djelu *Porijeklo života*.



**Sl.11 Aleksandar Ivanovič Oparin,
autor djela Porijeklo života**

Oslanjajući se na dostignuća drugih nauka, kao što su astronomija, biologija, geologija, pretpostavio je da je život na Zemlji počeo u okeanima prije 3,5 do 3,9 milijardi godina. Smatrao je da je početak života bio prirodan korak u konstantnoj transformaciji materije. Njegova teorija se zasniva

na činjenici da su uslovi na Zemlji bili znatno drugačiji od uslova kakvi su danas. Atmosfera je bila reduktivna, odnosno bogata vodonikom (H_2) i vrlo siromašna kiseonikom (O_2). Ozonski omotač nije postojao, te su UV zrake neometano dopirale na površinu Zemlje. Većinu praatmosfere činili su vulkanski gasovi kao što su: voda (H_2O), metan (CH_4), amonijak (NH_3), ugljen-dioksid (CO_2), azot, vodonik-sulfid, cijanovodonik, kao i formaldehid.

Prva evolucija se odigrala u priobalnom pojasu i plićacima mora i okeana, koje su potapale plime i gde je bilo svjetlosti, a početnu sredinu, u kojoj se začeo život, odnosno protoćelija, Oparin je nazvao „primordijalnom supom ili čorbom“.

Temelj života, aminokiseline, šećeri i baze nukleinskih kiselina, nastali su od različitih molekula u primordijalnoj čorbi okeana, djelovanjem UV zraka i radioaktivnosti Zemlje koja se hladila. Molekule su oblikovale koacervat, odnosno protobiont od kojeg su postali glavni sastojci života: proteini, lipidi i nukleinske kiseline (RNK, DNK). One su se samoorganizovale u membrane i, najzad, u osnovnu jedinicu života-ćeliju. Smatra se da je prva ćelija (protoćelija) bila izuzetno jednostavne strukture i predstavljala jedan od prelaznih oblika. Različite primitivne forme života su nastajale i nestajale pri najmanjim promjenama sredine. Opstanak pojedinih oblika i njihova dalja evolucija povezuje se sa mogućnošću da su preuzimali osobine jedni od drugih svojevrsnim predatorstvom. Dalja evolucija života dešavala se paralelno sa evolucijom okvira života. Život je postepeno mijenjao sredinu, čime je ona tako izmijenjena omogućavala dalje usloznavanje života.

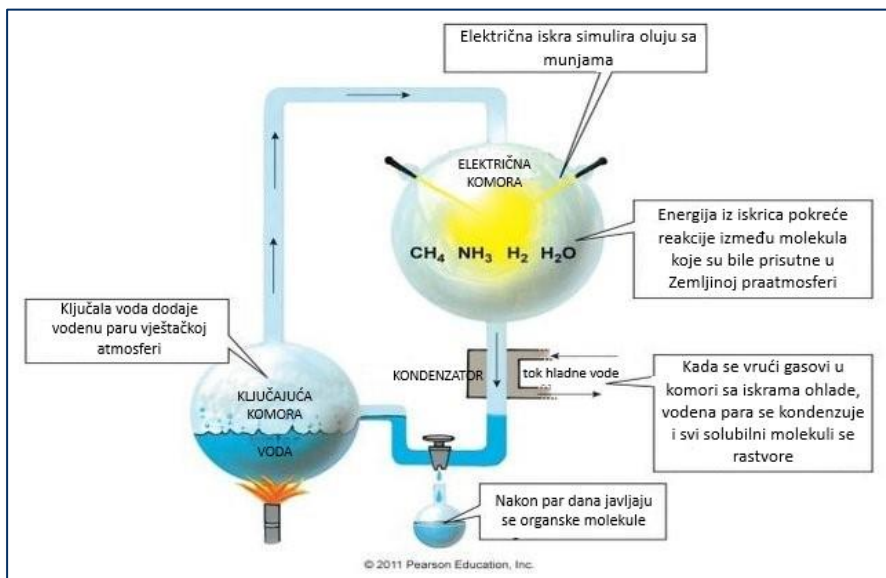
Rana faza evolucije Zemlje, najverovatnije je trajala oko 800 miliona godina i obuhvata period od obrazovanja naše planete do organizovanja elemenata u samoobnavljajuće, evolutivne oblike. U tom

vremenu u vodama su se dešavali procesi hemijske evolucije uz stalne promjene i stalno uvećavanje broja sistema, koji su doveli do nastanka prvobitne životne sredine: prvo postoje samo neorganska jedinjenja, zatim uz njih i jednostavna organska jedinjenja, da bi se pojavili mnogomolekularni kompleksi, kao najprimitivniji oblici života.



Sl. 12 Izgled Zemlje prije oko 3.5 milijarde godina, rekonstrukcija

Oparinovoj teoriji je nedostajalo objašnjenje kako bi populacija velikih, složenih molekula uglavnom unaprijed određene strukture mogla nastati, kao i objašnjenje reprodukcije prvog ćeliji sličnog sistema.



Sl. 13 Miller – Urey eksperiment, šematski prikaz

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

Zahvaljujući Miller – Urey eksperimentu u laboratorijskim uslovima je dobijeno 20 aminokiselina (kasnijom analizom uzorka utvrđeno ih je mnogo više), što je dalo potvrdu teoriji abiogeneze i objasnilo nastanak organskih molekula od neorganskih komponenti. Utvrđeno je da u vještački stvorenim uslovima, koji odgovaraju uslovima tadašnje planete, zahvaljujući elektricitetu i radijaciji nastaju reakcije koje rezultuju spajanjem molekula u konglomerate i njihovom reprodukcijom.

Nastankom protoćelija hemijska evolucija je zamijenjena procesima biološke evolucije, koja je rezultovala sve složenijim i složenijim oblicima života, tokom 570 miliona godina. Nakon „kambrijumske biološke eksplozije“ život je iznenada eksplodirao u ogromnoj raznovrsnosti. Usljedio je cijeli niz evolutivnih promjena, koje su daljim uslozljavanjem sve složenijih višećelijskih organizama i prelaskom života na kopno, dovele do pojave čovjeka.

RAZVOJ ŽIVOTA

Vremenski periodi u razvoju Zemlje izdvajaju se na osnovu značajnih događaja koji obilježavaju njihove početke i dijele se na eone, ere, periode, epohe i doba. **Fanerozoik** počinje nastankom života, pa se označava i kao eon života. Stijene nastale u fanerozoiku obiluju fosilima koji svjedoče o razvoju organskog svijeta. Dijeli se na tri ere: paleozoik, mezozoik i kenozoik, što znači stari, srednji i novi život. Granice između era su obilježene masovnim izumiranjem živog svijeta.

Paleozoik

Kambrijum, period od posebnog značaja za paleontologiju zbog ogromnog broja fosila iz stijena nastalih u to vrijeme. Najstariji je period fanerozojskog eona (započeo je prije 541 milion godina). U kambrijumu dolazi do naglog „procvata“ života, pa se taj događaj označava biološkim big-bengom. Karakteristično je da se u tom periodu javljaju osnovni tipovi životinja, organizmi sa skeletom, sa predatorstvom kao osnovnim načinom života.

Tabela 1. Vremenski periodi u razvoju Zemlje

Supereon	Eon	Era	Perioda	Epoha	Doba	Početak u mil.god.	Razvoj života
	FANEROZOIK	KENOZOIK	Kvartar	Holocen		0,01	Rod <i>Homo</i>
				Pleistocen		1,8	Dalja evolucija linije hominida.
			Tercijar	Neogen	Pliocen	5	Čovjekoliki majmuni. Evolucija linije hominida.
					Miocen	23	
				Paleogen	Oligocen	34	Krajem razdoblja sisara pojavili su se prvobitni konji, svinje, goveda i majmuni. Biljke cvjetnice dostižu vrhunac razvoja.
					Eocen	55	
		Paleocen	65				
		MEZOZOIK	Kreda			145	Izumiru veliki dinosaurusi, amoniti i primitivne ribe. Počinju se razvijati biljke cvjetnice. Pojavljuju se sisari i primitivne ptice i postaju sve brojnije.
			Jura			201	Doba gmizavaca koji dominiraju u šumskim, močvarnim i ravničarskim područjima. Razvijaju se prvi krilati gmizavci i primitivne ptice.
			Trijas			252	Pojavljaju se prvi primitivni sisari. Period velike raznovrsnosti gmizavaca.

	PALEOZOIK	Perm	299	Vrhunac u razdoblju stvaranja planina. Bogat morski i slatkovodni život. Pojavljuju se savremeni insekti. Uspion gmizavaca.		
		Karbon	359	Prvi put se pojavljuju glosjemenice. Pojavljuju se krilati insekti, zajedno sa paucima i kopnenim škorpionjama. Pojavljuju se i prvi gmizavci.		
		Devon	420	Veoma brza evolucija riba, koje naseljavaju slatke vode i od kojih se razvijaju prvi vodozemci koji udišu vazduh. Insekti su sve brojniji.		
		Silur	443	Plitka mora obiluju morskim algama od kojih se razvijaju prve kopnene biljke. U talozima rijeka i jezera mogu se naći fosili riba sa vilicama.		
		Ordovicijum	488	Na Zemlji preovladava blaga klima. Okeani vrve sunderima, koralima, glavonošcima i trilobitima. U Sjevernoj Americi se pojavljuju prvi kičmenjaci, slični ribama.		
		Kambrijum	541	Prva pojava biljnih fosilnih ostataka. Raznovrsni fosilni ostaci beskičmenjaka (trilobiti, bodljokošci) iz plitkih mora.		
		PREKAMBRIJUM	PROTEROZOIK	NEOPROTEROZOIK	1000	Vrijeme pojave prvih, primitivnih algi, beskičmenjaka i sundera.
				MEZOPROTEROZOIK	1600	
				PALEOPROTEROZOIK	2500	
			ARHAIK	NEOARHAIK	2800	Najraniji tragovi života, stariji od četiri milijarde godina su bakterije.
MEZOARHAIK	3200					
PALEOARHAIK	3600					
EOARHAIK	4000					
HADEAN		~4600	Vrijeme nastanka planete Zemlje, do pojave života.			

Veliki broj fosila beskičmenjaka je sakupljen tokom više od stotinu godina na nalazištu Burgess shales visoko u Stjenovitim planinama u Kanadi. Zahvaljujući ovim primjercima, starim i po 500 miliona godina, identifikovano je oko 140 vrsta koje su živjele u periodu kambrijuma.

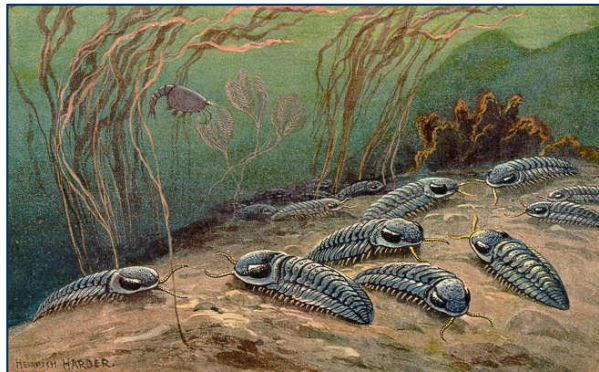
Na osnovu fosilnih ostataka naučnici su rekonstruisani izgled trilobita, beskičmenjaka plitkih mora, koji su dominirali u kambrijumu. U pitanju su paleozojski zglavkari, koji su većinom živjeli u plitkoj vodi, pužući po dnu i hraneći se hranljivim sastojcima iz mulja. Manji broj vrsta je razvio sposobnost plivanja. Tijelo im podijeljeno na tri dijela, po čemu su i dobili

ime i sastoji se iz više zglobljenih segmenata. Trilobiti su razvili složen sistem vida čime prednjače u u životinjskom svijetu.



Sl. 14 Fosili beskičmenjaka kambrijuma, nalazište Burgess Shales, Kanada

Oči su im bile građene iz čvrstih, kristalnih sočiva, a zahvaljujući postojanju dva sloja u sočivima sa različitim indeksom odbijanja omogućeno je izoštravanje. Zaštitu od predatora omogućavao im je dobro razvijen hitinski pancir sa dorzalne strane tijela i mogućnost savijanja u klupko u slučaju opasnosti, kako bi zaštitili ventralnu stranu, na kojoj je pancir bio samo djelimično razvijen (na glavenom dijelu do usnog otvora).



Sl. 15 Trilobiti, rekonstrukcija

Neki od kambrijumskih fosila se mogu povezati sa današnjim životinjama – zglavkarima, rakovima, crvima i hordatima, dok su filogenetski odnosi i način života većine i danas nepoznati.

U paleozojskim stijenama je ostala velika količina fosila, koja ukazuje kolika je raznovrsnost života je bila prisutna u tom periodu. Veliki je broj nektonskih graptolita (iz ordovicijuma, prije 500-440 miliona godina), neobičnih fosila, izgleda sićušne testere. Pronađen je i veliki broj ljuštura koje su pripadale cefalopodima (glavonošcima). Današnji cefalopodi obuhvataju hobotnice, sipe, lignje i nautilus i karakterišu se i džinovskim vrstama, kao što je džinovska sipa, *Architeuthis*, dugačka 16 metara. Međutim, ordovicijumski cefalopod *Cameroceras* odlikovao se kupastom ljušturicom dugom 10 metara. Cefalopodi sa ljušturicom kreću se

tako što izbacuju mlaz vode unazad, a plivanje kroz vodeni stub im olakšavaju vazdušni džepovi koji se nalaze u komoricama na koje je ljuštura podijeljena. Kroz evoluciju se pregradni zidovi između komorica sve više usložnjavaju: kod paleozojskih njihov profil je relativno jednostavan, a kod mezozojskih sve složeniji.

PRELAZAK ŽIVOTA NA KOPNO

Život je nastao u vodenoj sredini i dugo vremena bio prisutan samo u njoj. Nakon što su se pojavili raznovrsni oblici vodenih organizama, život postepeno prelazi i na kopno u **siluru** (prije 440 do 410 miliona godina). Prvi kopneni organizmi su biljke, koje se javljaju prvo u obliku niskih vaskularnih biljaka koje su naselile močvare i šikare u blizini morskih obala. Ubrzo po osvajanju kopna od strane biljaka, javljaju se i prve pionirske životinjske vrste, insekti, a za njima, u **devonu** (prije 410 do 360 miliona godina) i kičmenjaci.

Insekti danas čine oko 95% svih poznatih životinjskih vrsta, pa možemo reći da insekti, a ne sisari, dominiraju Zemljom. Oni su pionirske vrste u gotovo svim novim životnim sredinama. Prvi od životinja su zauzeli kopno i prvi su razvili sposobnost letenja. Najstarije insekte, devona i **karbona**, karakterisao je gigantizam. Tako je karbonski vilin konjic *Meganeura* imao raspon krila od 75 cm, dok su bubašvabe bile duge desetak centimetara.



Sl. 16 *Ichthyostega*, rekonstrukcija

Prelazak života iz vodene sredine na kopno zahtijevao je niz adaptacija. Prvenstveno razvoj različitih oblika zaštite od gubitka vlage, zatim nastanak potpuno drugačijeg načina kretanja, usljed sile zemljine teže i znatno rjeđeg medijuma (vazduh) u kojem su se organizmi trebali istovremeno kretati, noseći svoju težinu, i tražiti plijen. Razvila su se nova čula i organi: disajni organi, čulo sluha i usavršeno čulo vida. *Ichthyostega* – riboliki, stegalni (sa niskom lobanjom) vodozemac – stegocefal je prva životinja (prema dosadašnjim istraživanjima) iz grupe

Tetrapoda, koja se uspješno adaptirala na kopnenu sredinu i prva riješila probleme kretanja, disanja i zadržavanja vlage. Njegov izgled, posebno repa i glave, ukazuje na njegovo porijeklo od riba. Životinja je bila duga oko 1 metar, udisala je atmosferski vazduh, što dokazuju nosnice postavljene na gornjoj strani njuške. Zadnji ekstremiteti su imali perajast oblik, a naseljavao je tekućice i bare. Njegovi fosili, kao i fosili sličnih oblika, pronađeni su na Grenlandu. Interesantno je da su im ekstremiteti imali po 7 prstiju, što dovodi do zaključka da pentadaktilija nije primarna karakteristika tetrapodnih kičmenjaka.

U vrijeme devona u morima je živjelo mnoštvo riba, pa se devon često naziva i "doba riba". RIBE su bile morfološki veoma raznovrsne, od oklopnjača sa teškim koštanim pancirima, bodljašica sa koštanim bodljama koje su podupirale peraja, do predačkih formi današnjih hrskavičavih i koštanih riba. Hrkavičave i koštane ribe, naročito ajkule i zrakoperke, danas vladaju morima dok su oklopnjače izumrle krajem devona, a bodljašice krajem paleozoika. Devonske šakoperke i dvodihalice, su imale sposobnost disanja na škrge i pluća, zahvaljujući čemu su preživljavale (kao i recentni oblici dvodihalica Dipnoi) sušne periode. Karakterisale su ih šakolike peraje, pomoću koji su puzale po dnu i u vrijeme suše prelazile iz jednog bazena u drugi. One su preci prvih četveronožaca. Na njihovu srodnost ukazuju slično građene lobanje i kosti ekstremiteta, kao i neobična sličnost u građi zuba, koja se uočava na presjeku zuba u izvuvijanom dentinu u obliku lavirinta.

U karbonu (prije 360 do 290 miliona godina), u morima se javljaju raznovrsni oblici krinova, pričvršćenih za dno dugačkom drškom, na čijem kraju se nalazi kruna u kojoj su smješteni glava i pet ili više razgranatih pipaka za hvatanje planktonske hrane. Mnogi su se odlikovali gigantizmom, pri čemu su im drške bile duge više od metra, izgrađene od nekoliko stotina članaka. Bili su mnogobrojni, te su morske „bašte“ bile uobičajen prizor u karbonu.

Osvajanje kopna omogućeno je evoluiranjem biljaka i životinja u pravcu prevladavanja zavisnosti reprodukcije o vlažnom okruženju. Biljke su razvile sjemenke (biljke sjemenjačko papratskog porijekla) umjesto spora za čiji je razvoj neophodna voda. Kod životinja, jaja bez jakog omotača zamijenjena su jajima amniota sa zaštitnim slojevima (životinje reptilskog porijekla). Letenje kao način kretanja prvi put se javlja u karbonu razvojem krila kod insekata.

Na kopnu su se razvile šume od čije ogromne količine biomase nastaju naslage uglja. Najbrojnije su bile masivne papratnjače, često visoke do

35 m, dok su likopode, kao što su *Sigillaria* i *Lepidodendron*, dostizale visinu i od 45 m.

Najbrojnije kopnene životinje u karbonu bili su stegocefali, veliki i najčešće



Sl. 17 Karbonska šuma, rekonstrukcija

zadržale sve do kraja mezozoika.

Tokom **perma**, posljednjeg perioda paleozoika (prije 290 do 245 miliona godina) javljaju se dvije glavne grupe gmizavaca, zvjeroliki gmizavci i diapsidni gmizavci. Zvjeroliki gmizavci, Pelykosauria, su evoluirali u Therapsida-e, grupu sinapsida u koju spadaju sisari i njihovi preci. Iz njih su se vremenom razvili sisari. Diapsidni gmizavci (gmizavci sa dvije sljepoočne jame na lobanji) preci su dinosaura, letećih gmizavaca (pterosaura), krokodila, guštera i zmija.

U permu su prevlast imali zvjeroliki gmizavci. Oni izumiru u mezozoiku, nakon što su se od njih razvile sitne, snalažljive i brze životinje pokrivene dlakom – sisari.

Paleozoik se završio masovnim izumiranjem, koje se označava još i „Veliko izumiranje“, jer je najveće poznato izumiranje u istoriji Zemlje. Tokom njega je izumrlo i do 96% svih tadašnjih morskih vrsta i oko 70% kopnenih vrsta kičmenjaka. Ovo je jedino poznato masovno izumiranje insekata, od koji je oko 57% svih porodica i 83% svih rodova nestalo. Ovim izumiranjem eliminisane su velike grupe beskičmenjaka, kao što su blastoidi (grupa Echinodermata), fusulinidi i trilobiti. Ostale glavne grupe, koji su uključivale amonoide, brahiopode, mahovnjake (mahovinaste životinje), korale i stare krinoide (čaošoliki bodljokošci sa pet ili više paperjastih nožica), teško su desetkovane, ali su uspjele da prežive.

Zahvaljujući ekstremnom gubitku biodiverziteta tokom permskog izumiranja, oporavak života je trajao znatno duže nego nakon drugih

masovnih izumiranja (i do 10 miliona godina). Razlozi ovog izumiranja nisu poznati, ali postoje neki predloženi mehanizmi kao što su: promjena u uslovima životne sredine, pad meteora ili komete, pojačana vulkanska aktivnost, eksplozije uglja/gasa iz sibirskih naslaga i iznenadno ispuštanje metanovog klatrata iz mora (ogromne količine metana zarobljene u ledu ispod sedimenata na dnu okeana); postepene promjene nivoa svjetskih mora, anoksija ili promjena u okeanskoj cirkulaciji uzrokovana klimatskim promjenama. Prema podacima koji se navode na sajtu Smithsonian instituta izumiranje je bilo odgovor na dramatične promjene u Zemljinj atmosferi. Masivne vulkanske erupcije, koje su trajale milionima godina, izbacivale su ugljen-dioksid i toksične gasove iz unutrašnje Zemlje. Kako su ovi vreli gasovi brzo fluktuirali, nivo kiseonika je naglo padao, a okean je postajao sve kiselij od kiselih kiša. Pepeo koji je blokirao Sunce u početku je prouzrokovao nagli pad temperature Zemlje, ali je lava ubrzo sagorjela naslage uglja koje su u atmosferu oslobađale ugljen-dioksid sa efektom staklene bašte, povećavajući temperaturu. Dostupni podaci ukazuju da je nivo svjetskog mora opao za nekih 150 m.

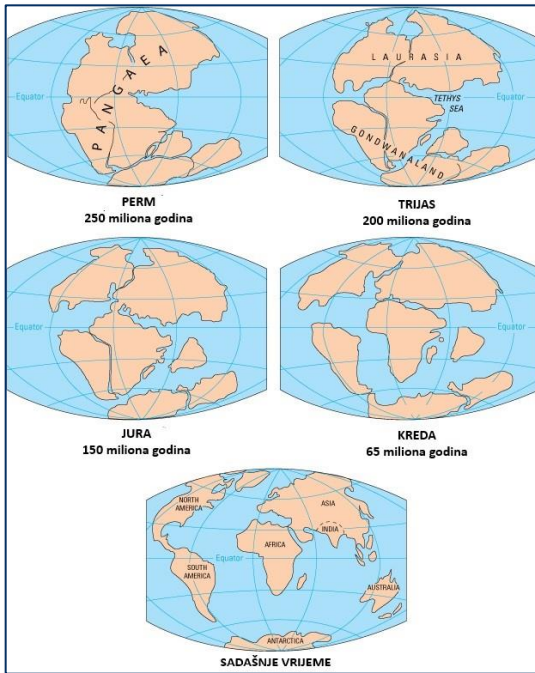
Mezozoik

Početak **mezozoika**, organizmi preživjeli veliko izumiranje imali su slobodne mnogobrojne ekološke niše i ogroman životni prostor na raspolaganju. Tokom mezozoika dominirali su gmizavci, dok je radijacija sisara omogućila njihovu prevlast u kenozoiku.

Već u permu gmizavci su bili brojniji i raznovrsniji od vodozemaca, zahvaljujući evolutivno naprednijim adaptacijama na kopneni način života. Najvažnija osobina po kojoj se gmizavci razlikuju od vodozemaca je da se legu iz jaja sa unutrašnjim omotačem, koja su snabdjevena hranljivim materijama. Amniotsko jaje mogu da polažu na kopnu, a ne samo u vodi, što je slučaj sa jajima vodozemaca. Takođe, zahvaljujući velikoj količini hranjivih materija i čvrstom omotaču, embrion gmizavaca se razvija sve do razvoja karakteristika koje imaju roditelji, te se mlado liježe potpuno razvijeno i sposobno za kretanje i samostalan život. Larve vodozemaca se legu ranije i prolaze kroz proces metamorfoze, vezane većim dijelom života za vodenu sredinu. Amniotsko jaje je omogućilo gmizavcima, kao najstarijim amniotima, da u potpunosti osvoje kopnenu sredinu i mnoštvo ekoloških niša koje je ona pružala.

Tokom mezozoika jedinstvena kopnena masa, Pangea, se cijepa na Lauraziju, sjeverni blok (današnja Azija bez Indije, Evropa i Sjeverna Amerika) i Gondvanu, južni blok (Afrika, Indija, Australija, Južna Amerika i Antarktik). Vremenom se južni blok rastavio na Azijski, Afro-američki i

Indijski dio. U Juri, prije 135 miliona godina, Afrika je počela da se odvaja od Južne Amerike, a prije 85 miliona godina razdvojili su se Sjeverna Amerika i Evropa. Prije 65 miliona godina odvojio se i Grenland.



Sl. 18 Istorijski razvoj Zemlje

ekološkim nišama. Različiti načini kretanja i ishrane doveli su do raznovrsnih specijalizacija unutar ove grupe organizama, te je nastao cijeli dijapazon različitih životnih formi, uz pojavu gigantizma kod mnogih predstavnika. Na kopnu su se isticale kako krupne biljojede vrste (npr. *Brontosaurus*, težine oko 50 t i dužine do 30 m), tako i krupni mesojedi (*Tyranosaurus*), dok su vazduhom vladali leteći predstavnici (*Pterosaurus*). Pojedine grupe se sekundarno prilagođavaju životu u vodi (*Ichtyosaurus*). Evolutivna pojava više razvojnih linija i specijalizacija na različite ekološke niše se označava pojmom **ekološka (adaptivna) radijacija**.

Diapsidni gmizavci, posebni viši (arhosauri), dostižu svoj maksimum u mezozoiku, dominirajući veličinom, brojnošću i specijalizacijom na različite ekološke niše. Među njih spadaju dinosauri, pterosauri i krokodili, kao i neposredni preci ptica.

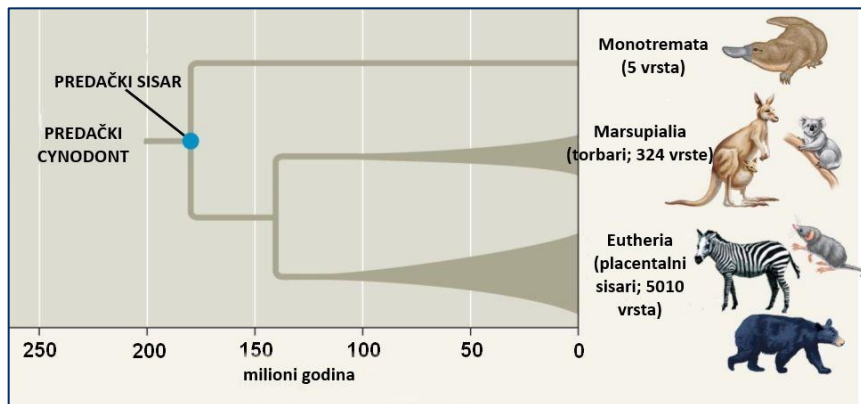
Izgled Zemlje u vrijeme mezozojske ere je bio znatno drugačiji od današnjeg, mada se postepeno javljaju sličnosti. Klima je bila izrazito topla, što je onemogućavalo nastanak polarnih kapa, te je nivo svjetskog mora bio veoma visok.

Od životinja u mezozoiku dominiraju gmizavci, koje je karakterisala velika raznovrsnost, koji su u ovom periodu doživjeli svoj „procvat“. Razvijaju se različite grupe gmizavaca u odnosu na prilagođenosti slobodnim

Dominaciju gmizavaca okončalo je masovno izumiranje, poznato kao KT (Kreda-Trijas) izumiranje na prelasku iz mezozojske u kenozojsku eru. Prije približno 65 miliona godina veliko strano nebesko tijelo, prečnika oko deset kilometara, pogodilo je Zemlju, tačnije oblast poluostrva Jukatan u Meksiku. Došlo je do masovnog izumiranja na Zemlji, pa je početkom kenozoika Zemlja ponovo opustila. Od kopnenih životinja preživjele su uglavnom vrste manjih tjelesnih dimenzija. Vremenom dominaciju na kopnu preuzimaju sisari. Prvi oblici sisara, u toku ranog mezozoika, bili su malog rasta, nalik na današnje rovčice. Ishrana im se bazirala na insektima ili su se, kao svaštojedi, hranili malim beskičmenjacima, plodovima i jajima. Već u mezozoiku se jasno razdvajaju razvojne linije sisara, na marsupijalne i placentalne sisare.



Sl. 19 Masovno izumiranje na prelazu mezozojske u kenozojsku eru



Sl. 20 Adaptivna radijacija sisara

Prvobitno su se marsupijalni sisari javili na području današnje Sjeverne Amerike, a placentalni u Evroaziji, a zatim i u Sjevernoj Americi. Cijepanje Pangee na kontinente definisalo je budući raspored razvojnih linija sisara. Kako su se prvo izdvojili Antarktik i Australija, prije pojave placentalnih sisara, na području Australije ekološke niše zauzimaju isključivo marsupijalni oblici. Međusobnim odvajanjem Južne Amerike i Afrike, krajem mezozoika, kao i nestankom veze Južne sa Sjevernom Amerikom

početkom kenozoika, razvoj sisarske faune Južne Amerike se odvija posebnim tokom. Zadržavaju se marsupijalni, ali razvijaju i neke grupe placentalnih sisara, karakterističnih, zahvaljujući izolaciji, samo za ovaj kontinent.

Sjeverna Amerika, Evropa i Azija ostaju spojene. Na njima se odvija glavni razvoj placentalnih sisara, adaptivna radijacija tokom koje se oni prilagođavaju različitim ekološkim nišama i klimatskim promjenama koje se odvijaju tokom kenozoika, tako da danas mnoštvo životnih formi živi u većini ekosistema planete Zemlje.

U kenozoiku su se formirala četiri glavna planinska masiva (Andi, Stjenovite planine, Himalaje i Alpe), koja su imala ogroman uticaj na rasprostranjenje živog svijeta, kao i formiranje klimatskih prilika. Andi su se izdigli usljed subdukcije (podvlačenja) pacifičke (oceanske) tektonske ploče pod kontinentalnu, čestih zemljotresa i vulkanskih aktivnosti. Alpsko-himalajski pojas je nastao približavanjem Afričke ploče Evropi, te Indijske Aziji. Kretanje Afrike na sjever je prouzrokovalo promjene u količini vode svjetskog okeana, a stijene koje su se našle na putu ovoj kontinentalnoj ploči su se zadebljavale i uzdizale nabiranjem i rasjedanjem, pri čemu su se formirale Alpe. Otkidanje Indije od Afrike i Antarktika (započelo još u mezozoiku) uzrokovalo je subdukciju istočnog Tetijskog okeana i približavanje Aziji. Zbijanjem, podebljavanjem i uzdizanjem stijena koje su bile na putu Indijskoj ploči, oblikovan je Himalajski lanac. Kako su Himalaje izuzetno visoka i dugačka prepreka, izazvale su promjenu lokalne klime i nastanak jugoistočnoazijskog monsuna.

Promjene na planeti su stalne, tako da će se i današnja Zemlja vremenom izmijeniti, nastajće nova kopna i okeani, a nestajati stari.

LEDENA DOBA

Ledeno doba predstavlja hladan klimatski period u geološkoj historiji planete, tokom kojeg su kontinente prekrivali ledeni pokrivači preko čitave godine. Zahvaljujući nižoj prosječnoj temperaturi, za vrijeme ledenog doba šire se ledeni pokrivači. Danas su stalni ledeni pokrivači koncentrisani tokom čitave godine samo na polovima planete i u planinama. U toku posljednjih nekoliko miliona godina, velike površine, uključujući dijelove Amerike, Evrope i Azije, bile su periodično pokrivena ledom. Ledena doba su posebno uticala na rasprostranjenje pojedinih grupa organizama, između ostalog na rasprostranjenje primata, a kasnije i hominida. Uticala su na formiranje klimatskih prilika, kao i klimatskih zona danas prisutnih na Zemlji.

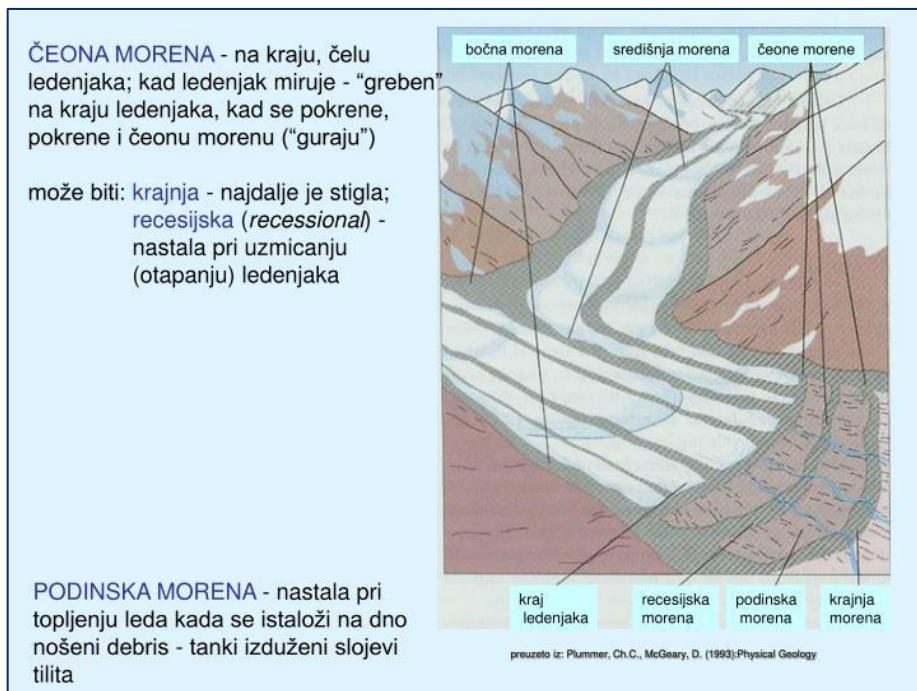
Glacijacija (glacijalni period, period visokoglacijalne aktivnosti), koja se često naziva i ledeno doba, je geološki fenomen, koji obuhvata dugotrajna hladna klimatska razdoblja na Zemlji (stotine hiljada godina). Odvojena su znatno dužim (milioni godina) stabilnijim toplijim razdobljima, koja preovladavaju u geološkoj prošlosti Zemlje. Međutim i u samim ledenim dobima klima nije uvek ista. Za vreme samih glacijala postoje hladniji delovi perioda - stadijali i oni topliji - interstadijali.

Smatra se da su prva ledena doba, tačnije njih tri, nastupila u prekambriju (prije 940–615 miliona godina). Zatim je uslijedilo ledeno doba u devonu (prije oko 400 miliona godina), te u gornjem karbonu i permu (otprilike prije 295 miliona godina). Tragova tih starih leđenja ima vrlo malo, ali neki su ipak pronađeni u Africi, Aziji, Sjevernoj Americi i Australiji. Raspodjela kopna i mora bitna je za razvoj ledenih pokrova tokom glacijacije. Zadnjoj (kvartarnoj) glacijaciji teško je odrediti početak, jer je znatno prije počela na južnoj Zemljinoj polulopti, već krajem tercijara. Antarktički ledeni pokrov postojao je od prije 4–5 miliona godina, dok se na sjevernoj polulopti središnji dio Sjevernog ledenog mora zaledio tek prije otprilike 700 000 godina. Unutar jedne glacijacije smjenjuju se hladniji glacijali i topliji interglacijali. Tokom hladnijih doba, glacijala, masovni ledeni pokrov se formirao na Arktiku i Antarktiku, te prodire prema ekvatoru. U toku **interglacijala** ili interglacijalnih perioda, dolazi do povlačenja ledenih masa i odsustva masovne glacijacije na globalnom nivou — neledeno doba. Na osnovu dostupnih podataka uočava se da su interglacijalne epohe u pravilu kraće od glacijalnih, unutar jednog glacijalnog perioda.

Period u kome živimo je interglacijal koji traje oko 11 400 godina.

Danas se led nalazi u glečerima planinskih predjela ili u ledenim pokrivačima na sjevernom i južnom polu.

Na područjima koja su kroz historiju Zemlje bila zahvaćena ledom u vrijeme glacijacije pronađeni su geološki dokazi u vidu glacijalnih morenskih naslaga (akumulacionih oblika glacijalnog procesa). Prema prostornom rasporedu naslaga tilita (više ili manje povezan morenski materijal) može se potvrditi kako su one na ta područja stigle pomjeranjem kontinenata ili drugim složenim geološkim procesima. Na nekima od tih područja danas vlada vrlo topla ili čak tropska klima.



SI.21 Ledničke morene

Uzroci pojavljivanja ledenih doba

Vremenom su nastale mnoge teorije ili grupe teorija o nastanku ledenih doba. Mogu se podijeliti u zavisnosti od uzroka nastanka ledenih doba:

- Tektonika kontinentalnih ploča
- Morske struje
- Sastav atmosfere
- Astronomski ciklusi

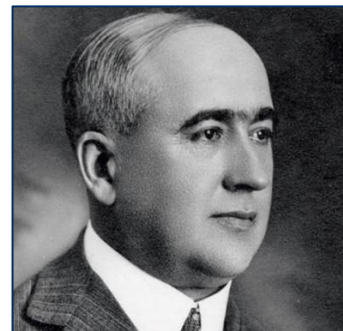
Pobornici teorija koje se oslanjaju na tektoniku kontinentalnih ploča, uzroke ledenih doba traže na samoj Zemlji. Tokom Tercijara, velike

kopnene mase kao što su sjeverni dio Sjeverne Amerike, Evrope i Azije su postale koncentrisane oko sjevernog polarnog regiona. Za to vrijeme, Antarktik se pomjerio na svoju poziciju na Južnom polu. Zahvaljujući pozicioniranju kopna u polarnim regionima nastali su kontinentalni uslovi sa hladnim zimama.

Tople i hladne struje imaju ogroman uticaj na klimu, tako da su brojni naučnici uzročnike ledenih doba objašnjavali promjenom morskih struja, kao i pravca vjetrova. Smatrali su da je do glacijacije dolazilo usljed promjene pravca strujanja toplih, a posebno hladnih morskih struja. Takođe, kopnene mase sprječavaju transport toplote okeanima ka sjeveru. Zadnja glacijacija se djelimično objašnjava sprječavanjem atmosferskog transporta toplote ka sjevernom polarnom regionu razvojem Himalaja i Tibetanskog platoa tokom zadnjih 10 miliona godina. Promjena visine kontinenata je uticala na pravac vjetrova i padavina, što se takođe odrazilo na klimu.

Pristalice teorija da do glacijacije dolazi usljed promjena u sastavu atmosfere pretpostavljaju kako atmosferski uslovi mogu drastično uticati na rast i pad temperature. Pri tome posebno važnu ulogu ima količina ugljen-dioksida i prašine u atmosferi. Smanjenje količine ugljen-dioksida snižava temperaturu na Zemljinoj površini, a povećanje količine čestica prašine otežava dolazak Sunčevih zraka do Zemlje i tako smanjuje temperaturu unutar atmosfere. Smanjenje količine ugljen-dioksida je registrovano u periodima maksimalne glacijacije, a njegovo povećanje u periodima interglacijacije. Ispitivanja slojeva leda potvrđuju promjenu koncentracije CO₂, ali se još uvijek ne može u potpunosti utvrditi da li je promjena koncentracije CO₂ uzrok ili posljedica glacijacije.

Mnogobrojni naučnici su odgovor na nastanak ledenih doba tražili u astronomskim ciklusima, te su se vremenom razvile različite teorije. Jedna od njih je polazila od pretpostavke da prostor kroz koji je putovao Sunčev sistem nije uvijek bio jednake temperature usljed gasova i prašine u pojedinim područjima svemira. Prema drugoj Sunce je promjenljiva zvijezda koja u nekim razdobljima isijava više, a nekim manje toplote.



Sl. 22 Milutin Milanković

Većina ovih teorija je djelimično ili u potpunosti odbačena. Prekretnicu razumijevanja uzroka glacijacije donosi srpski geofizičar **Milutin**

Milanković. Temperaturne klimatske promjene su povezane sa čitavim nizom faktora koji dovode do periodičnih kolebanja Sunčeve konstante, od koje zavise opšte klimatske prilike na Zemlji. Promjene Sunčeve konstante su uslovljene nizom periodičnih promjena određenih astronomskih veličina. Najvažnije od njih su:

- **Nagibni ugao ekliptike** - nagib ravni ekvatora prema ravni Zemljine orbite, u periodima od 41 000 godina, sa promjenom od 22-24,5°
- **Ekscentričnost Zemljine orbite** čiji period iznosi 105 000 godina
- Periodična promjena položaja Zemljine ose – **precesija**. Zemlja orbitu prelazi za 22 000 godina, pri čemu je najvažniji njen položaj za vrijeme prolječne ravnodnevnice. Povremeno se ljetni mjeseci poklapaju sa najvećom udaljenosti Zemlje od Sunca, pa je ljeeto znatno hladnije, dok je na najmanjoj udaljenosti znatno toplije.

U pitanju su veoma složeni procesi čije je sveukuopno dejstvo, pojava ledenog doba, nastalo kao rezultat promjene svake od komponenti, ali i njihovog međusobnog, veoma složenog uslovljavanja.

Ledena doba kvartara

Kvartar je započeo prije oko 1 800 000 godina, nakon tercijara. Za njegove klimatske prilike odgovorne su promjene koje su se dešavale na Planeti prvenstveno krajem tercijara, pri čemu se mogu istaći dva posebno značajna procesa:

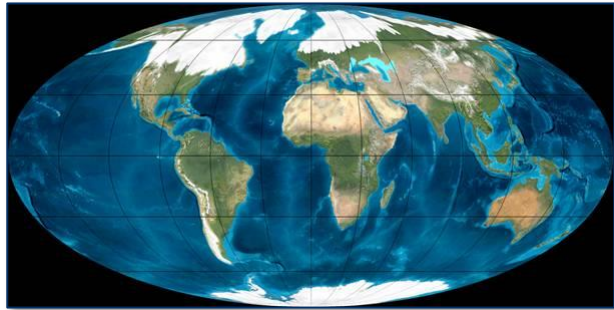
1. Stvorili su se ogromni planinski lanci - U Sjevernoj i Južnoj Americi izdigao se moćan planinski pojas Anda - ili sjeveroameričkih - južnoameričkih Kordiljera. Prostiru se u meridionalnom pravcu od Aljaske na sjeveru sve do krajnjeg juga Južne Amerike, do Patagonije i Ognjene Zemlje. Evroazijske alpijsko-himalajske planine su nastale u Evroaziji. U pitanju je moćan planinski lanac koji se proteže u ekvatorijalnom pravcu, od Atlasa i Pirineja na krajnjem zapadu, preko Alpa, Balkanskih planina (Dinaridi, Rodopi, Karpati, Šarsko-Pindske planine, itd.) i Kavkaza, sve do srednjeazijskih planina i najzad ogromnih Himalaja na krajnjem istoku kontinenta. Formiranje ova dva najznačajnija planinska lanca različitog pravca pružanja uticala su izuzetno na klimatske prilike, kao i na stvaranje savremenog biljnog svijeta i vegetacije sjeverne hemisfere, kao i za različitu sudbinu sjeveroameričke i evroazijske flore tokom Velikog ledenog doba.

2. Premještanje polova, prvenstveno sjevernog, od svoga sjevernog i okeanskog položaja ka jugu, prema Evropi (sa položajem na kopnu),

zatim njegovo ponovno kretanje ka sjeveru, do svoga sadašnjeg položaja (u moru). Ova pomjeranja polova su uslovia premještanje čitavih klimatskih zona.

Tokom tercijara, od eocena prema pliocenu, Evropa, samim tim i čitava sjeverna hemisfera, se postepeno udaljava od ekvatora i približava sjevernom polu. Usljed tih pomijeranja dolazi do osjetnog zahlađenja, kao i pojave glacijacije u Evropi i Sjevernoj Americi. U pliocenu Evropa se nalazi približno na istoj geografskoj udaljenosti od sjevernog pola kao danas. Samim tim, krajem tercijara u srednjoj Evropi klimatski uslovi imaju umjeren karakter (smjena godišnjih doba), pa su u velikoj mjeri slični savremenim klimatskim uslovima. Klima Evrope je bila zonalno podijeljena, pri čemu su sjeverni krajevi bili hladniji, a južniji topliji.

U **kvartaru** dolazi do velikog pogoršanja klime, pri čemu temperatura u tolikoj mjeri opada da dolazi do ledenog doba, koje je trajalo približno oko 650 000 godina. Bilo je posebno izraženo u sjevernim dijelovima sjeverne hemisfere, prvenstveno u sjevernim dijelovima Sjeverne Amerike i Evrope, kao i u



Sl.23 Raspored leda tokom kvartarnih glacijala

sjeverozapadnom Sibiru, ali se uticaj hladne klime osećao i u južnim dijelovima Evrope, sve do mediteranskih zemalja. Na sjevernim dijelovima razvila se moćna ledena kapa – *ledena kalota*, kao i moćni glečeri na planinama, sve do južnih planina Sredozemlja (Alpi, Karpati, Balkanske planine). Ledeno doba je dovelo i do promjene hidrološkog režima, što je uslovia smjenu vlažnih i suvih razdoblja. Polarna kalota se postepeno širila, tako da su se pod ledenim pokrivačem nalazili u Evropi Britanska ostrva, Irska, čitava Skandinavija, Holandija, Danska, Njemačka, Poljska, sjeverozapadna Rusija, itd. Za pleistocen (diluvijalno doba) karakteristično je, pored moćne ledene kape koja se obrazovala i širila cirkumpolarno, prisustvo moćnih glečera na planinama južne Evrope, koji su se u nekim oblastima duboko spuštali u niziju, u Alpima gotovo sve do samog Dunava.

Veliko ledeno doba se nije odlikovalo nepromjenjivošću uslova. Bilo je veoma kompleksno, usljed velike složenosti klimatskih uslova i

odgovarajućih geomorfoloških promjena, pri čemu su se smjenjivali topli i hladni, odnosno vlažni i sušni periodi. Sve ove promjene su pogadale biljni i životinjski svijet sjeverne hemisfere, naročito u Evropi.

Dokazi glacijala pleistocena su brojni. Istraživanja rječica na Alpama su utvrdila postojanje četiri glacijala i tri interglacijala tokom ovog perioda u Evropi. U Sjevernoj Americi su takođe zabiježena četiri glacijala, dok su u Africi bili zastupljeni pluvijali (kišni periodi).

Tabela 2. Kvartarna (pleistocenska) ledena doba

EVROPA – ALPE - glacijali i interglacijali		SJEVERNA AMERIKA – glacijali i interglacijali		AFRIKA- pluvijali
Würm		Wisconsin		Gamblian
	Riss- Würm		Illinoian- Wisconsin	
Riss		Illinoian		Kanjeran
	Mindel- Riss		Kansas- Illinoian	
Mindel		Kansas		Kamasian
	Günz- Mindel		Nebrascan- Kansan	
Günz		Nebrascan		Kageran

Glacijalne periode karakteriše opšta temperaturna depresija i znatno spuštanje snježne granice u planinama. Interglacijaciju odlikuju povećanje temperature i pomjeranje snježne granice na veće nadmorske visine.

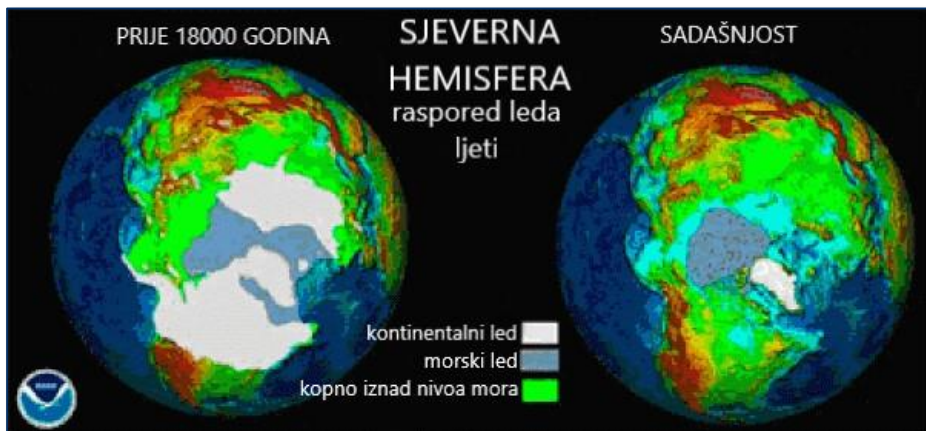
Zahvaljujući brojnim dokazima preostalim iz posljednjeg ledenog doba, poznate su granice tadašnjeg ledenog pokrivača. Na evropskom kontinentu led se širio iz dva glacijalna centra. Prvi se nalazio u Skandinaviji, prekrivajući Škotsku, najveći deo Britanskih ostrva, Dansku, Finsku i velika područja sjeverne Njemačke, Poljske i Rusije. Drugi, manji centar iz Alpa prekrivao je Švajcarsku, kao i dijelove Austrije, Italije i Francuske.

Na sjevernoameričkom kontinentu led se širio u blizini Hadsonovog zaliva i prekrivao cijelu istočnu Kanadu i velika prostranstva Srednjeg zapada.

Debljina ledenog pokrivača je iznosila oko 1 500 metara. Drugi glacijalni centar se nalazio u kanadskim Rocky Mountains i drugim visokim krajevima na zapadu Sjeverne Amerike, prekrivajući dijelove Aljaske, cijelu zapadnu Kanadu i dijelove država Vašington, Ajdaho i Montana.

Led se prostirao i na ostalim kontinentima, ali u manjim količinama. Dijelovi Argentine, Novog Zelanda, Kamčatke i Himalaja su bili pod ledom. Jedino na afričkom kontinentu nisu pronađeni tragovi poslednjeg ledenog doba.

Prema dostupnim podacima led je prekrivao oko 24 miliona kvadratnih kilometara Zemljine površine koja je danas bez leda. Smatra se da je samo na evropskom kontinentu ležalo oko 70 miliona kubnih kilometara leda. Nastanak tolikih ledenih slojeva uticao je na nivo svjetskog mora, koji se spustio za 100-180 metara. Spuštanje nivoa mora izložilo je ogromnu površinu morskog dna, dok su mnogobrojna današnja ostrva u tom periodu bila sastavni dio kopna kontinetata. Moreuzi su ustupali mjesto prevlakama i najveći dio kopna je bio u privremenoj ili relativno stalnoj vezi, što je omogućilo slobodno rasprostiranje brojnih vrsta, uključujući i čovjeka.



SI.24 Razlike u površini pokrivenoj ledom sjeverne hemisfere u pleistocenu i danas

Živi svijet u vrijeme poslednjeg ledenog doba

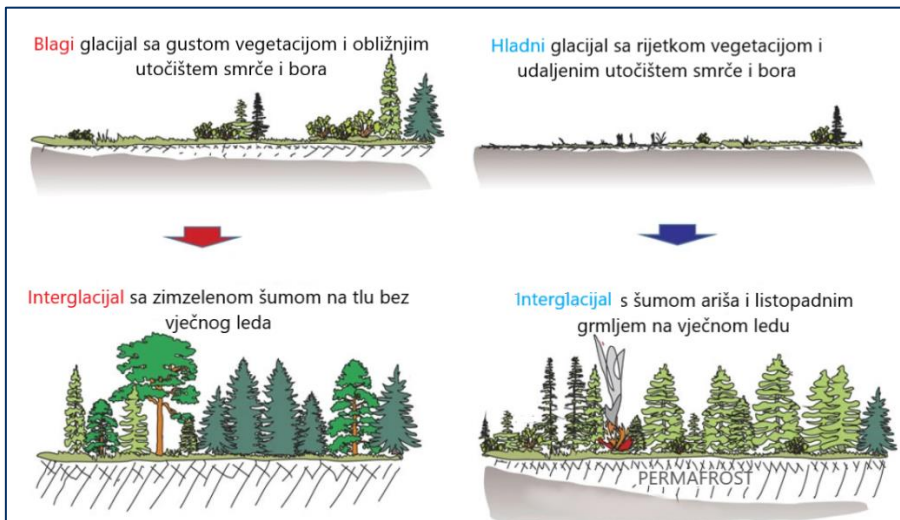
Veoma niske temperature uticale su na veliki dio sjeverne hemisfere, pa su i južni dijelovi Evrope bili dosta hladniji nego danas. Ipak su temperaturne prilike južne Evrope stvarale odgovarajuće uslove za utočište termofilnih tercijarnih biljaka, koje su se povlačile ka jugu pred nadiranjem polarne kalote. Donja snježna granica na planinama je bila

znatno niža nego danas (za oko 1 250 m), što je uticalo na cjelokupne biocenoze.

Srednja godišnja temperatura je bila za 8-10 °C niža od današnje, pa su od drveća na prostorima srednje Evrope mogli živjeti samo breza, bor i vrba, praćene mnogobrojnim zeljastim vrstama biljaka frigorifilnog karaktera: pretežno biljke tundre i hladnih stepa. U srednjeevropskoj niziji sa glacijalnim slojevima nađena je glacijalna frigorifilna flora u Njemačkoj, Danskoj, Skandinaviji, Poljskoj, Rusiji, Švajcarskoj, Francuskoj i Engleskoj.

U južnim evropskim krajevima (Pirinejsko, Apeninsko, Balkansko poluostrvo i Kavkaz) klimatski uslovi bili su znatno drugačiji, što je pogodovalo razvoju termofilnih zajednica.

Veliko ledeno doba se odlikovalo smjenom različitih flora i vegetacija, koje su bile u vezi sa smjenom različitih klimatskih perioda, glacijala i interglacijala.



Sl. 25 Vegetacija glacijala i interglacijala sjeveroistočne Azije

Za vrijeme ledenog doba u zoni polarne kape, kao i u zonama visokoplaninskih glečera na južnim evropskim planinama nije postojala gotovo nikakva vegetacija. Južno od sjeverne ledene kalote i na manjim nadmorskim visinama ispod planinskih glečera, razvijala se odgovarajuća vegetacija, oskudna, donekle karaktera današnjih arktičkih tundri i hladnih stepa sa nekih sjevernih i kontinentalnih evroazijskih planina, ali bez drveća, žbunova, šuma i šikara. Nastupanjem interglacijala i povlačenjem sjeverne kalote i moćnih planinskih glečera, vegetacija se

mijenja, flora postaje bogatija, a biljne vrste sve manje frigidofilne i sve više termofilne. Ovaj proces je tekao postepeno, sve do nekog toplotnog vrhunca, da bi se potom sa ponovnim zahlađenjem, smjena flore kretala u suprotnom smjeru, opet ka tundri kako je klima postajala sve hladnija i hladnija, nastupanjem nove glacijacije.

Ovakve klimatske prilike dovele su s jedne strane do osiromašenja biljnog svijeta nestankom pojedinih tercijarnih termofilnih vrsta sa gotovo cijelog evropskog kontinenta, ali i obogaćenja vrstama usljed neospecijacije, posebno u južnoj Evropi, gdje su se zadržali i brojni tercijarni relikti. Procesima specijacije nastala je nova bogatija arкто-alpijska flora, koja predstavlja svojevrsnu postglacijalnu tvorevinu.



Sl. 26 Vunasti mamut (*Mamuthus primigenius*), replika u muzejskoj postavci u Viktoriji, Britanska Kolumbija, Kanada

Životinje pleistocena imaju mnogo zajedničkih karakteristika sa recentnim vrstama, ali se po mnogo čemu i razlikuju. Promjene u klimi i životnoj sredini uzrokovale su velike migracije biljaka i životinja, kao i evolucijske adaptacije, a u nekim slučajevima izumiranje. Evolucijske promjene tokom pleistocena uglavnom su bile male zbog kratkog vremenskog intervala. Proučavanje biote pruža ne samo podatke o prošlim paleookruženjima, već i uvid u odgovor biljaka i životinja na dobro dokumentovane promjene u životnoj sredini. Od posebne je važnosti

evolucija roda *Homo* tokom pleistocena i izumiranje velikih sisara na kraju epohe.

Evolucija sisara uključivala je razvoj velikih oblika, od kojih su se mnogi prilagodili arktičkim uslovima. Među njima su bili vunasti mamut, vunasti nosorog, mošusni vo, los, sobovi i drugi koji su naseljavali hladna periglacialna područja. Veliki sisari koji su naseljavali umjerenije zone uključivali su slona, mastodonta, bizona, nilskog konja, divlju svinju, jelena, divovskog dabra, konja i prizemnog ljenjivca. Na evoluciju ovih, kao i mnogo manjih oblika, djelimično su uticala tri faktora: (1) hladnija, sušnija klima koja podliježe povremenim fluktuacijama, (2) novi migracioni putevi koji su uglavnom rezultat nastajanja međukontinentalnih veza tokom vremena nižeg nivoa mora i (3) promjenjiva geografija usljed uzdizanja visoravni i izdizanja planina.



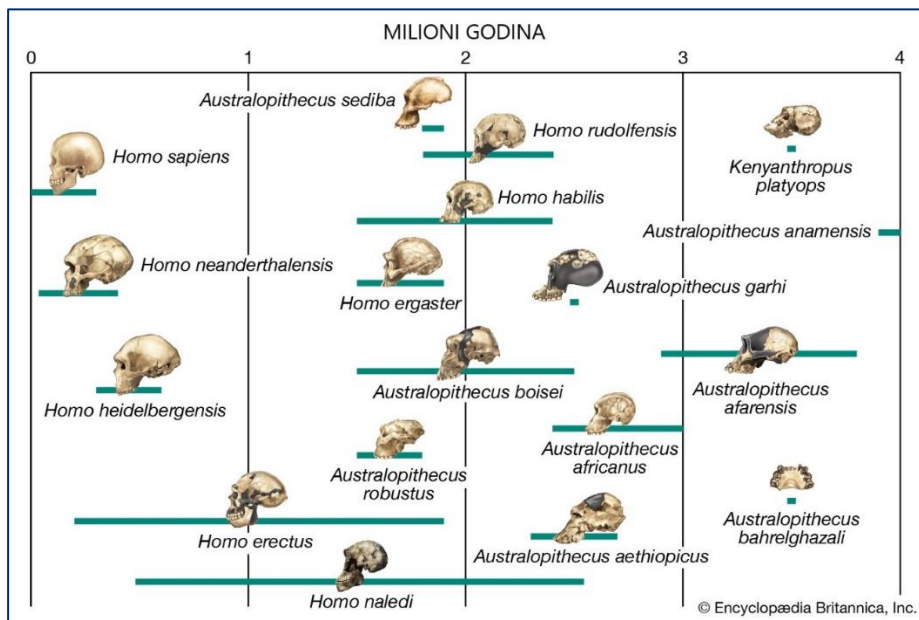
**Sl. 27 Pećinski medvjed
(*Ursus spaeleus*)**



**Sl. 28 Sabljozubi tigar
(*Smilodon* sp.)**

Najznačajniji biološki razvoj bio je pojava i evolucija roda *Homo*. Najstarija vrsta, *Homo habilis*, vjerovatno je nastala od pretka australopitekusa u kasnom pliocenu. Vrsta je bila prisutna u Africi prije 2 miliona godina, a poznata je s nalazišta starih samo 1,5 milion godina. Druga izumrla vrsta, *H. erectus*, evoluirala je u Africi, vjerovatno od *H. habilis*, a poznata je s nalazišta starih oko 1,6 miliona godina. *H. erectus* se proširio na druge dijelove Starog svijeta tokom ranog pleistocena, a poznat je iz sjeverne Kine i Jave prije otprilike milion godina. Predstavnici ove grupe poznati su s mnogih nalazišta i predstavljala su dominantnu ljudsku vrstu više od milion godina. Vrsta *H. sapiens*, kojoj pripadaju svi moderni ljudi, evoluirala je u kasnijem dijelu srednjeg pleistocena, a rani oblici vrste poznati su od prije oko 400 000 godina. Neandertalci, grupa usko povezanih hominina koji čine vrstu *H. neanderthalensis*, pojavili su se prije otprilike 100 000 godina tokom posljednje interglacijacije i poznati su s mnogih mjesta u Evropi i zapadnoj Aziji. Savremeni ljudi stigli su u Evropu prije otprilike 45 000 – 43 000 godina, a obje su se vrste preplitale na kontinentu najmanje

10 000 godina. Neandertalci su nestali prije otprilike 35 000 do 30 000 godina; do tada su se populacije s potpuno modernim kosturima razvile i raširile po cijelom Starom svijetu. Kada se moderni *H. sapiens* pojavio u Novom svijetu ostaje nepoznanca. Čini se da su potpuno evoluirani ljudi migrirali do Aljaske iz Sibira preko kopnenog mosta Beringija (kopno nastalo spuštanjem nivoa Beringovog mora) prije oko 30 000 godina, a veliki broj se vjerovatno kretao prema jugu niz kanadsku koridorsku zaravan između ledenih pokrova Kordiljera i Laurentida pri kraju posljednje glacijacije prije nekih 12 000 godina. Sukobljeni i neprihvaćeni dokazi na nekoliko nalazišta u Sjedinjenim Državama i na jugu Južne Amerike, međutim, sugerišu zauzimanje kontinentalne unutrašnjosti prije 30 000 godina. Ako su takvi nalazi validni, grupa ranijih imigranata možda je stigla malim okeanskim brodom s tihookeanskih ostrva.



Sl. 29 Mogući putevi u evoluciji ljudske loze

Promjena okruženja kao odgovor na klimatske promjene uzrokovala je drastične poremećaje faune i flore kako na kopnu tako i u okeanima. Ti su poremećaji bili najveći u blizini nekadašnjih ledenih pokrova koji su se pružali daleko na jug i uzrokovali pomicanje klimatskih i vegetacijskih zona na jug. U umjerenim zonama srednje Evrope i Sjedinjenih Država, gdje danas postoje listopadne šume, vegetacija je bila otvorena i najviše je podsjećala na sjevernu tundru, s travama, zeljastim biljkama i malo drveća tokom lednjačkih intervala. Južnije, široko područje borealnih šuma s različitim omjerima smrče i bora ili kombinacija oba proširilo se

gotovo do Mediterana u Evropi i sjeverne Luizijane u Sjevernoj Americi. Sukcesija vegetacije dokumentovana je istraživanjima fosilnog polena, koji se iz godine u godinu nakupljao s ostalim sedimentima u jezerima i močvarama. Iako se takve cvjetne migracije u konceptu čine jednostavnim, interpretacija vegetacijskog zapisa prilično je složena jer određeni broj glacijalnih polenskih grupa nema savremene analoge - tj. oni sadrže mješavine oblika iz različitih današnjih klimatskih okruženja. Slični se odnosi događaju i s faunama kičmenjaka: umjereniji oblici obično se javljaju zajedno s više arktičkih oblika. Takve neujednačene faune sugerišu da su klimatske prilike tokom glacijala, kao i uslovi staništa u nekim slučajevima bili potpuno različiti od onih u bilo kojem modernom okruženju. Jedno od objašnjenja je da su klimatski uslovi možda bili ujednačeniji za vrijeme glacijala bez sezonskih ekstreme moderne klime u takvim područjima. Iako su ukupne temperature bile znatno niže, ljeta su vjerovatno bila puno hladnija zbog uticaja ledene kalote, a zime, osim vrlo blizu ivice leda, nisu imale jake hladnoće, jer je ledena ploča činila prepreku arktičkim vazдушnim masama koje danas donose uslove smrzavanja daleko na jug. Dakle, biljke i životinje čiji bi geografski raspon obično kontrolisali bilo ekstremni sezonski topli ili hladni uslovi mogli su koegzistirati tokom ledenih vremena, a značajna reorganizacija zajednice dogodila se kao odgovor na klimatske promjene tokom i nakon glacijacije.

Slični odgovori na promjenu okruženja dobro su poznati iz života u okeanima. Zajednice morskih organizama se formiraju u zavisnosti od temperature, dubine i slanosti vode u kojoj žive. Analize sukcesivnih smjena na osnovu fosilnih nalaza iz dubokomorskih taloga omogućavaju detaljne rekonstrukcije okeanskih uslova za kasni pleistocen. Planktonske foraminifere najkorisnije su za određivanje uslova morske površine, a promjene u raspodjeli polarnih, subpolarnih, suptropskih i tropskih fauna korištene su za mapiranje promjenjivih okeanskih uslova. Promjene u sjevernom Atlantskom okeanu bile su najdramatičnije zbog direktnog uticaja ledenih pokrivača na zapadu, sjeveru i istoku. Tokom epizoda glacijacije, polarne faune širile su se prema jugu do oko 45° sjeverne geografske širine, dok su se tokom interglacijacija te faune javljale uglavnom sjeverno od 70°, a suptropske faune širile su se daleko na sjever pod uticajem Golske struje.

Kraj pleistocena obilježio je izumiranje mnogih rodova velikih sisara, uključujući mamute, mastodonte, prizemne ljenjivce i divovske dabrove. Događaj izumiranja najizrazitiji je u Sjevernoj Americi, gdje su 32 roda velikih sisara nestala tokom razdoblja od oko 2 000 godina, u periodu prije

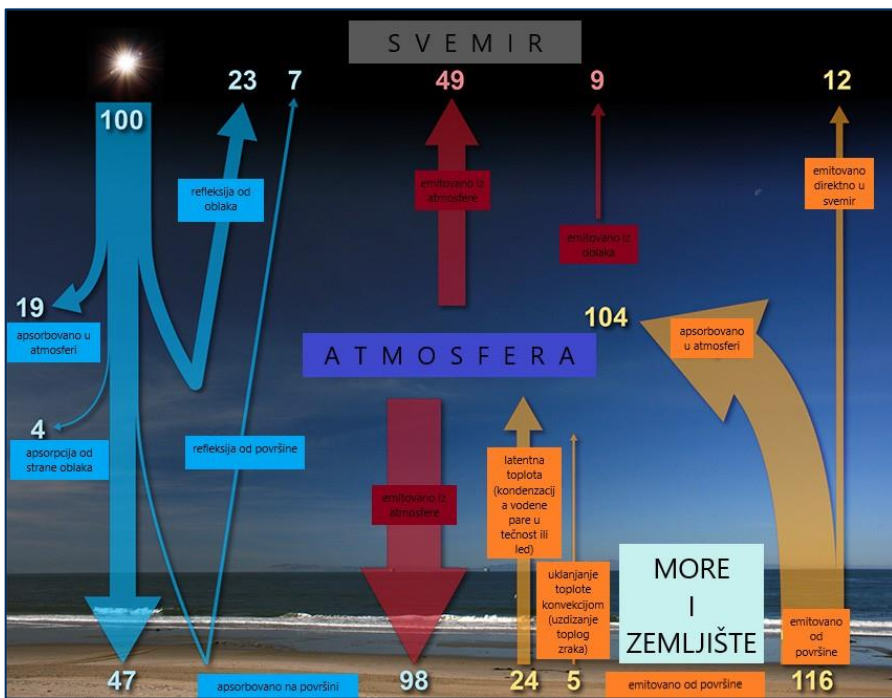
oko 11 000 godina. Na ostalim kontinentima nestalo je manje rodova, a izumiranja su se širila kroz nešto duži vremenski raspon. Osim na ostrvima, mali sisari, zajedno s gmizavcima i vodozemcima, uglavnom nisu bili zahvaćeni ekstinkcijom. O uzrocima izumiranja postoje različite teorije među kojima se dvije hipoteze izdvajaju: (1) izumiranja su rezultat pretjeranog ljudskog lova; i (2) bili su rezultat naglih klimatskih i vegetacijskih promjena tokom posljednjeg glacijalno-interglacijalnog prelaza.

Kraj ledenih doba karakteriše povećanje temperature i povlačenje glečera i ledenog pokrivača. Uz ta dva procesa takođe dolazi do podizanja nivoa mora i nastajanja ostrva i zaliva. Danas se uzima da se završetak poslednjeg ledenog doba odigrao otprilike 10 000 godina prije nove ere. Tada se led povukao u svoje sadašnje granice i formirali su se klimatsko-vegetacijski pojasevi kakve danas poznajemo. Nakon pleistocena nastupio je holocen u kojem i danas živimo.

KLIMATSKI SISTEM

Klima je glavni faktor koji naj snažnije upravlja globalnom distribucijom terestričnih bioma. Biomi su raspoređeni prema klimatskim zonama, a sama klima planete formira se zahvaljujući interakciji atmosfere, okeana i kopna.

Zemljin klimatski sistem zavisi od energije Sunca. Kako je Sunce veoma vrelo (6 000 °C), emituje najviše energije kao visokoenergetsko kratkotalasno zračenje s talasnim dužinama od 0,2–4,0 mm (označeno plavim strelicama na slici energetske balansa Zemlje). Sunčevo zračenje uključuje ultraljubičasto (UV; 8%), vidljivo (39%) i infracrveno (53%) zračenje. U prosjeku se oko 30% dolaznog zračenja reflektuje nazad u svemir zbog refleksije od oblaka (16%), molekula vazduha, prašine i izmaglice (6%) i Zemljine površine (7%). Ozon u gornjoj atmosferi i oblaci i vodena para u donjoj atmosferi apsorbiraju još 23% dolaznog zračenja. Preostalih 47% dopire do površine Zemlje kao direktno ili difuzno zračenje i tamo se apsorbira.



Sl.30 Energetski balans Zemlje

Zemlja takođe emituje zračenje, ali, zbog niže temperature površine (oko 15 °C), emituje najviše energije kao niskoenergetsko dugotalasno zračenje. Radijacijski aktivni gasovi atmosfere (vodena para, CO₂, CH₄,

N_2O i industrijski proizvodi poput hlorofluorouglenika [CFC]) apsorbuju 90% terestričnog (odlaznog dugotalasnog) zračenja, dok preostalih oko 10% terestričnog zračenja odlazi u svemir. Energija koju apsorbuju aktivni gasovi u atmosferi reflektuje se u svim pravcima, pri čemu dio koji je usmjeren nazad prema površini Zemlje doprinosi zagrijavanju planete, odnosno fenomenu poznatom kao efekat staklene bašte. Zahvaljujući efektu staklene bašte moguć je život na Zemlji. Bez njega bi prosječna temperatura površine planete bila značajno niža, za oko $33\text{ }^\circ\text{C}$, te bi život bio moguć u hidrotermalnim izvorima.

Zemlja se obično nalazi u stanju radijacione ravnoteže, što podrazumijeva da u vazduh emituje toliko energije, koliko apsorbuje. Međutim, antropogene aktivnosti mijenjaju sastav atmosfere usljed čega se povećava toplota koju zadržava planeta. Pod pretpostavkom ravnoteže, dugotalasno zračenje emitovano u svemir mora biti jednako zbiru Sunčevog zračenja koje apsorbuju i površina i atmosfera. Atmosfera se zagrijava dugotalasnom apsorpcijom radijaciono aktivnih gasova i apsorpcijom dolazećeg (kratkotalasnog) Sunčevog zračenja; takođe se zagrijava sa površine neradijacionim fluksima toplote, koji se prenose prema gore atmosferskom turbulencijom (miješanjem). To uključuje latentni toplotni tok, gde se toplota koja isparava vodu na površini naknadno oslobađa u atmosferu kako se vazdušne mase dižu i hlade, a vodena para kondenzuje, formirajući oblake i padavine. Prisutan je i prenos toplote prema gore, koji se sprovodi od tople površine do vazduha neposredno iznad nje, a zatim se kreće prema gore konvekcijom atmosfere kao termički tok. Ovi izvori toplote kolektivno održavaju dugotalasnu emisiju u svemir, kao i veliki tok dugotalasnog zračenja iz nižih slojeva atmosfere nazad na Zemljinu površinu. Ovo povratno zračenje na površinu predstavlja prirodni efekat staklene bašte.

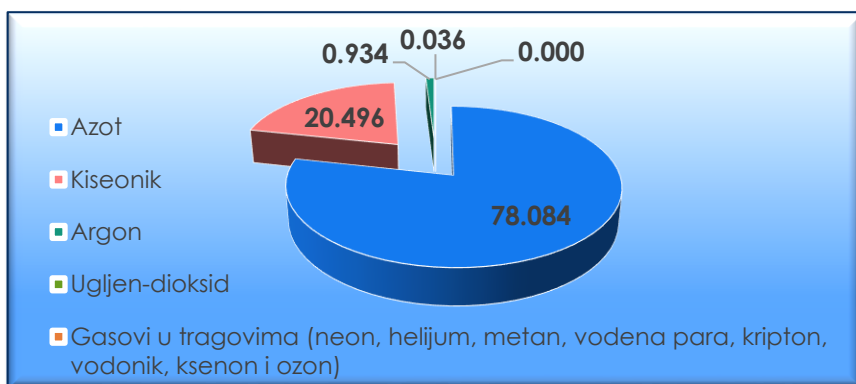
Koncentracije atmosferskih gasova zarobljenih u ledeničkom ledu ukazuju na velika povećanja glavnih radijaciono aktivnih gasova (CO , CH_4 , NO_2 i CFC) od početka industrijske revolucije prije 250 godina. Ljudske aktivnosti poput spaljivanja fosilnih goriva, industrijske aktivnosti, stočarstvo i savremena poljoprivreda doprinose ovim porastima. Kako koncentracije radijaciono aktivnih gasova rastu, atmosfera zarobljava više dugotalasnog zračenja koja emituje Zemlja, pojačavajući efekat staklenika i povećavajući površinsku temperaturu vazduha Zemlje. Sve to dovodi do nastanka neravnoteže u radijacijskim tokovima, pri čemu se većina viška energije apsorbuje u okeanu, što dovodi do širenja vode i rasta nivoa mora, a samo zagrijavanje uzrokuje otapanja lednika i ledenih ploča na kopnu, kao i arktičkog morskog leda.

Uticaj atmosfere na klimu Zemlje

Hemijski sastav atmosfere određuje njezinu ulogu u energetsom bilansu Zemlje. Atmosfera sadrži hiljade različitih hemijskih jedinjenja u obliku gasova i čestica, podvrgavajući se sporim i brzim reakcijama, rastvaranju i taloženju. Te reakcije kontrolišu sastav atmosfere i mnoge njene fizičke procese, poput stvaranja oblaka i apsorpcije energije. Grijanje i hlađenje atmosfere, zajedno sa neravnomjernom raspodjelom Sunčevog zračenja, generišu dinamička kretanja ključna za preraspodjelu energije, što rezultuje regionalnim klimatskim razlikama.

Više od 99,9% suve Zemljine atmosfere sastoji se od azota (78,08%), kiseonika (20,95%) i argona (0,93%). Ugljen-dioksid (CO_2), čini samo 0,036% (po mnogim autorima danas i 0,039%) atmosfere. Ovakav sastav atmosfere je prilično stabilan do 80 km visine iznad površine Zemlje, zahvaljujući inertnosti većine njenih gasova. Njihovo srednje vrijeme zadržavanja u atmosferi iznosi od nekoliko desetina godina (kiseonik) do nekoliko miliona godina (azot). S druge strane, radijaciono aktivni gasovi, poput CO_2 , azotnog oksida (N_2O), metana (CH_4) i CFC-a, reaguju relativno sporo u atmosferi u kojoj se zadržavaju godinama i decenijama. Ostali gasovi su mnogo reaktivniji i zadržavaju se od nekoliko dana do nekoliko mjeseci. Visoko reaktivni gasovi čine manje od 0,001% suvog volumena atmosfere i prilično su različiti u vremenu i prostoru, intenzivno utiču na ekološke sisteme svojom ulogom u isporuci hranjivih materija, smogu, kiselim kišama i oštećenju ozona. Vodena para je takođe prilično reaktivna i vrlo je varijabilna, i sezonski i prostorno.

Interesantno je da ugljen-dioksid, iako ima relativno kratko vrijeme

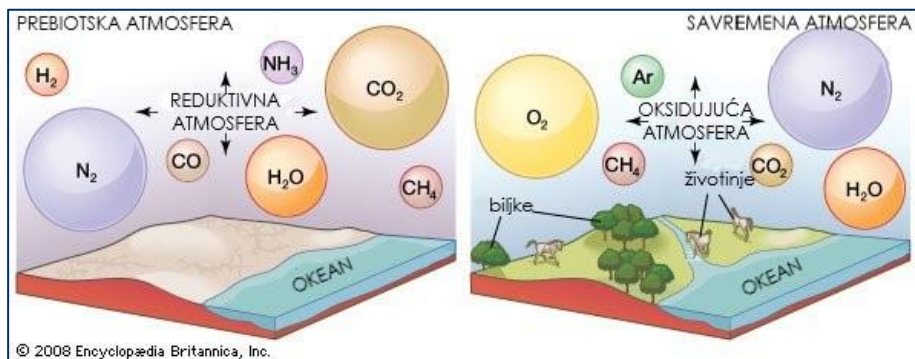


Sl. 31 Grafički prikaz hemijskog sastava atmosfere (%)

zadržavanja u atmosferi (oko pet godina) ne nestaje apsorpcijom okeana ili biosfere. Kako se između površine okeana i atmosfere odvija stalna

razmjena gasova i ugljen-dioksid učestvuje u njoj. Prema mnogim autorima, čak i kada bi se u potpunosti obustavila emisija sagorijevanjem fosilnih goriva, višak ugljen-dioksida bi u velikom procentu ostao u atmosferi hiljadama godina, konstantno utičući na povećanje prosječne godišnje temperature.

Neki atmosferski gasovi su važni za život. Fotosintetski organizmi koriste ugljen-dioksid u prisutnosti svjetlosti da bi proizveli organske materije, koje u pravilu postaju osnovni izvor hrane za gotovo sve životinje i mikroorganizme, pri čemu otpuštaju u atmosferu kiseonik, neophodan za život svih aerobnih organizama. Azot (N_2) čini 78% atmosfere. Nedostupan je većini organizama, ali ga bakterije azotofiksatori pretvaraju u biološki dostupan azot koji na kraju svi organizmi koriste za izgradnju proteina. Ostali gasovi, kao što su ugljen-monoksid (CO), azotni oksidi (NO i N_2O), metan (CH_4) i isparljiva organska jedinjenja ugljenika (terpen i izopren), proizvodi su biljnog i mikrobnog djelovanja. Neki se, poput troposferskog ozona (O_3), hemijski proizvode u atmosferi kao proizvodi hemijskih ili fotohemijskih reakcija koje uključuju i biogene (biološki proizvedene) i antropogene gasove, a mogu, u velikoj koncentraciji, oštetiti biljke,

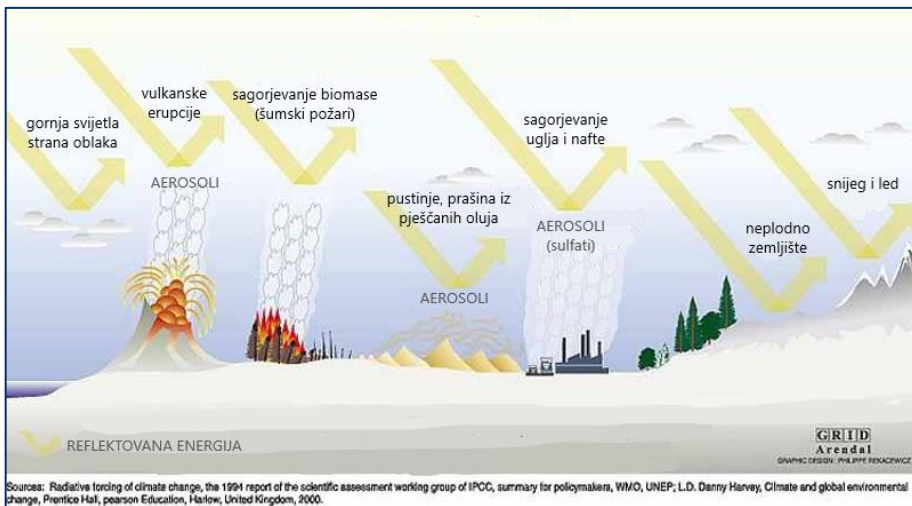


Sl. 32 Sastav pra- i savremene atmosfere

Prije nego što je život započeo na planeti, Zemljinu atmosferu uglavnom su činili gasovi azota i ugljen-dioksida. Nakon što su se fotosintetski organizmi umnožili na površini Zemlje i u okeanima, velik dio ugljen-dioksida zamijenjen je kiseonikom.

mikroorganizme i ljude. Atmosfera takođe sadrži aerosole, koji su male čvrste ili tečne čestice suspendovane u vazduhu. Neke čestice aerosola nastaju usljed erupcija vulkana i podizanja prašine i morske soli. Drugi nastaju reakcijama sa gasovima iz izvora zagađenja i sagorijevanjem biomase. Neki aerosoli djeluju kao jezgre za kondenzaciju oblaka oko kojih se vodena para kondenzuje stvarajući kapljice. Aerosoli, zajedno sa gasovima i oblacima ali i karakteristikama površine planete, određuju reflektivnost (albedo) planete i stoga vrše veliku kontrolu nad energetskim

bilansom, a time i klimom. Zahvaljujući nekim aerosolima dolazi do refleksije dolazećeg kratkotalnog zračenja, čime se smanjuje zračenje koje dolazi do Zemljine površine i hladi klima (npr. sumpor-dioksid emitovan vulkanskim erupcijama). Oblaci imaju složene efekte na bilans zračenja Zemlje. Svi oblaci imaju visok albedo i stoga reflektuju mnogo više dolazećeg kratkotalnog zračenja nego tamnija površina Zemlje, čime odbijaju dolaznu energiju nazad u svemir i smanjuju zagrijavanje planete. Oblaci su, međutim, sastavljeni od kapljica vode i kristala leda, koji vrlo efikasno apsorbiraju i reemituju dugotalasno zračenje Zemljine površine, što proizvodi efekat zagrijavanja, sprečavanjem odlaska energije u svemir. Ravnoteža ova dva efekta ovisi o mnogim faktorima, uključujući vrstu oblaka, temperaturu, debljinu i visinu (refleksija kratkotalnog zračenja dominira u visokim oblacima, a apsorpcija i reemisija dugotalasnog zračenja u niskim oblacima). Iako oblaci imaju globalni efekat hlađenja smanjenjem solarnog unosa, oni imaju neto efekat zagrijavanja na Arktiku i Antarktiku, gdje prevladavaju gubici toplote.

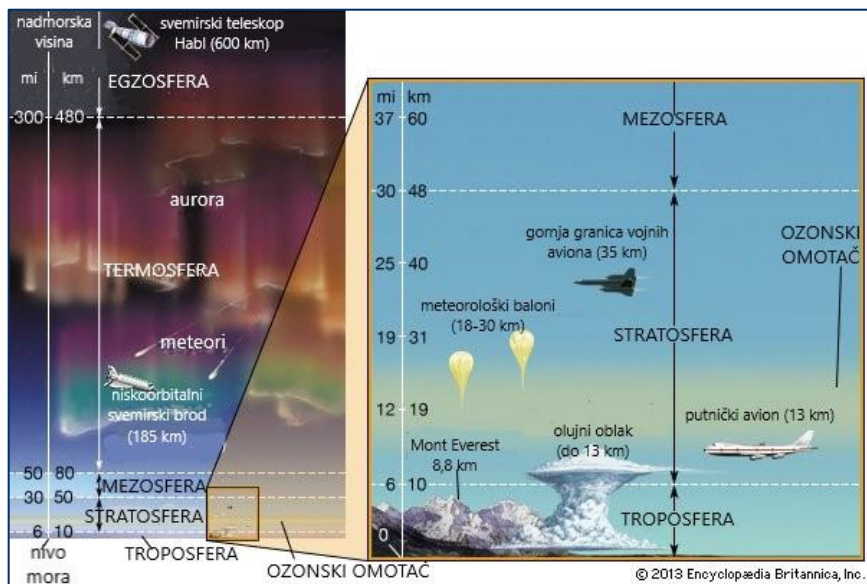


Sl. 33 Faktori hlađenja atmosfere

Atmosferski pritisak i gustina opadaju sa visinom iznad Zemljine površine. Na vertikalnoj strukturi atmosfere uočavaju se četiri relativno različita sloja, koja se odlikuju svojim temperaturnim profilima. Atmosfera je vrlo stisnuta, a gravitacija drži veći dio mase atmosfere blizu Zemljine površine. Pritisak, koji je povezan sa masom atmosfere, logaritamski opada s visinom, kao i gustina vazduha.

Najdonji i najgušći sloj (oko 75% ukupne mase) atmosfere se označava kao **troposfera**. Troposfera je najtanja u polarnim krajevima (oko 8 km), a

najdeblja na ekvatoru (oko 16 km). Zagrijava se prvenstveno s dna znatnim i latentnim toplotnim tokovima i dugotalasnim zračenjem sa Zemljine površine. Budući da se vazduh zagrijan na površini hladi kako raste i širi se, temperatura opada s visinom, a vjetrovi jačaju. Iznad troposfere nalazi se **stratosfera**, koju od troposfere odvaja **tropopauza**. Tropopauza se javlja na visini od oko 16 km u tropskim krajevima, gdje su temperature u troposferi najviše, odnosno gdje pritisak najsporije opada s visinom, te na oko 9 km u polarnim područjima, gdje su temperature u troposferi najniže. Visina tropopauze varira sezonski, a zimi je niža nego ljeti. Apsorpcija UV zračenja ozonom (O_3) u gornjoj stratosferi zagrijava vazduh, pa se za razliku od troposfere, stratosfera zagrijava od vrha, što rezultuje porastom temperature s visinom. Ozon je najviše koncentrisan u gornjoj stratosferi zbog ravnoteže između dostupnosti kratkotalnog UV zračenja potrebnog za razdvajanje molekula O_2 u atomski O i dovoljno velike gustine molekula da se postignu potrebni sudari između atomskog O i molekularnog O_2 da se formira O_3 . Ozonski omotač štiti živi svijet na površini Zemlje od UV zračenja. Biološki sistemi vrlo su osjetljivi na UV zračenje, jer oštećuje DNK. Koncentracija ozona u stratosferi opada zbog proizvodnje i emisije hlorofluorouglenovodonika (CFC) koji uništavaju stratosferski ozon, posebno na polovima.



Sl. 34 Atmosfera – vertikalna struktura

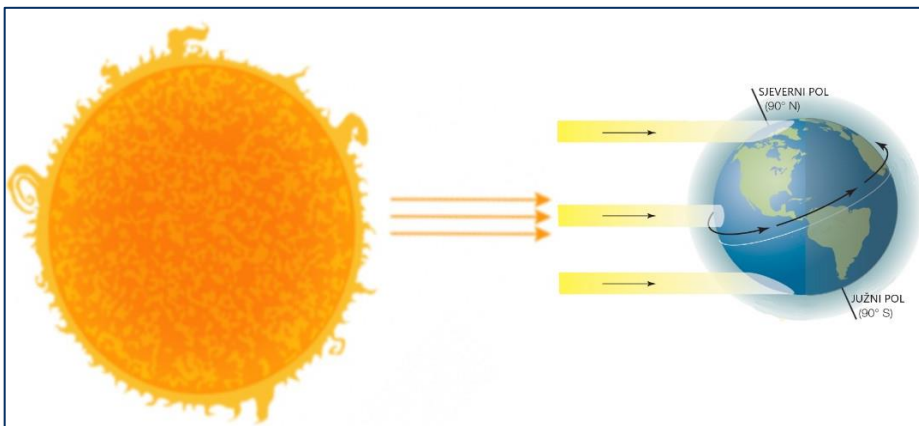
To rezultuje ozonskim "rupama", regijama u kojima je pojačan prenos UV zračenja na površinu Zemlje. Budući da je južna polarna regija hladnija i ima više stratosferskih oblaka u kojima se javljaju reakcije uništavanja ozona, ozonska rupa nad Antarktikom mnogo je veća od svog arktičkog

pandana. Polako miješanje između troposfere i stratosfere omogućava CFC-ima i drugim jedinjenjima da dođu i akumuliraju se u stratosferi bogatoj ozonom, gdje imaju dugo vrijeme boravka. U donjem sloju stratosfere duvaju snažni vjetrovi, a temperatura je stabilna, da bi u gornjem sloju rasla do maksimuma u **stropopauzi**, iznad koje je **mezosfera**, gdje se temperatura opet smanjuje s visinom. Najgornji sloj atmosfere, **termosfera**, započinje na približno 80 km i proteže se u svemir. Termosfera ima vrlo mali udio u ukupnoj masi atmosfere, sastoji se prvenstveno od atoma O i N koji mogu apsorbirati energiju izuzetno kratkih talasnih dužina, što opet uzrokuje povećanje zagrijavanja s visinom.

Troposfera je atmosferski sloj u kojem se javljaju grmljavinske oluje, snježne oluje, uragani i sistemi visokog i niskog pritiska, tako da je troposfera dio atmosfere koji direktno reaguje i utiče na procese ekosistema.

ATMOSFERSKA CIRKULACIJA

Zahvaljujući neravnomjernom solarnom zagrijavanju Zemljine površine nastaje cirkulacija atmosfere. Na ekvatoru su Sunčeve zrake gotovo okomite na površinu, dok pri nižim uglovima sunca karakterističnim za velike geografske širine, Sunčeve zrake se šire na većoj površini, što rezultuje manjim primanjem zračenja po jedinici površine tla.



Sl. 35 Sunčevo zagrijavanje Zemljine površine

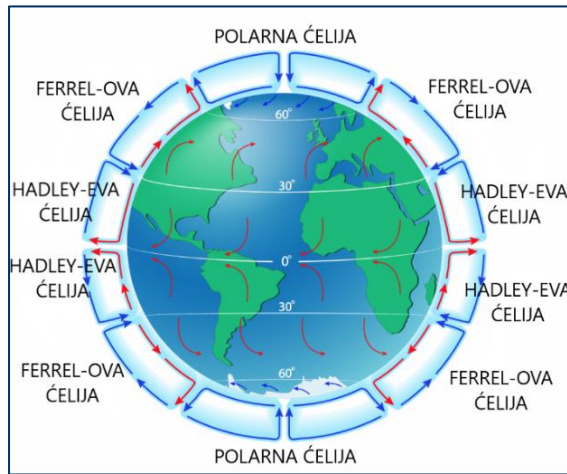
Pored toga, Sunčeve zrake imaju duži put kroz atmosferu na velikim geografskim širinama, pa se više dolazećeg Sunčevog zračenja apsorbira, odbija ili raspršuje prije nego što stigne na površinu. Usljed nejednakog zagrijavanja Zemlje nastaje viša troposferska temperatura u tropskim krajevima nego na polovima, što pokreće atmosfersku cirkulaciju i prenosi atmosfersku toplotu prema polovima. Kao posljedica

toga, ulaz Sunčevog zračenja prevazilazi dugotalasni gubitak zračenja u svemir u tropskim krajevima, dok dugotalasni gubitak zračenja premašuje solarni ulaz na umjerenim i velikim širinama.

Atmosferska cirkulacija ima i vertikalnu i horizontalnu komponentu. Površinsko zagrijavanje uzrokuje da se površinski vazduh širi i postaje manje gust od okolnog, pa se podiže. Kako se vazduh podiže, smanjenje atmosferskog pritiska sa visinom uzrokuje kontinuirano širenje, što smanjuje prosječnu kinetičku energiju molekula vazduha, pa se vazduh u usponu hladi. Hlađenje uzrokuje kondenzaciju i padavine, jer hladni vazduh ima manju sposobnost zadržavanja vodene pare od toplog vazduha. Kondenzacija, zauzvrat, oslobađa latentnu toplotu, što može dovesti do toga da vazduh u usponu ostaje topliji od vazduha u okruženju, pa nastavlja da se diže. Prosječna brzina otpuštanja (brzina pri kojoj se temperatura vazduha smanjuje sa visinom) varira regionalno u zavisnosti od jačine površinskog zagrijavanja i sadržaja vlage u atmosferi, ali u prosjeku iznosi oko 6,5 °C/km. Površinski vazduh se najснаžnije diže na ekvatoru zbog intenzivnog ekvatorijalnog zagrijavanja i velike količine latentne toplote koja se oslobađa dok se ovaj vlažni tropski vazduh podiže, širi, hladi i oslobađa toplotu kondenzacijom vodene pare. Ovaj vazduh se često podiže dok ne dostigne tropopauzu. Kretanje i širenje ekvatorijalnog vazduha nagore takođe stvara horizontalni gradijent pritiska, koji uzrokuje da ekvatorski vazduh u visinu teče horizontalno od ekvatora prema polovima. Ovaj vazduh, koji se kreće u smjeru prema polovima, hladi se kako emisijom dugotalasnog zračenja u svemir, tako i miješanjem sa hladnim vazduhom koji se kreće prema ekvatoru sa polova. Pored toga, tropski vazduh konvergira u manju zapreminu dok se kreće prema polovima, jer se radijus i površina Zemlje smanjuju od ekvatora prema polovima. Zahvaljujući hlađenju vazduha i njegovoj konvergenciji u manju zapreminu, gustina vazduha se povećava, stvarajući visok pritisak koji dovodi do popuštanja i zagrijavanja gornjeg vazduha. Subtropske zone visokog pritiska obično imaju vedro nebo; rezultujući visok unos Sunčevog zračenja pokreće obilno isparavanje. Ovaj vlažni subtropski površinski vazduh kreće se natrag prema ekvatoru da zamijeni uzdižući ekvatorski vazduh.

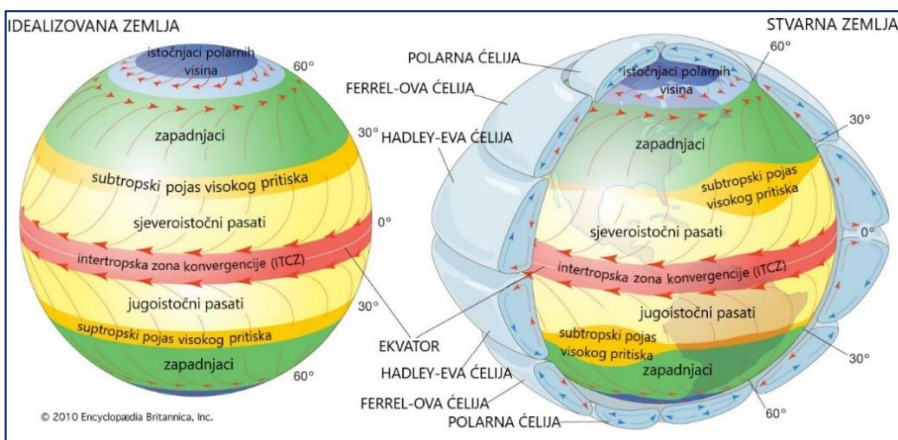
TERESTRIČNA EKOLOGIJA

Globalna atmosferska cirkulacija se može podijeliti na nekoliko kružnih tokova za koje su zaslužne tri ćelije. Hadley-eva ćelija nastaje na ekvatoru, a pokreće se širenjem i uzdizanjem ekvatorijalnog vazduha i slijeganjem hladnog gustog subtropskog vazduha i uzrokuje nastanak kružne cirkulacije tropske vazdušne mase između ekvatora i 30° sjeverne i južne geografske širine. Polarna ćelija pokreće se slijeganjem hladnog vazduha koji se konverguje na polovima, zahvatajući vazdušnu masu između 60° sjeverne i južne geografske širine i polova. Ferrell-ova ćelija, smještena između Hadley-eve i polarne, pokreće se indirektno dinamičkim procesima, pri čemu kružno kretanje (vrtlozi) ovih vremenskih sistema srednje geografske širine proizvodi neto prenos toplote prema polovima. U pitanju je kružna cirkulacija umjerene vazdušne mase između 30° i 60° sjeverne i južne geografske širine.



Sl. 36 Model globalne atmosferske cirkulacije

se slijeganjem hladnog vazduha koji se konverguje na polovima, zahvatajući vazdušnu masu između 60° sjeverne i južne geografske širine i polova. Ferrell-ova ćelija, smještena između Hadley-eve i polarne, pokreće se indirektno dinamičkim procesima, pri čemu kružno kretanje (vrtlozi) ovih vremenskih sistema srednje geografske širine proizvodi neto prenos toplote prema polovima. U pitanju je kružna cirkulacija umjerene vazdušne mase između 30° i 60° sjeverne i južne geografske širine.



Sl. 37 Model cirkulacije atmosfere idealne i realne Zemlje

Zemljina rotacija uzrokuje da vjetrovi skreću ka desno na sjevernoj i lijevo na južnoj hemisferi (Coriolis-ov efekat). Zahvaljujući Zemljinom sfernom obliku atmosfera je u ekvatorijalnim regijama dalje od Zemljine osi rotacije

nego atmosfera na višim geografskim širinama, tako da se vazdušne mase iznad ekvatora ne kreću istom brzinom kao one na većim geografskih širinama.

Interakcija vertikalnih i vodoravnih kretanja atmosfere stvara i određuje prevladavajuće vjetrove Zemlje. Smjer prevladavajućih vjetrova zavisi od toga kreće li se vazduh prema ekvatoru ili od njega. U tropskim krajevima površinski vazduh u Hadley-evoj ćeliji kreće se od 30° sjeverne i južne geografske širine prema ekvatoru, duvajući sa istoka, formirajući istočni trgovački vjetar, odnosno pasate. Regija u kojoj se površinski vazduh sa sjeverne i južne hemisfere konverguje naziva se intertropska zona konvergencije (ITCZ). Ovdje izdižući vazduh stvara zonu s laganim vjetrovima i visokom vlagom, poznatim ranim mornarima kao "mrtvački svijet". Vazduh koji se spušta u niže slojeve na 30° sjeverne i južne geografske širine takođe proizvodi relativno lagane vjetrove, poznate kao vjetrovi konjske širine (između 30 i 35°). Površinski vazduh koji se kreće prema polu od 30° do 60° sjeverne i južne geografske širine formira zapadne vjetrove. Na granicama između glavnih ćelija atmosferske cirkulacije, relativno oštri gradijenti temperature i pritiska, stvaraju jake vjetrove, subtropske i polarne mlazove, u širokom rasponu visina u gornjoj troposferi. Lokacije ITCZ-a i svake cirkulacione ćelije mijenjaju se sezonski, jer zona maksimalnog unosa Sunčevog zračenja varira od ljeta do zime zbog nagiba Zemlje od 23,5° u odnosu na ravninu njene orbite oko Sunca. Sezonske promjene u položaju ovih ćelija doprinose sezonalnosti klime.

Neravnomjerna raspodjela kopna i okeana na Zemljinoj površini stvara neravnomjeran obrazac zagrijavanja koji modifikuje globalnu cirkulaciju atmosfere. Na 30° sjeverne i južne geografske širine vazduh se snažnije spušta preko hladnog okeana nego preko relativno toplog kopna, jer je vazduh hladniji i gušći nad okeanom nego nad kopnom. Veće slijeganje iznad okeana stvara zone visokog pritiska iznad Atlantika i Tihog okeana i iznad Južnog okeana. Kako se na 60° geografske širine razlikuje odnos kopno-okean na sjevernoj i južnoj polulopti, vazduh u usponu stvara polutrajne zone niskog pritiska na sjevernoj polulopti i široke zone niskog pritiska na južnoj polulopti. Na pravac kretanja nastalih vjetrova utiče zemljina rotacija, kao i raspored kopna i mora, pri čemu planinski masivi sjeverne polulopte remete globalnu cirkulaciju atmosfere. Planetarni talasi, nastali izmjenom smjera vjetra usljed fizičkih pregrada (planinski masivi) i distribucija glavnih centara visokog i niskog pritiska objašnjavaju mnoge detalje horizontalnog kretanja u atmosferi, a time i obrasce distribucije različitih ekosistema.

Uticaj okeana na klimu Zemlje

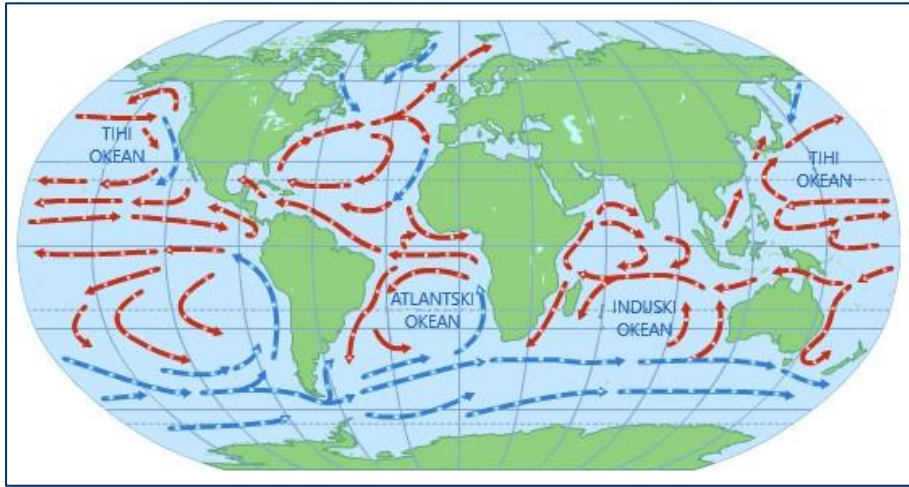
Svjetski okean jedan je od glavnih sastojaka klimatskog sistema i utiče na klimu na mnogo načina. Njegova veličina je očigledna: 71% Zemlje prekriveno je okeanom, tako da većina Sunčevog zračenja primljenog na površini Zemlje odlazi u okean i zagrijava površinske vode. Kao rezultat toplotnog kapaciteta i cirkulacije, okean ima sposobnost i skladištenja i preraspodjele te toplote prije nego što je otpusti u atmosferu (veći dio u obliku latentne toplote, odnosno vodene pare) ili reemituje nazad u svemir.

Okeanske struje slične su vjetrovima u atmosferi po tome što prenose značajne količine toplote iz ekvatorijalnih područja Zemlje na polove i tako igraju važnu ulogu u određivanju klime u priobalnim regijama. Pored toga, okeanske struje i atmosferska cirkulacija utiču jedni na druge.

Kao i kod atmosfere i kod okeana je prisutna prilično stabilna vertikalna (termalna) stratifikacija. Međutim, postoje dvije značajne razlike između atmosfere i okeana. Atmosfera se prvenstveno zagrijava s dna, od aktivnih asorpcionih površina Zemlje, dok Sunce zagrijava okean s vrha. Budući da je topla voda manje gusta od hladne, okean održava prilično stabilne slojeve koji se ne miješaju lako. Druga velika razlika između atmosferske i okeanske cirkulacije je ta što gustinu okeanskih voda određuju i temperatura i slanost, pa za razliku od toplog vazduha, topla voda može potonuti, ako je dovoljno slana.

Na vertikalnoj stratifikaciji okeana uočavaju se relativno oštri gradijenti temperature, slanosti i gustine vode. **Termoklina** (razdvaja površinski sloj tople vode od dubljih slojeva niže temperature), **haloklina** (sloj nagle promjene saliniteta; salinitet opada na dubinama 100-500 m) i **piknoklina** (sloj nagle promjene gustine; odvaja površinski sloj manje gustine od pridnenoga sloja veće gustine) se nalaze na srednjim dubinama (200–1000 m), često se podudarajući i generišući relativno stabilnu vertikalnu slojevitost okeanske vode. Duboki sloj se, iz tog razloga, polako miješa sa površinskim vodama tokom stotina hiljada godina. Međutim, dublji slojevi ipak igraju ključnu ulogu u ciklusu elemenata, produktivnosti i klimi, jer su dugoročni rezervoari ugljenika i izvori nutrijenata za produkciju okeana.

Okeanska cirkulacija igra ključnu ulogu u klimatskom sistemu Zemlje. Učešće okeana i atmosfere u prenosu toplote je gotovo podjednako u tropskim krajevima, dok se na srednjim i višim geografskim širinama toplota prenosi prvenstveno atmosferskom cirkulacijom. Površinske struje okeana pokreću površinski vjetrovi, te i one pokazuju globalne obrasce generalno slične prevladavajućim površinskim vjetrovima.



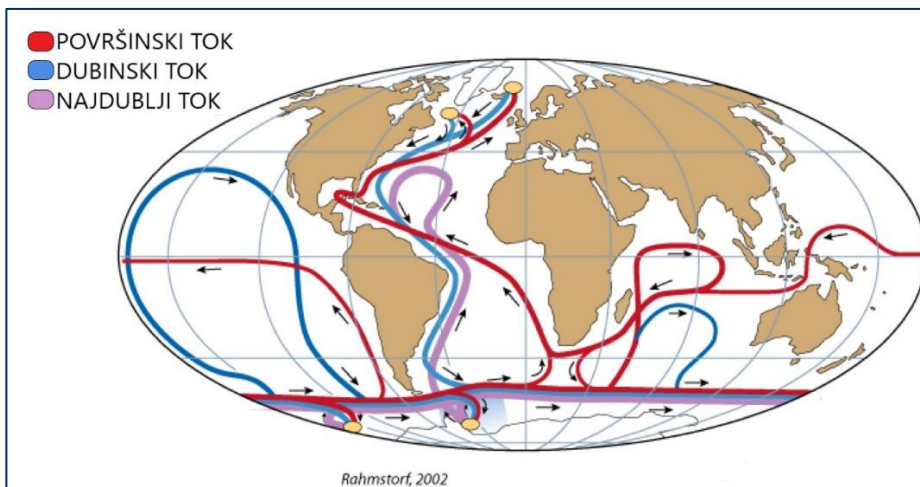
Sl. 38 Globalne površinske morske struje

(plave linije pokazuju hladne struje; crvene linije pokazuju tople struje)

Usljed Coriolis-ovog efekta morske struje su skrenute za 20-40° u odnosu na pravac vjetrova. Ovakvo skretanje i rubovi kontinenata za posljedicu imaju da su okeanske struje kružnije od vjetrova koji ih pokreću. U ekvatorijalnim regijama, morska struja teče od istoka prema zapadu, vođena istočnim pasatom, sve dok ne stigne na kontinente, gde se razdvaja i teče u poljima duž zapadnih granica okeana, noseći toplu tropsku vodu ka višim geografskim širinama. Na putu prema polovima, struje se skreću pomoću Coriolis-ovog efekta. Jednom kada voda dospije do visokih geografskih širina, dio se površinskim strujama vraća prema tropskim krajevima duž istočnih rubova okeanskih slivova, a preostala voda nastavlja prema polovima.

Dubokookeanske vode pokazuju sistem cirkulacije koji se sasvim razlikuje od površinske cirkulacije vođene vjetrom. U polarnim regijama, posebno zimi, pred južnim Grenlandom i pred Antarktikom, hladan vazduh hladi površinske vode, povećavajući njihovu gustinu. Stvaranje morskog leda, koje isključuje so iz kristala leda, povećava salinitet površinskih voda, povećavajući i njihovu gustinu, te one tonu. Ovo spuštanje pokreće globalnu termohalinu cirkulaciju u srednjem i dubokom okeanu, koja na kraju prenosi vodu među glavne okeanske bazene. Spuštanje hladne guste vode na visokim geografskim širinama uravnoteženo je usponom duboke vode na istočnim rubovima okeanskih bazena na nižim geografskim širinama, gdje se površinske struje uz obalu odbijaju od obale Coriolis-ovim efektom i istočnim pasatom. Zahvaljujući neto prenosu sjevernoatlantskih dubokih voda u druge okeanske bazene, posebno u istočni Tih i Indijski okean, duboke vode bogate fosforom izbijaju na

površinu, čime potrebni nutrijenti postaju dostupni autotrofnim organizmima. Neto kretanje toplih površinskih voda prema polovima uravnotežava kretanje hladne duboke vode prema ekvatoru. Promjene u snazi termohaline cirkulacije mogu imati značajne efekte na klimu zbog njene kontrole nad širinskim transportom toplote. Pored toga, termohalina cirkulacija prenosi ugljenik u dubinu, gde on ostaje vijekovima. U okeanskim dubinama je deponovana ogromna količina ugljen-dioksida, oko 50 puta veća od atmosferske, što utiče na efekat staklene bašte i globalno povećanje temperature.



Sl. 39 Termohalina cirkulacija svjetskog okeana

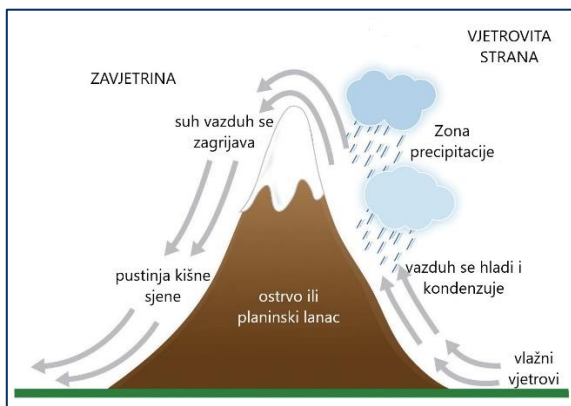
Okean se sa svojim velikim toplotnim kapacitetom zagrijava i hladi mnogo sporije od kopna i stoga ima umjeren uticaj na klimu susjednog kopna. Tople morske struje ublažavaju zimske temperature kopna kraj kojeg protiču, dok hladne morske struje hlade susjedne kopnene mase. Ove temperaturne razlike igraju kritičnu ulogu u određivanju distribucije različitih vrsta ekosistema širom svijeta.

Uticaj kopna na klimu

Prostorna raspodjela zemljišta, vode i planina modifikuje opšte klimatske trendove, karakteristične za određene geografske širine. Okean ima veći toplotni kapacitet što dovodi do kratkoročnih regionalnih i dugoročnih globalnih posljedica. Okean se tokom dana sporije zagrijava od kopna, a tokom ljeta i hladi sporije od kopna, utičući na atmosfersku cirkulaciju na lokalnim, kao i regionalnim skalama. Usljed različitog zagrijavanja okeana i kopna, na udaljenosti od nekoliko kilometara, stvaraju se vjetrovi sa kopna i mora. Tokom dana snažno zagrijavanje iznad kopna dovodi do uzdizanja toplog vazduha i uvlačenja prema kopnu hladnog vazduha

iznad okeana. Vazduh se nad kopnom nastavlja izdizati, dok ga vazdušni pritisak ne usmjeri sa kopna prema okeanu, pod uslovom da su vjetrovi velikih razmjera slabi. Pristigli vazduh nad okeanom povećava masu atmosfere podižući površinski pritisak, što uzrokuje protok površinskog vazduha iz okeana prema kopnu. Kao rezultat nastaje cirkulacijska ćelija, slična Hadley-evoj ćeliji, odnosno azijskim monsunima. Noću, kada je okean topliji od kopna, vazduh se podiže iznad okeana, a površinski povjetarac duva sa kopna na okean, preokrećući cirkulacijsku ćeliju. Neto učinak morskog povjetarca je smanjenje ekstreme temperature i povećanje padavina na kopnu u blizini okeana ili velikih jezera.

Veliki uticaj na lokalnu atmosfersku cirkulaciju i klimu imaju i planinski lanci.



Sl.40 Uticaj reljefa na padavine

Kako vjetrovi nose vazduh uz vjetrovite strane planina, vazduh se hladi, a vodena para se kondenzuje i taloži. Zbog toga je vjetrovita strana obično hladna i vlažna. Kada se vazduh kreće niz zavjetrinsku stranu planine, on se širi i zagrijava, povećavajući svoju sposobnost pijanja i zadržavanja

vode, što stvara kišnu sjenu, odnosno zonu slabih padavina u planinskim zavjetrinama. Pustinje ili stepe najčešće se nalaze odmah uz zavjetrinu glavnih svjetskih planinskih lanaca. Planinski sistemi utiču na klimu kanališući vjetrove kroz doline.

Nagib i ekspozicija predstavljaju značajne modifikatore klime, zahvaljujući kojima nastaju jedinstveni obrasci mikroklimi na skalama od mravinjaka do planinskih lanaca. Padine okrenute prema ekvatoru (južna ekspozicija na sjevernoj hemisferi i sjeverna ekspozicija na južnoj hemisferi) primaju više Sunčevog zračenja od suprotnih padina, stvarajući toplije i sušnije uslove. U hladnoj ili vlažnoj klimi, toplije mikro okruženje na padinama okrenutim prema ekvatoru pruža uslove koji poboljšavaju produktivnost, razgradnju i druge procese ekosistema, dok u suvim klimatskim zonama veća suša na tim padinama ograničava proizvodnju. Mikroklimatske varijacije povezane sa nagibom i ekspozicijom omogućavaju predstavnicima pojedinih ekosistema postojanje i stotine kilometara izvan glavne zone rasprostranjenosti. Ove populacije van uobičajenih zona

rasprostranjenosti predstavljaju važan izvor kolonizirajućih jedinki u vrijeme brzih klimatskih promjena, te imaju poseban značaj za razumijevanje migracije vrsta i dugoročnu dinamiku ekosistemskih promjena.

Kad se vazduh noću hladi, postaje gušći i teče nizbrdo u doline, gdje se akumulira, što može proizvesti temperaturne inverzije (hladan vazduh ispod toplog vazduha, vertikalni temperaturni profil obrnut od tipičnog obrasca u troposferi s padom temperature sa porastom nadmorske visine). Inverzije se javljaju prvenstveno noću i zimi, kada zagrijavanje od Sunca nije dovoljno da pospješi konvektivno miješanje. Oblaci također imaju tendenciju da inhibiraju stvaranje zimskih i noćnih inverzija, jer povećavaju dugotalasnu emisiju na površinu. Povećanje solarnog zagrijavanja ili vjetroviti uslovi razbijaju inverzije. Inverzije su klimatski važne, jer povećavaju sezonske i dnevne ekstreme temperature koje karakterišu ekosisteme u nizijskim područjima. U hladnoj klimi, inverzije uveliko smanjuju dužinu vegetacijske sezone bez mraza.

Uticaj vegetacije na klimu planete

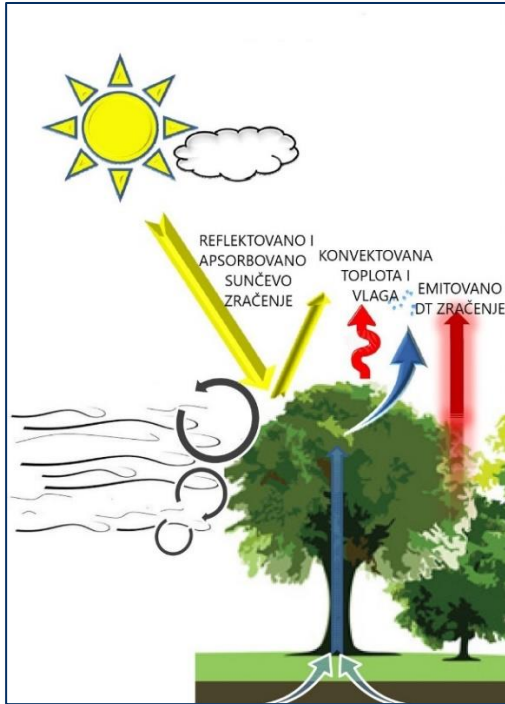
Vegetacija višestruko utiče na energetske balans Zemlje, što rezultuje izmjenom klime. Na klimu posebno utiče regionalna distribucija vegetacije, kao i sadržaj vode na površini Zemlje. Vrijednosti albeda se razlikuju za vodu i vegetaciju. Voda uglavnom ima nizak albedo, tako da jezera i okeani apsorbiraju značajnu količinu Sunčeve energije. Snijeg i led imaju visok albedo, pa apsorbiraju malo Sunčevog zračenja, čime doprinose održavanju hladnih uslova. Vegetacija ima srednje vrijednosti albeda, pri čemu su veće vrijednosti kod travnjaka, a smanjuju se preko listopadnih šuma do tamnih četinarskih šuma. Antropogena izmjena namjene zemljišta uticala je na izmjenu vrijednosti albeda i poremećaj Zemljinog energetskog bilansa. Albedo zemljišta zavisi od tipa tla i količine vlažnosti, ali je često veći kod vegetacije u suvoj klimi. Zbog toga prekomjerna paša često povećava albedo, smanjujući apsorpciju energije i prenos energije u atmosferu. To dovodi do hlađenja i slijeganja, pa morski povjetarac ne uvlači vlažni morski vazduh u unutrašnjost, što dalje dovodi do smanjenja količine padavina i sposobnosti vegetacije da se oporavi od prekomjerne paše.

Struktura ekosistema utiče na efikasnost kojom se turbulentni tokovi značajne i latentne toplote prenose u atmosferu. Prolazak vjetra preko visokih neravnih krošnji stvara mehaničke turbulencije koje povećavaju efikasnost prenosa toplote s površine u atmosferu. Za razliku od toga, glatke površine imaju tendenciju da se zagriju jer svoju toplotu prenose samo konvekcijom, a ne mehaničkom turbulencijom.

Efekti strukture vegetacije na efikasnost razmjene vode i energije utiču na regionalnu klimu. Oko 25–40% padavina u slivu Amazona dolazi iz vode koja se evapotranspiracijom reciklira sa kopna.

Promjene u albedu uzrokovane vegetacijskim promjenama mogu stvoriti pojačanu refleksiju Sunčevog zračenja. Na visokim geografskim širinama,

na primjer, pejzaži prekriveni drvećem apsorbiraju više Sunčevog zračenja prije topljenja snijega nego tundra prekrivena snijegom.



Sl. 41 Ilustracija fizičkih mehanizama kojima vegetacija direktno utiče na klimu

Albedo, raspodjela energije između latentnih i osjetljivih toplotnih tokova i površinska struktura također utiču na količinu dugotalasnog zračenja emitovanog u atmosferu. Dugotalasno zračenje zavisi od površinske temperature, koja ima tendenciju da bude visoka kada površina apsorbira velike količine dolazećeg zračenja (niski albedo), ima malo vode za isparavanje ili ima glatku površinu koja je neefikasna u prenošenju turbulentnog fluksa osjetne i latentne toplote na atmosferu.

Na primjer, pustinje imaju velike neto dugotalasne gubitke energije, jer njihove suve glatke površine dovode do visokih površinskih temperatura, pri čemu izostaje voda, čije bi isparavanje hladilo tlo.

Dugoročne klimatske promjene

Zemljina klima je dinamičan, promjenjiv sistem. Prema dostupnim podacima poznato je da se globalna klima Zemlje više puta mijenjala, ponekada i veoma naglo, uz drastične promjene uslova na kopnu i izmjene nivoa svjetskog mora. Klimatske promjene nastaju usljed promjena u raspodjeli solarnog unosa i promjena u sastavu atmosfere. Nagle promjene klime kroz istoriju planete bile su izazvane vulkanskim

erupcijama i uticajima atmosferskih tijela, tačnije meteorskim udarima, čije posljedice su dovele do izmjene u apsorpciji ili refleksiji Sunčevog zračenja. Postepene, dugoročne izmjene klime nastajale su pomijeranjem kontinentalnih ploča i izgradnjom i erozijom planinskih masiva, koji su modifikovali atmosfersku i okeansku cirkulaciju.

Međutim, osnovni uzročnik izmjena klimatskog sistema Zemlje je Sunce, čije se zračenje povećalo samim sazrijevanjem Sunca kao zvijezde zadnjih četiri milijarde godina. Raspodjela solarnog unosa varirala je prvenstveno zbog predvidljivih varijacija u Zemljinoj orbiti (nagibnog ugla ekliptike, ekscentriciteta Zemljine orbite i precesije Zemljine ose). Varijacije orbitalnih parametara se dešavaju periodično i u međusobnoj su interakciji, pri čemu nastaju ciklusi solarnog unosa, koji su u korelaciji sa glacijalnim i interglacijalnim ciklusima (ponoviti uzroke pojavljivanja ledenih doba).

Paleontološki zapisi klima ranijih razdoblja dobijeni su iz leda na polovima.



Sl. 42 Uzimanje uzoraka leda na Grenlandu

Danas se sa sigurnošću znaju osnovni klimatski karakteri zadnjih 800 000 godina. Utvrđeno je da su prošli događaji zagrijavanja bili povezani s porastom koncentracija CO_2 i CH_4 , pružajući posredne dokaze o prošloj ulozi radijaciono aktivnih gasova u klimatskim promjenama. Specifičnost nedavnih antropogenih povećanja ovih gasova je u tome što se oni javljaju u interglacijalnom periodu, kada je Zemljina klima već relativno topla. Prema postojećim dokazima uočava se da je koncentracija CO_2 u atmosferi sada viša nego bilo kada u posljednjih najmanje 800 000 godina. Takođe, uočeno je da su se ranije klimatske promjene, tačnije prelazi između glacijala i interglacijala u dosta slučajeva dešavali naglo, tokom decenija ili kraćih perioda, što se povezuje sa izmjenama u snazi termohaline cirkulacije, koja pokreće okeanski transport toplote od ekvatora do polova.

U ledenim jezgrama su sačuvani dokazi o sastavu drevne atmosfere. Postoje detaljni podaci o temperaturi vazduha za posljednjih 800 000 godina. Prema podacima dobijenim iz jezgri iz okeana uočava se kako

su se temperature vazduha i globalna zapremina leda mijenjale milionima godina.

Karakteristike klime iz prošlosti mogu se rekonstruisati i iz drugih paleontoloških zapisa, iz debala živih i mrtvih stabala, na osnovu tragova u tlu i naslagama treseta, pećinskim formacijama, sastavu polena sačuvanog u sedimentima jezera, na osnovu pronađenih insekata, algi i bilo kojeg organizma koji živi u ograničenim ekološkim uslovima i slično. Godovi stabala pružaju informacije o klimi tokom posljednjih nekoliko hiljada godina, pri čemu debljine prstenova ukazuju na temperature i vlagu, a hemijski sastav drveta odražava karakteristike atmosfere u vrijeme kada je drvo nastalo. Polen pruža vrijedne istorijske podatke o biljnim vrstama i klimi tokom proteklih desetina hiljada godina. Zahvaljujući polenskim zapisima sa različitih lokacija, moguće je izraditi mapu rasprostranjenosti vrsta u različita vremena u prošlosti, čime se dobijaju vrijedni podaci o migraciji vrsta nakon klimatskih promjena.

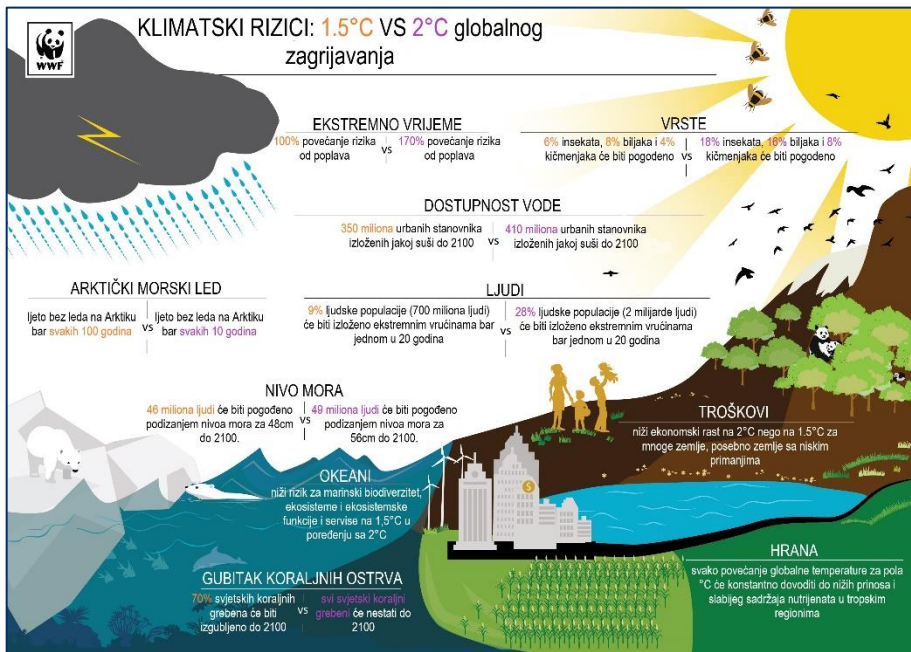
Svi ovi podaci zajedno stvaraju sliku globalnih i lokalnih promjena životne sredine u kratkim (dekadnim do stogodišnjim) i dužim (milenijumskim i dužim) vremenskim okvirima.

Antropogene klimatske promjene

Na osnovu podataka dobijenih redovnim meteorološkim mjerenjima od kraja 19. vijeka do danas i podataka dobijenih različitim paleontološkim istraživanjima, uočava se da je klima Zemlje tokom druge polovine 20. vijeka bila toplija nego tokom bilo kog 50-godišnjeg intervala u poslednjih 500 godina i vjerovatno posljednjih 1 300 godina ili duže. Zagrijavanje je najizraženije u blizini Zemljine površine, gdje su ujedno i njegovi ekološki efekti najveći. Većina savremenog zagrijavanja rezultat je ljudskih aktivnosti koje povećavaju koncentracije radijaciono aktivnih, stakleničkih gasova u atmosferi. Staklenički gasovi zadržavaju više dugotalasnog zračenja koje emituje Zemljina površina i zagrijavaju atmosferu, koja na taj način zadržava više vodene pare, koja je i sama moćan gas staklene bašte, i dodatno povećava zadržavanje dugotalasnog zračenja. Na taj način se remeti Zemljina radijacijska ravnoteža, ona odaje manje energije nego što je dobija od Sunca. Ovaj disbalans je doveo do zagrijavanja vazduha na Zemljinoj površini za oko 0,7 °C od 1880. do 2008. godine.

Prema postojećim klimatskim modelima, predviđa se dalje zagrijavanje površne planete, tri do četiri puta više od te količine do kraja 21. vijeka). Očekuje se da će zagrijavanje biti najizraženije u unutrašnjosti

kontinentata, daleko od umjerenih efekata okeana i na višim geografskim širinama.

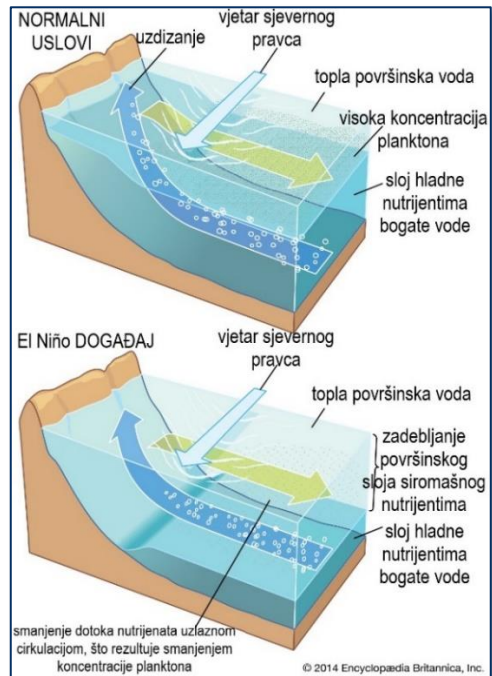


Sl. 43 Klimatski rizici pri povećanju globalne temperature za 1,5 °C u poređenju sa povećanjem za 2 °C

Kako se klima zagrijava, snijeg i morski led se tope početkom godine, što zamjenjuje reflektirajući snijeg ili ledeni pokrivač kopnenom i vodenom površinom s niskim albedom. Ove tamnije površine upijaju više zračenja i prenose tu energiju u atmosferu, što pojačava brzinu zagrijavanja klime. Oblaci, povećanje količine vodene pare i povećanje transporta energije prema polovima takođe doprinose polarnom zagrijavanju. Kako se klima zagrijava, vazduh ima veću sposobnost zadržavanja vodene pare, pa dolazi do većeg isparavanja iz okeana i drugih vlažnih površina. U područjima gdje porast vazduha dovodi do kondenzacije, to dovodi do većih padavina. U unutrašnjosti kontinentata vjerovatno će doći do povećanja padavina, što će usljed povećanja isparavanja ipak rezultovati isušivanjem tla i širenjem pustinja. Usljed svega, vlaga tla i oticanje potoka i rijeka vjerovatno će se povećati u priobalnim regijama i planinama, a smanjiti u unutrašnjosti kontinentata. Ukratko, očekuje se da će krajevi sa obilnim padavinama postati vlažniji, a suvi suši. Više zimske temperature smanjiće sniježni pokrivač u planinama, a time i proljetno topljenje i oticanje, te će se smanjiti rezerve dostupne vode mnogih predjela i gradova.

Međugodišnja klimatska varijabilnost

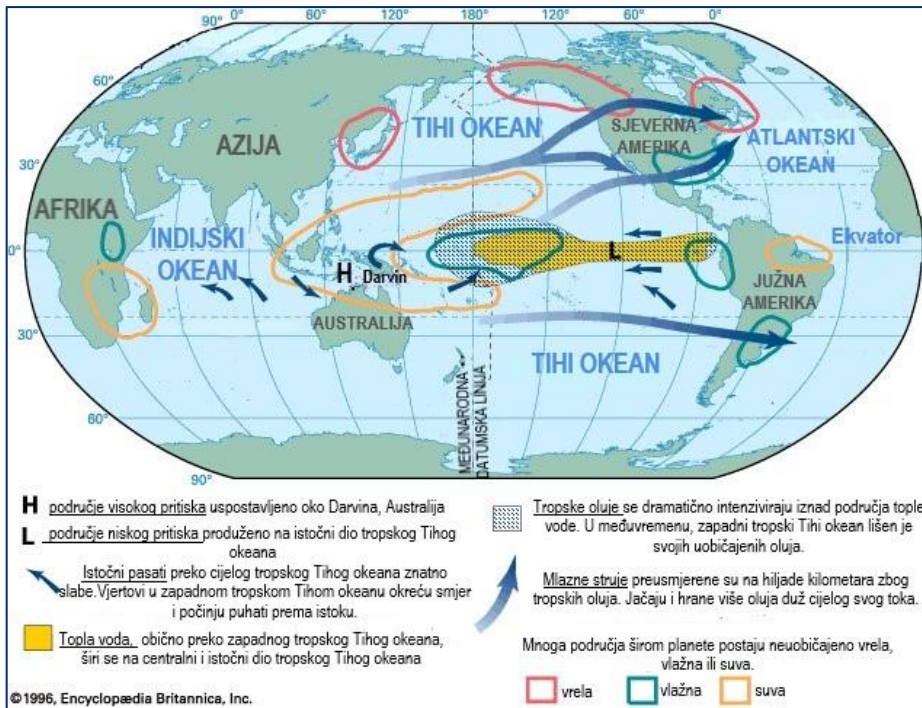
Mnoge međugodišnje varijabilnosti regionalnih klimatskih prilika dešavaju se u relativno stabilnim vremenskim ciklusima i povezane su sa velikim promjenama u sistemu atmosfera – okean. Takav je ENSO (El Niño / Južna oscilacija [eng. Southern Oscillation]; El Niño na španskom označava Hristovo dijete), koji je dio velike interakcije atmosfera-okean, koja spaja promjene atmosferskog pritiska (južna oscilacija) s promjenama okeanskih temperatura (El Niño) nad ekvatorijalnim Tihim okeanom. Pojava ENSO-a događala se u prosjeku svake 3–7 godina tokom prošlog vijeka. Međutim, ovi ciklusi ne slijede pravilan obrazac. Tako je događaj izostao u potpunosti između 1943. i 1951. godine, a tri glavna događaja dogodila su se između 1988. i 1999. godine.



Sl. 44 *Izmjena termokline u obalnom području Perua pri El Niño događaju*

Većinu vremena vode Tihog okeana su pod uticajem istočnih pasata, koji potiskuju tople površinske vode prema zapadu, te je sloj toplih voda zapadnog dijela okeana dublji od sloja u istočnom dijelu. Tople vode zapadnog Tihog okeana su povezane sa centrom niskog pritiska i pospješuju konvekciju i obilne kiše u Indoneziji. U istočnom Tihom okeanu hladnije i dublje vode uz obale Ekvadora i Perua su bogate hranjivim sastojcima, pa podržavaju produktivan ribolov, dok hlađenjem, usljed slijeganja gornjeg vazduha, dolazi do razvoja centra visokog pritiska i slabih padavina. Periodi u kojima je ovakav "normalan" obrazac posebno jak, s relativno hladnim površinskim vodama u istočnom Tihom okeanu, nazivaju se La Niña. Međutim, s vremena na vrijeme oslabe istočno-pacifički centar visokog pritiska, indonezijski centar niskog pritiska i istočni pasati. Tada se tople površinske vode kreću prema istoku, gradeći duboki sloj tople površinske vode u istočnom Tihom okeanu. To dovodi do smanjenja ili isključivanja nadiranja hladne vode, izazivajući atmosfersku

konvekciju i kiše u obalnom Ekvadoru i Peruu. U zapadnom Pacifiku hladnije vode inhibiraju konvekciju, što dovodi do suša u Indoneziji, Australiji i Indiji. Ovaj obrazac se obično naziva El Niño i povezan je sa štetnim efektima na ribarstvo, poljoprivredu i lokalno vrijeme od Ekvadora do Čilea i s klimatskim anomalijama čak i u ekvatorijalnom Tihom okeanu, a povremeno i u Aziji i Sjevernoj Americi.



Sl. 45 Jaki El Niño uslovi od decembra do maja

Ekstremne količine padavina povezane sa ENSO ciklusima takođe su evidentne u područjima udaljenim od tropskog dijela Tihog okeana. El Niño događaji donose vruće, suvo vrijeme u sliv Amazona, što potencijalno može uticati na rast drveća, skladištenje ugljenika u zemljištu i vjerovatnoću požara. Proširenje toplih tropskih voda prema sjeveru do sjevernog Tihog okeana donosi kiše u priobalnu Kaliforniju i visoke zimske temperature na Aljasku. Na primjeru ENSO ciklusa uočeno je da snažni klimatski događaji u jednoj regiji imaju klimatske posljedice za globalni klimatski sistem usljed dinamičkih interakcija atmosferske cirkulacije i okeanskih struja.

Međugodišnja klimatska varijabilnost se ogleda i u Pacifičkom sjevernoameričkom (PNA – eng. Pacific-North America) obrascu. Pozitivni način rada PNA karakteriše se natprosječnim atmosferskim pritiskom s toplim, suvim vremenom na zapadu Sjeverne Amerike i ispodprosječnim

pritiskom i niskim temperaturama na istoku. Drugi klimatski obrazac velikih razmjera je Tihookeanska dekadna oscilacija (PDO – eng. Pacific Decadal Oscillation), višedekadni obrazac klimatske varijabilnosti koji modeluje ENSO događaje. Više El Niño događaja se obično događa kada je PDO u pozitivnoj fazi, kao tokom posljednjih 25 godina dvadesetog vijeka.

Sjevernoatlantske oscilacije (NAO – eng. North Atlantic Oscillation) su još jedan krupan obrazac cirkulacije. Pozitivne faze NAO povezane su s jačanjem gradijenta pritiska između islandskog sistema niskog i bermudskog sistema visokog pritiska. Ovo povećava transport toplote na više geografske širine vjetrom i okeanskim strujama, što dovodi do zagrijavanja Skandinavije i zapadne Sjeverne Amerike i zahlađenja istočne Kanade.

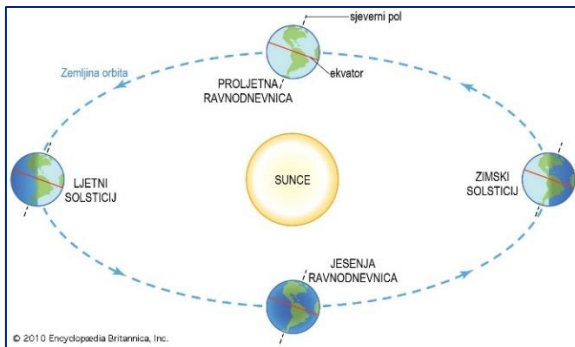
Obrasci i posljedice ovih klimatskih varijabilnosti sve su poznatiji i predvidljiviji. Očekuje se da će buduće klimatske promjene biti povezane s promjenama snage i učestalosti određenih faza ovih velikih klimatskih obrazaca, na primjer povećanjem učestalosti događaja El Niño-a i pozitivnih faza PDO i NAO.

Sezonske i dnevne varijacije

Za razliku od dugoročnih i međugodišnjih klimatskih varijacija, sezonske i dnevne varijacije solarnog unosa imaju predvidljive efekte na klimu i ekosisteme i najjednostavnije su za proučavanje. Zahvaljujući Zemljinoj rotaciji i revoluciji pod nagibom od $23,5^\circ$ u odnosu na svoju orbitalnu ravan oko Sunca nastaju snažne sezonske varijacije u dužini dana i količini Sunčeve energije primljene na površini Zemččlje u jedinici vremena. Tokom proljetne i jesenje ravnodnevnice, sunce je direktno iznad ekvatora, a cijela površina zemlje prima približno 12 h dnevnog svjetla. Na ljetnom solsticijumu sjeverne hemisfere, Sunčeve zrake udaraju Zemlju najdirektnije na sjevernoj hemisferi, pa je dužina dana maksimalna. U zimskom solsticijumu sjeverne hemisfere, Sunčeve zrake udaraju Zemlju ukoso na sjevernoj hemisferi, a dužina dana je svedena na minimum.

Varijacije Sunčevog zračenja postaju sve izraženije kako se geografska širina povećava. Iz tog razloga tropska okruženja imaju relativno male sezonske razlike u insolaciji i dužini dana, dok su takve razlike najveće na Arktiku i Antarktiku.

Za vrijeme ljetnog solsticijuma iznad arktičkog i antarktičkog kruga ima 24 sata dnevnog svjetla, dok sunce nikada ne izlazi u zimskom solsticijumu.



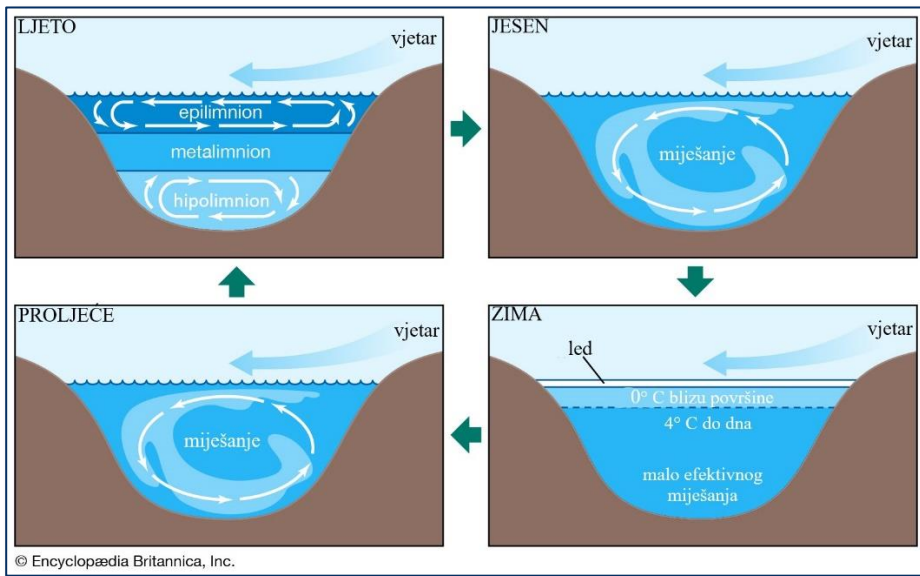
Sl. 46 Sezonska konfiguracija Zemlje i Sunca

Temperaturne varijacije su od presudnog značaja za određivanje vrsta biljaka koje rastu u određenoj klimi, kao i za brzinu kojom se odvijaju biološki procesi. Gotovo svi biološki procesi zavise od temperature, pri čemu su brži pri višim, a sporiji pri nižim temperaturama.

Sezonske promjene imaju ogroman značaj i za zajednice jezera i okeana. Površinsko zagrijavanje uspostavlja vertikalnu stratifikaciju vodenih bazena, sa toplijom, manje gustom vodom na površini. Ova tendencija raslojavanja uravnotežena je turbulentnim miješanjem vjetra, dotokom rijeke i hlađenjem površinskih voda koje se javlja noću i tokom hladnog vremena. Stratifikacija je najmanje izražena u jezerima izloženim vjetru ili jezerima s velikim riječnim unosima, gdje turbulencija miješa vodu do značajne dubine. Na otvorenom okeanu dubina turbulentnog mješovitog sloja često je 100–200 m. U plitkim jezerima turbulencija često miješa cijeli vodeni stub. Stratifikacija jezera je najstabilnija u umjerenom pojasu između oko 25–40° geografske širine. U hladnijoj klimi hladne površinske vode smanjuju temperaturni gradijent od površine do dubine. Za tropske duboke vode, koje su tople tokom cijele godine, karakterističan je veoma slab temperaturni gradijent (često oko 1 °C) od površine do dubine. Stratifikacija netropskih jezera razvija se tokom ljeta, kada je zagrijavanje površinskih voda najintenzivnije. Slabo slojevita jezera često miješaju vodu kroz vodeni stub čak i tokom ljeta. U tim se jezerima miješanje može dogoditi noću, ako su temperature vazduha hladnije od površinskih voda ili za vrijeme oluja, kada je miješanje vjetrom intenzivnije. U umjerenim dubokim jezerima, koja su zaštićena od vjetra, razvijaju se dva relativno diskretna sloja: epilimnion na površini koji se zagrijava apsorbiranim zračenjem i miješa vjetrom i hipolimnion na dubini, koji je hladniji, gušći i na njega ne utiče površinska turbulencija.

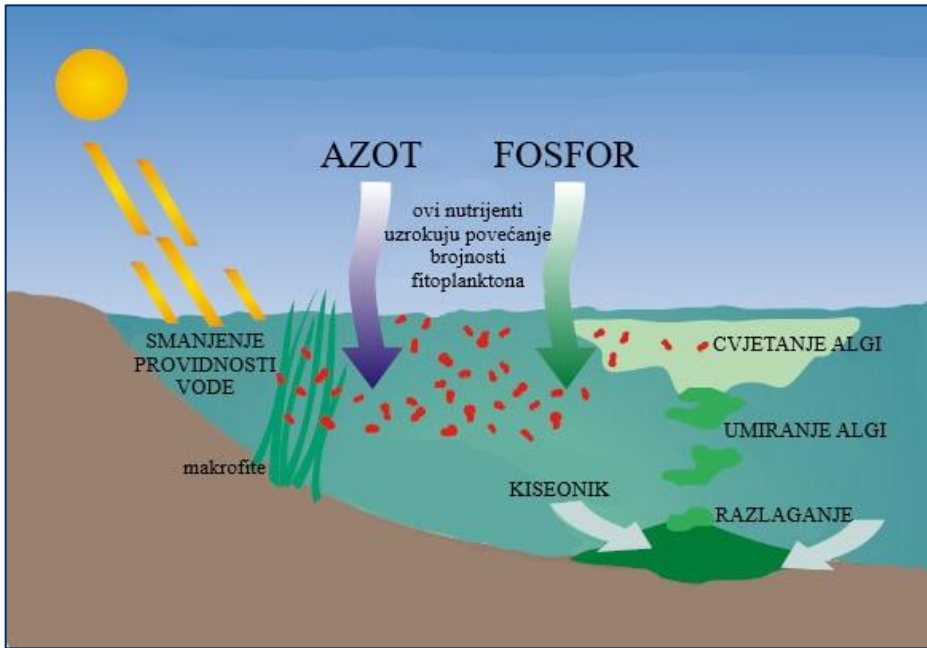
Trope karakteriše visoka produktivnost i raznovrsnost upravo zbog homogenosti temperature i svjetlosti tokom cijele godine. Nasuprot njima, dužina tople sezone na višim geografskim širinama snažno utiče na oblike života i produktivnost ekosistema. Svjetlosne i

Miješanje slojeva ovih jezera događa se kada noćna temperatura vazduha opada ispod temperature epilimniona, hladeći ga, što smanjuje gradijent gustine od površine do dubine, tako da turbulencija pokretana vjetrom dublje miješa vode u jezeru. Do turbulencije dolazi i pri izostanku vjetra, zahvaljujući hlađenju i povećavanju gustine vode epilimniona.



Sl. 47 Cirkulacija jezera umjerenog pojasa

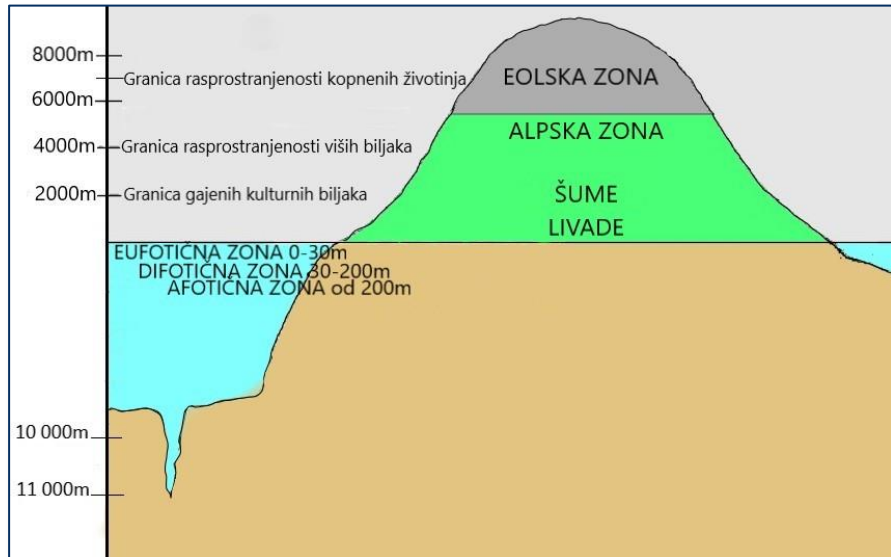
Uloge temperaturne stratifikacije vodenih bazena su višestruke. Usljed termalnih razlika i nastanka odvojenih slojeva u površinskom toplom sloju fotosinteza premašuje disanje, dok u hipolimnionu disanje premašuje fotosintezu (kod jezera osvijetljenih cijelom dubinom). Zahvaljujući prostornom razdvajanju ovih ključnih ekosistemskih procesa dolazi do oksigenacije i iscrpljivanja nutrijenata površinskog sloja i obogaćivanja nutrijentima i iscrpljivanje kiseonika u dubini. Sezonsko miješanje, kao i miješanje vjetrom, presudno je za snabdijevanje epilimniona hranjivim materijama, kao i hipolimniona kiseonikom. Eutrofikacija jezera unosom nutrijenata iz đubriva ili kanalizacije smanjuje bistrinu vode, pri čemu se povećava zagrijavanje vode u blizini površine i smanjuje dubina epilimniona. Povećana produkcija u toplom sloju dovodi do nagomilavanja mrtve organske materije u dubinama, što izaziva utrošak kiseonika za njenu razgradnju i samim tim se iscrpljuje dostupna količina kiseonika cijelog vodenog stuba. Nedostatak kiseonika u dubljim slojevima je ograničavajući faktor za mnoge riblje vrste, te im broj opada i pored visoke proizvodnje algi.



Sl. 48 Šematski prikaz eutrofikacije jezera

BIOSFERA

Biosfera, relativno tanak sloj Zemlje koji podržava život, proteže se od nekoliko kilometara u atmosferu do dubokomorskih otvora okeana. Biosfera je globalni ekosistem koji se sastoji od živih organizama (biota) i



Sl.49 Granice biosfere

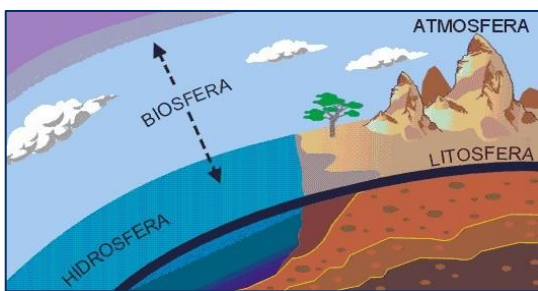
abiotičkih (neživih) faktora iz kojih oni dobijaju energiju i hranjive sastojke. Donja granica joj se nalazi u najdubljim dijelovima okeana u kojima je pronađen život. Za donju granicu se obično uzima dubina od 10 000 metara, mada se pronalaskom specifičnih ekosistema na dnu Marjanske brazde, ova granica pomijera na 11 000 metara. Gornja granica života ustanovljena je vazдушnim pritiskom i koncentracijom kiseonika i nalazi se na 7 000 metara. Biosfera ne obuhvata samo površinu planete Zemlje, već i vazduh, vodu, gornji sloj tla i uopšte sva živa bića na planeti. Današnja biosfera je nastala dugotrajnom evolucijom planete i života na njoj. Današnja atmosfera se značajno razlikuje od praatmosfere, uostalom kao što je i geosfera pretrpila značajne promjene tokom vremena.

Biosfera je sistem koji karakteriše kontinuirano kruženje materije i protok Sunčeve energije u kojem se određeni veliki molekuli i ćelije sami reprodukuju. Voda je glavni faktor predispozicije, jer sav život zavisi od nje. Elementi ugljenik, vodonik, azot, kiseonik, fosfor i sumpor, kada se kombinuju kao proteini, lipidi, ugljeni hidrati i nukleinske kiseline, predstavljaju gradivne blokove, gorivo i smjer za stvaranje života. Energija potrebna za održavanje strukture organizama obezbjeđuje se stvaranjem

i cijepanjem fosfatnih veza. Organizmi su ćelijske prirode i uvijek sadrže neku vrstu zatvorene membranske strukture, a svi imaju nukleinske kiseline koje čuvaju i prenose genetske informacije.

Veza između klime i života proizlazi iz dvosmjerne razmjene mase i energije između atmosfere i biosfere. U ranoj historiji Zemlje, prije nego što je život evoluirao, samo su geohemijski i geofizički procesi određivali sastav, strukturu i dinamiku atmosfere. Otkako se život razvio na Zemlji, biohemijski i biofizički procesi igraju ulogu u određivanju sastava, strukture i dinamike atmosfere. Ljudi, *Homo sapiens*, sve više preuzimaju ovu ulogu posredovanjem interakcija između biosfere i atmosfere.

Živi organizmi biosfere koriste gasove iz atmosfere vraćajući otpadne gasove, tako da sastav atmosfere predstavlja proizvod ove razmjene gasova. Smatra se da je prije evolucije života na Zemlji 95% atmosfere činio ugljen-dioksid, pored kojeg je vodena para bila drugi najzastupljeniji gas. Ostali gasovi bili su prisutni u tragovima. Ova atmosfera bila je proizvod geohemijskih i geofizičkih procesa u unutrašnjosti Zemlje, a posredovana je vulkanskim ispuštanjima gasova. Procjenjuje se da je velika masa ugljen-dioksida u ovoj ranoj atmosferi dovela do atmosferskog pritiska 60 puta većeg od današnjeg. Danas u sastavu Zemljine atmosfere ugljen-dioksid učestvuje sa samo oko 0,035%. Većina ugljen-dioksida prisutnog u prvoj Zemljinoj atmosferi uklonjena je fotosintezom, hemosintezom i vremenskim uticajima. Najveća količina ugljen-dioksida trenutno je deponovana u sedimentnim stijenama Zemlje (krečnjak), u koralnim grebenima, u fosilnim gorivima i u živim komponentama današnje biosfere. U ovoj transformaciji, atmosfera i



Sl.50 Biosfera

biosfera su se razvijale kontinuiranom razmjenom mase i energije. Biogeni gasovi su gasovi kritični za žive organizme i proizvedeni od njih. U savremenoj atmosferi uključuju kiseonik, azot, vodenu paru, ugljen-dioksid, ugljen-monoksid, metan, ozon, azot-dioksid, azotnu kiselinu, amonijak i amonijum-jone, azot-oksidi, sumpor-dioksid, vodonik-sulfid, karbonil-sulfid, dimetil-sulfid, i složeni niz nemetanskih ugljovodonika. Od ovih gasova, samo azot i kiseonik nisu „gasovi staklene bašte“. Ovom spisku biogenih gasova dodan je mnogo duži spisak gasova generisanih iz industrijskih,

komercijalnih i kulturnih djelatnosti ljudi, koji odražavaju raznolikost ljudskog uticaja na Zemlji.

Ideja da biosfera vrši važne kontrole u atmosferi i ostalim dijelovima Zemljinog sistema sve je više prihvaćena među naučnicima. Iako ovaj koncept potiče iz djela američkog okeanografa Alfred C. Redfield-a sredinom 1950-ih, engleski naučnik James Lovelock dao mu je moderan oblik krajem 1970-ih. Lovelock je u početku predložio da biosferne transformacije atmosfere podržavaju biosferu na prilagodljiv način kroz neku vrstu "selekcije genetske grupe". Ova ideja izazvala je opsežne kritike i iznjedrila stalni tok novih istraživanja koja su obogatila debatu i unaprijedila kako ekologiju tako i zaštitu životne sredine. Lovelock je svoju ideju nazvao "Gaia hipotezom" i definisao Gaiu kao složeni entitet koji uključuje Zemljinu biosferu, atmosferu, okeane i tlo; ukupnost povratnom spregom regulisanih sistema koja traži optimalno fizičko i hemijsko okruženje za život na ovoj planeti. Grčka riječ Gaia, ili Gaea, što znači "Majka Zemlja", Lovelock-ovo je ime za Zemlju, koja je zamišljena kao "superorganizam" koji se bavi planetarnom biogeofiziologijom. Cilj ovog superorganizma je stvaranje homeostatskog ili uravnoteženog zemaljskog sistema. Lovelock je revidirao svoju hipotezu kako bi isključio selekciju genetičkih grupa usmjerenih na cilj. Današnja nauka podrazmijeva međusobno destvo biosfere i atmosfere uz stav da razumijevanje jednog zahtijeva razumijevanje drugog. Stvarnost dvosmjernih interakcija između klime i života dobro je prepoznata.

Klima vrši ključnu kontrolu nad funkcionisanjem ekosistema Zemlje. Temperatura i dostupnost vode upravljaju stopama mnogih bioloških i hemijskih reakcija koje zauzvrat kontrolišu kritične procese ekosistema. Ti procesi uključuju proizvodnju organske materije u biljkama, njezinu



Sl.51 Klimatske promjene

razgradnju od strane mikroorganizama, vremenske uticaje na matičnu podlogu i razvoj zemljišta. Razumijevanje uzroka vremenskih i prostornih varijacija klime je presudno za razumijevanje globalnog obrasca ekosistemskih procesa.

Količina Sunčevog zračenja koje dolazi do zemlje, hemijski sastav i dinamika atmosfere, kao i karakteristike površine Zemlje (kopna i okeana) određuju klimu i klimatske promjenljivosti. Cirkulacija atmosfere i okeana utiče na prenos toplote i vlage oko planete i na taj način snažno utiče na klimatske modele i njihovu promjenljivost u prostoru i vremenu.

Ljudske aktivnosti modifikuju Zemljinu klimu, mijenjajući time temeljni nadzor nad ekosistemskim procesima na cijeloj planeti, često na štetu društva. Neke klimatske promjene suptilno mijenjaju intenzitet procesa u ekosistemima, ali druge promjene, poput učestalosti jakih oluja, imaju direktne razarajuće efekte na živi svijet, uključujući i društvo. Globalno zagrijavanje, na primjer, povećava temperaturu morske površine, što povećava energiju koja se prenosi u tropske oluje. Iako se nijedna pojedinačna oluja ne može pripisati klimatskim promjenama, intenzitet tropskih oluja može se povećati. Ostali očekivani efekti klimatskih promjena uključuju češće suše u sušnim područjima kao što je subsaharska Afrika, češće poplave u vlažnoj klimi i u nižim obalnim zonama, toplije vrijeme u hladnoj klimi i obimnije požare u šumama sklonim požaru.

Biomi

Biosfera se nalazi „na vrhu“ ljestvice bioloških/ekoloških integracija, obuhvatajući sve nivoe organizacije živog svijeta. Specifična struktura biosfere se ogleda i određenom prostornom rasporedu ekosistema (horizontalni i vertikalni raspored). Ona se mijenjala tokom geoloških perioda kroz vjekovne sukcesije, smjenjivanje i nestajanje ili nastajanje određenih ekosistema, što je dovelo do nastanka biosfere kakva je danas, a samim tim i do sadašnjeg rasporeda bioma na Zemlji. Naučnici su davno uočili pravilnosti u izmjenama pojedinih fizičkih (klimatskih) faktora sredine. Posmatrajući temperaturne vrijednosti na planeti, uočava se obrazac smanjenja temperature od ekvatora ka polovima. Takođe, količina padavina opada u unutrašnjosti kontinenata, u odnosu na obale mora i okeana. Organske vrste, posebno biljne, su razvile cijeli niz adaptacija na različite zahtjeve staništa. Kako vegetacija "nosi" izgled, strukturu i dinamiku svakog specifičnog područja, značajno je utvrditi kom ekološkom tipu jedinice pripadaju i na koji način su se prilagodile dejstvu glavnih klimatskih faktora, temperature i padavina.

Biomi su su velike zajednice sličnih ekosistema, koje se nalaze u jednoj klimatskoj oblasti. To su kontinuirana područja sa sličnim ekogeografskim uslovima, te biljnim i životinjskim zajednicama. Neki dijelovi Zemlje imaju manje ili više iste komponente abiotskih i biotskih faktora rasprostranjene na velikim površinama, stvarajući tipične ekosisteme na tom području. Takvi veliki ekosistemi se nazivaju biomi.

TEMPERATURA I VLAGA

Iako je temperatura izuzetno značajan klimatski faktor za rasprostranjenje biljnih vrsta, njen minimum i maksimum su rijetko eliminatorni, dok distribucija različitih biljnih ekoloških grupa zavisi od godišnjeg toka temperaturnog režima. Gotovo da ne postoji mjesto na planeti na kojem nema biljaka, zahvaljujući činjenici da maksimalne i minimalne temperature na Zemlji u većini područja ne dostižu vrijednosti koje biljke ne mogu da podnesu. Adaptacije biljaka na uslove sredine se ogledaju u temperaturnim zahtjevima u odnosu na fazu razvića (fenofaze), te su smjene fenofaza biljaka određene oblasti usklađene sa promjenama temperaturnog režima te oblasti.

Kako su biljke pojkilotermni organizmi, njihova temperatura, samim tim rast i razviće, odnosno intenzitet fizioloških procesa, variraju u skladu sa uslovima spoljašnje sredine, odnosno termičkim režimom staništa. Termički režim staništa čine termički režim zemljišta i termički režim vazduha

(različito se zagrijavaju/hlade). Za obe komponente su karakteristična dnevno-noćna i godišnja kolebanja usklađena sa geografskom širinom, odnosno nadmorskom visinom. Temperaturni balans staništa zavisi od insolacije, koja zagrijava površinski sloj Zemlje i dugotalasne emisije, kojim zagrijana površina Zemlje gubi dio svoje toplote. Svi fiziološki procesi biljaka, odnosno njihova cjelokupna biološka aktivnost, odvijaju se u temperaturnom opsegu od 0-50 °C. Niže, kao i više temperature zaustavljaju metaboličke procese. Na niskim temperaturama dolazi do imobilizacije vode u tkivima i ćelijama i stvaranja kristala leda, dok na temperaturama iznad 50 °C nastupa denaturacija i destrukcija proteina. Nagle temperaturne promjene rezultuju veoma štetnim, često letalnim posljedicama, dok na postepene promjene biljke odgovaraju nizom adaptacija prvenstveno na metaboličkom (ćelijskom) nivou, ali i na nivou organizma. Proces **aklimatizacije** omogućava biljkama da razviju termotoleranciju ukoliko su na vrijeme, odnosno postepeno, izložene visokim neletalnim temperaturama, prije nastupanja uslova visokotemperaturnog šoka. Prema temperaturnim amplitudama i mogućnostima prilagođavanja određenom temperaturnom režimu (De Candolle-ova podjela), biljke različitih temperaturnih zona mogu se podijeliti na:

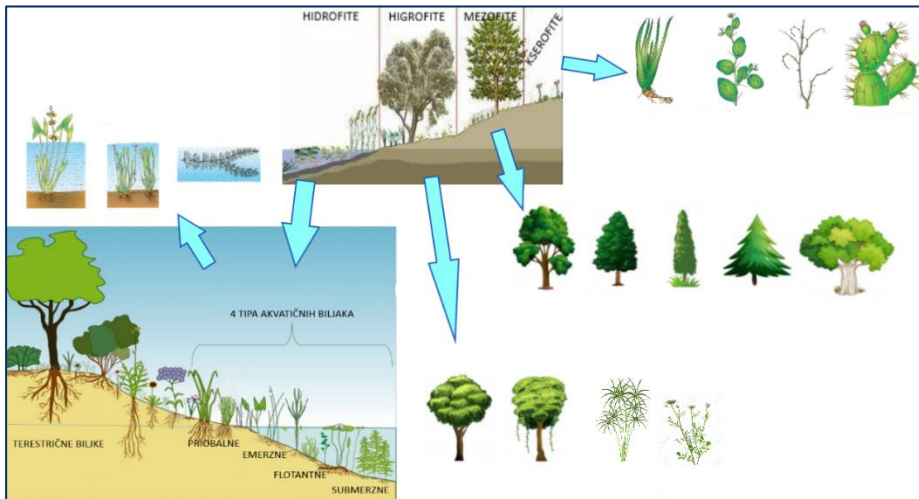
- **megaterme** –(najtoplijih, tropskih uslova) biljke koje žive u oblastima sa srednjom godišnjom temperaturom iznad 20 °C,
- **kserofite** – biljke veoma toplih i sušnih staništa,
- **mezoterme** – biljke iz oblasti sa srednjom godišnjom temperaturom od 15-20 °C,
- **mikroterme** – biljke područja sa srednjom godišnjom temperaturom od 0-14 °C i
- **hekistoterme** – biljke veoma hladnih oblasti.

Prema širini ekološke valence za temperaturu razlikujemo **euritermne** i **stenotermne** oblike, sa prilagođenostima na visoke (**termofilne** vrste) i niske (**frigorifilne** vrste) temperature.

Velika lokalna i regionalna raznovrsnost dinamike vlažnosti staništa dovela je do pojave različitih tipova biljaka u odnosu na vodni režim. Osnovna podjela se odnosi na vodene (**akvatične**) i nadzemne (**terestrične** ili suvozemne) biljke. Uslov opstanka akvatičnih biljaka (**hidrofita**) na određenom staništu predstavlja snabdijevanje potrebnim gasovima (kiseonikom i ugljen-dioksidom) i dovoljnom količinom svjetlosti, dok su kod terestričnih biljaka glavni problemi opstanka vezani u većoj ili manjoj mjeri za vodni režim i održavanje pozitivnog vodnog balansa u

promjenjivim, čak i ekstremnim uslovima spoljašnje sredine. U odnosu na vodni režim kopnene biljke dijelimo na:

- biljke vlažnih staništa (**higrofit**)
- biljke umjereno vlažnih staništa (**mezofite**)
- biljke suvih staništa (**kserofite**).



Sl. 52 Biljne životne forme u odnosu na vlažnost staništa

Higrofiti su adaptirani na uslove visokog sadržaja vode u zemljištu i visoke vlage vazduha, pa u uslovima suvog vazduha i/ili suve podloge brzo venu i suše se. Njihovi nadzemni i podzemni dijelovi zahvaljujući vlažnosti staništa su veoma često izloženi nedostatku kiseonika zbog anaerobnih uslova vlažne sredine. Takođe, vlažna atmosfera (npr. niži spratovi tropskih kišnih šuma) otežava ili onemogućava transpiraciju, pa higrofiti uspostavljaju gutaciju (odavanje vode u obliku kapi).

Mezofiti naseljavaju umjereno vlažna i umjereno osvijetljena staništa, bez temperaturnih ekstrema, u kojima je suša periodična i kratkotrajna pojava. Mezofitama pripada većina drveća sa velikom količinom lišća u kruni, brojne korovske biljke, proljetne efemeroide i većina gajenih biljaka. Naseljavaju staništa sa dovoljno vode u podlozi, pa je transpiracija intenzivna. Ipak, u uslovima viših temperatura zatvaraju stome i smanjuju transpiraciju („podnevna depresija transpiracije“).

Kserofiti obuhvataju biljke koje žive u uslovima fizičke ili fiziološke suše. Vrste koje naseljavaju tople predjele sa uslovima fizičke suše (steppe i pustinje) označavaju se kao sklerofite i sukulente, a vrste koje naseljavaju hladne suve predjele (visoke planine i tundre) označavaju se kao kriofite. Kserofiti odolijevaju nedostatku vode na staništu zahvaljujući nizu

specifičnih morfoloških i fizioloških adaptacija koje doprinose efikasnom usvajanju vode bilo sa površine ili dubine, efikasnom sprovođenju vode i smanjenju ili obustavljanju odavanja vode.

U odnosu na dužinu vlažnog perioda i godišnju količinu padavina, Planetu možemo podijeliti na 6 glavnih klimatskih zona. Pod vlažnim periodom se smatra period tokom kojeg je količina padavina veća od evapotranspiracije (suma evaporacije sa površine zemljišta i transpiracije). U pustinjama (godišnja količina padavina <100 mm) i aridnim oblastima (100-400 mm) vlažni (kišni) period traje maksimalno 3 mjeseca. Padavine su neravnomjerne u ovim regionima: jedne godine kiše su obilne, a druge slabe, obično se javljaju kao iznenadne intenzivne kiše, pri čemu veliki dio biva izgubljen, tj. ostaje neiskorišćen od strane biljaka. Iz tog razloga vegetacija pustinja je veoma oskudna, a u aridnim oblastima se javljaju prorjeđeni žbunovi i travnate zajednice. Semi-aridna područja (400-600 mm, vlažni period 3-4 mjeseca) imaju nešto povoljnije vodne uslove, te se javljaju žbunovi i travnate zajednice. Savane pripadaju semi-aridnim područjima. Sub-humidna staništa (600-1 200 mm; 4-6 mjeseci) imaju znatno povoljniji vodni režim i omogućavaju razvoj žbunastih, livadskih i šumskih zajednica. Na vlažnim sub-humidnim staništima (1 200-1 500 mm; 6-9 mjeseci) razvijaju se šume, a na humidnim (>1 500 mm; 6-12 mjeseci) tropske kišne šume.

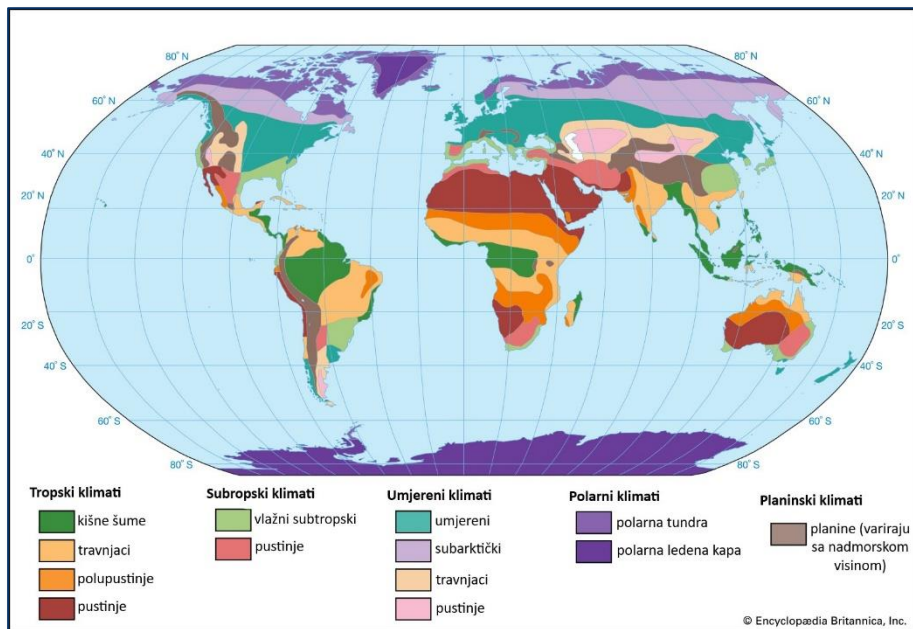
HORIZONTALNI I VERTIKALNI RASPORED BIOMA

Specifičnost horizontalne strukture biosfere uslovljena je klimatskim uslovima. Klima je glavna odrednica globalne distribucije bioma. Glavne vrste ekosistema pokazuju predvidljive veze sa klimatskim varijablama poput temperature i vlage.

Klima, uslovi atmosfere na određenoj lokaciji tokom dužeg vremenskog perioda, je dugoročno zbrajanje atmosferskih elemenata (i njihovih varijacija) koji, u kratkim vremenskim periodima, čine vrijeme. Ti su elementi Sunčevo zračenje, temperatura, vlažnost, padavine (vrsta, frekvencija i količina), atmosferski pritisak i vjetar (brzina i smjer). Od grčkog porijekla riječi (klíma, „nagib“ - npr. Sunčevih zraka) i od najranije upotrebe na engleskom, klima podrazumijeva atmosferske uslove koji preovladavaju u datoj regiji ili zoni. U starijem obliku ponekad se smatralo da uključuje sve aspekte okoline, uključujući prirodnu vegetaciju. Najbolje moderne definicije klime smatraju je konstituisanjem ukupnog iskustva vremena i atmosferskog ponašanja tokom određenog broja godina u datoj regiji. Klima nije samo „prosječno vrijeme“, ona mora uključiti ne samo prosječne vrijednosti klimatskih elemenata koji preovladavaju u

različito vrijeme, već i njihove ekstremne domete i varijabilnost, te učestalost različitih pojava. Baš kao što se jedna godina razlikuje od druge, utvrđeno je da se decenije i vijekovi međusobno razlikuju manjim, ali ponekad značajnim iznosom. Klima zato zavisi od vremena, a klimatske vrijednosti ili indeksi ne bi se trebali navoditi bez navođenja na koje se godine odnose.

Klimatski faktori dijele se na astronomske (rotacija i revolucija Zemlje) i geografske ili terestrične (geografska širina, raspored kopna i mora, atmosfera i njezin sastav, nadmorska visina, morske struje, reljef, vrsta podloge: voda, snijeg, led, kamen, vrsta zemljišta i biljni pokrivač, čovjekova djelatnost: deforestacija, pošumljavanje, melioracija itd.). Kako klimatski faktori neprekidno djeluju na klimatske elemente, nazivaju se klimatskim modifikatorima.



SI.53 Klimatski regioni svijeta

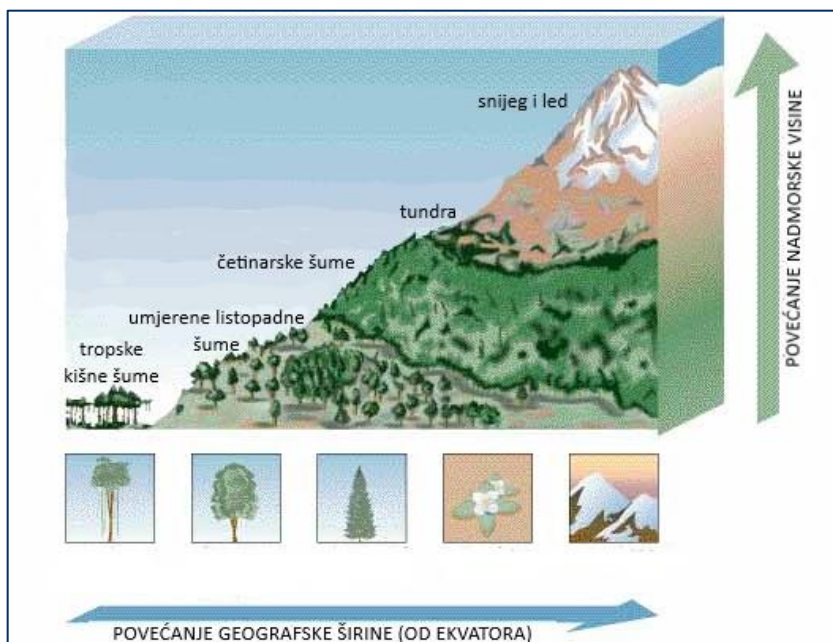
U odnosu na cijeli kompleks ekoloških (klimatskih) faktora formiraju se klimatogene zajednice. Tako se **tropske vlažne šume** (kišne šume) javljaju od 12° sjeverne do 3° južne geografske širine i odgovaraju intertropskoj zoni konvergencije (ITCZ – eng. Inter Tropical Convergence Zone). Dužina dana i solarni ugao pokazuju malo sezonskih promjena u ovoj zoni, što dovodi do konstantno visokih temperatura. Visoko Sunčevo zračenje i konvergencija istočnih pasata na ITCZ podstiču snažno konvektivno

podizanje vazduha, što dovodi do velikih padavina (1750–4 000 mm godišnje).

Razdoblja relativno malih količina padavina rijetko traju duže od 1-2 mjeseca. **Tropske listopadne šume** javljaju se sjeverno i južno od vlažnih tropskih šuma. Njih karakteriše vlažna i sušna sezona, zbog sezonskog kretanja ITCZ-a preko šuma (u vrijeme vlažne sezone) i dalje od ovih šuma (u vrijeme sušne sezone). **Tropske savane** javljaju se između tropskih listopadnih šuma i pustinja. Tople su i imaju malo sezonskih padavina. **Subtropske pustinje** se javljaju na 25–30° sjeverne i južne geografske širine. Odlikuje ih topla, suva klima, nastala kao rezultat slijeganja vazduha u silaznom kraku Hadley-eve ćelije. **Pustinje srednjih širina, travnjaci i žbunje** javljaju se u unutrašnjosti kontinenata, posebno u kišnoj sjeni planinskih lanaca. Imaju malo nepredvidivih padavina, niske zimske temperature i veće temperaturne ekstreme od tropskih pustinja. Kako se padavine povećavaju, pustinje postepeno prelaze u stepe i žbunje. Mediteransko žbunje se javlja na zapadnim obalama kontinenata. Ljeti subtropski okeanski centri visokog pritiska i hladne obalne struje stvaraju toplu i suhu klimu. Zimi, dok se sistemi vjetra i pritiska kreću prema ekvatoru, oluje proizvedene polarnim frontovima pružaju neravnomjerne padavine. **Umjerene šume** javljaju se u srednjim geografskim širinama, gdje ima dovoljno padavina neophodnih drveću. Polarni front, granica između polarne i subtropske zračne mase, migrira sjeverno i južno od tih šuma od ljeta do zime, stvarajući velike sezonske razlike. **Umjerene listopadne šume** (kišne šume) javljaju se na zapadnim obalama kontinenata na 40–65° sjeverne i južne geografske širine, gdje zapadnjaci koji duvaju preko relativno toplog okeana pružaju bogat izvor vlage. Zime su blage, a ljeta pro hladna u odnosu na ljeta subtropskog pojasa. **Borealna šuma** (tajga) javlja se u kontinentalnim unutrašnjostima na 50–70° sjeverne geografske širine. Zimskom klimom dominiraju polarne vazdušne mase, a ljetnom klimom umjerene vazdušne mase, zbog čega su zime hladne, a ljeta blaga. Udaljenost od okeanskih izvora vlage rezultuje slabim padavinama u unutrašnjosti kontinenata. Srednja godišnja temperatura ispod nule dovodi do permafrosta (trajno smrznutog zemljišta) koji zadržava vodu i stvara slabo drenirana zemljišta i tresetišta u nizinama. **Arktička tundra** je zona sjeverno od polarnog fronta i ljeti i zimi, što rezultuje klimom prehladnom da podrži rast drveća. Kratka pro hladna ljeta ograničavaju biološku aktivnost i ograničavaju raspon životnih oblika koji mogu preživjeti.

Struktura vegetacije varira u zavisnosti od klime, kako među biomima, tako i unutar njih. U svakom biomu dominiraju karakteristični biljni oblici.

Širokolisno vječnozeleno drveće, na primjer, dominira tropskim vlažnim šumama, dok područjima koja su povremeno previše hladna ili suva za rast ovih stabala dominiraju listopadne šume, odnosno, u ekstremnijim uslovima, tundra ili pustinja. Biomi nisu diskretne jedinice s oštrim granicama, već se kontinuirano razlikuju u strukturi duž klimatskih gradijenata. Vлага je pored insolacije najvažniji gradijent biljnog rasprostranjenja. Tako npr. u odnosu na gradijent vlage u tropskim predjelima vegetacija se mijenja od visokog vječnozeleno drveća na najvlažnijim mjestima do mješavine zimzelenog i listopadnog drveća u područjima sa sezonskom sušom. Kako klima postaje još suvlja, rast drveća i grmlja opada zbog manje konkurencije svjetlosti i veće konkurencije za vodu. Na kraju, ovo dovodi do pustinja bez grmlja sa zeljastim višegodišnjim biljkama u suvim staništima. Uz ekstremnu sušu, dominantni oblik života postaju jednogodišnje biljke i zeljaste trajnice u kojima nadzemni dijelovi umiru tokom sušne sezone. Sličan gradijent oblika rasta, vrsta lišća i oblika života javlja se duž gradijenata vlage i na drugim geografskim širinama.



Sl. 54 Vertikalna i horizontalna distribucija bioma

Raznovrsnost oblika unutar nekih ekosistema može biti gotovo jednako velika kao i raznovrsnost dominantnih oblika među biomima. Na primjer, u vlažnim tropskim šumama, kontinuirani sezonski rast u toploj, vlažnoj klimi rezultuje gigantskim stablima čije se guste krošnje takmiče za veliki dio Sunčevog zračenja, tako da svjetlost postaje ograničen resurs koji

pokreće kompeticiju. Kompeticija dovodi do niza adaptacija i kao rezultat se javlja ogroman diverzitet ovakvih ekosistema. Biljke koje se penju uz krošnje ili na njima žive (lijane i epifite) i imaju pristup svjetlosti imaju veliku mogućnost opstanka.

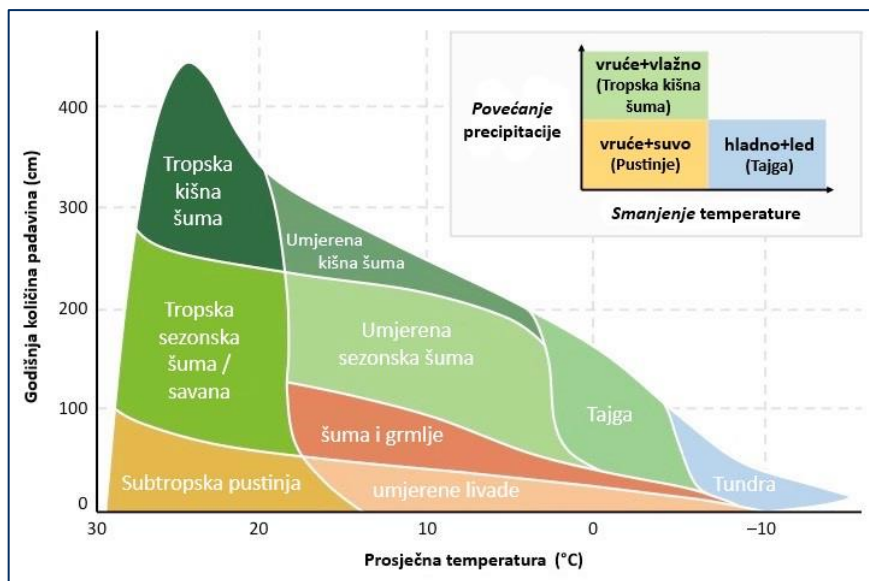
Epifitske vrste su česte u krošnjama vlažnih tropskih šuma gdje dobijaju puno svjetlosti, ali im je snabdijevanje vodom otežano, jer im je korijenje ograničeno na krošnje, pa su razvili razne specijalizacije za zadržavanje vode i hranjivih materija. Pored stanovnika visokih spratova, postoji širok spektar drveća, grmlja i biljaka pod krošnjama, koje rastu polako u uslovima slabog osvjetljenja ispod krošnje. Svjetlost je najvažniji opšti pokretač strukturne raznovrsnosti u gustim šumama vlažnih tropskih regija. Na mjestima gdje je vlaga ograničavajući faktor (tople pustinje), javlja se takođe relativno velika raznovrsnost biljnih oblika nastala kao rezultat različitih strategija za dobijanje, skladištenje i korištenje ograničenog vodosnabdijevanja, što dovodi do širokog spektra strategija za ukorjenjivanje i kapaciteta za izbjegavanje ili podnošenje suše.

Raznovrstnost vrsta opada od tropskih do visokih geografskih širina, kao i u nekim slučajevima od niskih do visokih nadmorskih visina (vertikalni i horizontalni raspored bioma). Tropska područja bogata vrstama podržavaju više od 5 000 vrsta biljaka na površini od 10 000 km², dok visoki Arktik ima manje od 200 vrsta na području iste veličine. Vertikalna distribucija terestričnih ekosistema u saglasnosti je sa temperaturnim gradijentom. Od podnožja do planinskih vrhova temperatura opada, mijenjajući klimatske prilike, što rezultuje smjenom ekosistema. Listopadne šume se javljaju na manjim nadmorskim visinama, slijede ih četinarske šume, zatim livade i pašnjaci. Na višim dijelovima planina uočava se zona planinske tundre iznad koje je zona vječnog leda.

KLASIFIKACIJA BIOMA

Biomi su velike zajednice sličnih ekosistema, koje se nalaze u jednoj klimatskoj oblasti. Biom je kolekcija, skup biljaka i životinja koje imaju zajedničke karakteristike prilagođene životnoj sredini u kojoj postoje. To su različite biološke zajednice koje su nastale kao odgovor na zajedničke fizičke karakteristike klime. Mogu se naći na čitavom nizu kontinenata. Biom je znatno širi pojam od staništa, samim tim može sadržavati različita staništa. Za razliku od bioma, koji pokrivaju velike površine, mikrobiomi predstavljaju mješavinu organizama koji koegzistiraju u određenom prostoru u mnogo manjim razmjerima.

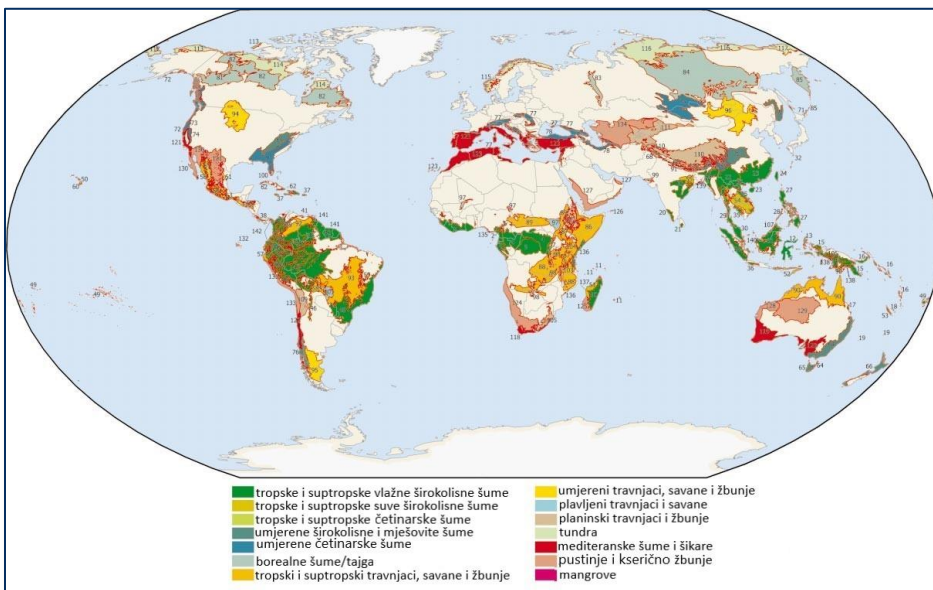
Naučnici su na različite načine pokušavali podijeliti svijet na nekoliko ekoloških zona, pri čemu su naišli na brojne poteškoće, iz razloga što biomi postepeno prelaze jedan u drugi, a uslovi koji vladaju u pojedinim regionima variraju prostorno i vremenski. Holdridge je klasifikovao klimu na osnovu efekata temperature i padavina na vegetaciju, pod pretpostavkom da su ova dva abiotička faktora najvažnije odrednice tipa vegetacije pronađene u staništu i podijelio ukupno područje na 30 „provincija vlažnosti“. Alee je izdvojio sljedeće tipove bioma: tundra, taiga, listopadna šuma, travnjaci, pustinja, vrištine, tropska šuma, manji kopneni biomi. Kendeigh dijeli biome svijeta na terestrične (umjereno listopadna šuma, četinarska šuma, šuma, čaparal, tundra, stepa, pustinja, tropska savana, tropska šuma) i marinske. Ekolog Robert Whittaker je 1975. godine razvio holistički klimograf koji je omogućio klasifikaciju devet različitih bioma. Biome je razlikovao prema prosječnim godišnjim temperaturama i količini padavina. Pustinje obično imaju visoke prosječne temperature, ali malo kiše (vruće i suve). Kišne šume obično imaju i visoke prosječne temperature i velike padavine (tople i vlažne), dok tajge imaju niske prosječne temperature i relativno niske padavine (hladne i ledene).



Sl. 55 Whittaker-ov klimograf

Heinrich Walter takođe je razmatrao sezonalnost temperature i padavina, pronalazeći devet glavnih tipova bioma, sa važnim klimatskim osobinama i vrstama vegetacije. Granice svakog bioma su u korelaciji sa uslovima vlage i hladnog stresa, koji su snažne odrednice biljnog tipa, a

time i vegetacije koja definiše regiju. Robert G. Bailey je zasnovao svoj sistem na klimi, dijeleći svijet na sedam područja (polarna, vlažna umjerena, suva, vlažna i vlažna tropska), s daljnjim podjelama na osnovu ostalih klimatskih karakteristika (subarktična, toplo umjerena, vrela umjerena i suptropska; morska i kontinentalna; nizijska i planinska). Svjetski fond za divlje životinje (WWF – eng. World Wildlife Fund) je okupio tim biologa, koji su razvili šemu po kojoj se svjetsko kopneno područje dijeli na biogeografska carstva (ekozone), o ona dalje u ekoregione (Olson i Dinerstein-ova podjela). Svaka ekoregija karakteriše glavni biom (koji se naziva i glavnim tipom staništa). Na osnovu ove klasifikacije definisano je 200 globalnih ekoregija (Global 200), koje je WWF identifikovao kao prioritete za očuvanje.



Sl. 56 Terestrični ekoregioni po Olson-u

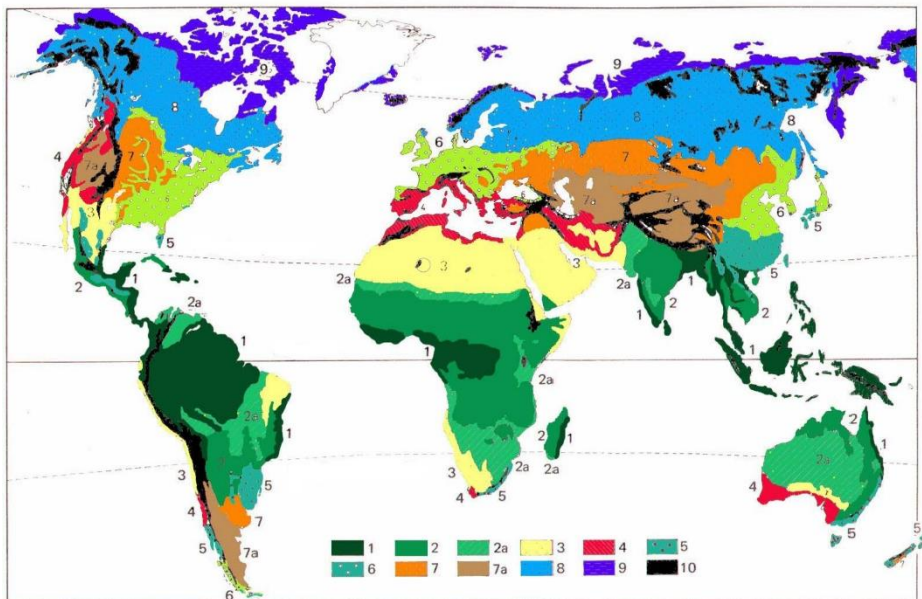
WALTER OVA KLASIFIKACIJA ZONOBIOMA

Biom se definiše i kao skup funkcionalno povezanih ekosistema, usaglašen sa makroklimatskim prilikama šireg geografskog prostora. Ukoliko dominantan ekosistem u biomu ima zonalan karakter, tada umjesto termina biom koristi se zonobiom.

Prema Walter u (Walter) kriterijumi za klasifikaciju zonobioma su globalni klimatski tip, zonalno zemljište i zonalna vegetacija, jer svaki zonobiom karakteriše specifično rasprostranjenje, specifična klima, specifično zemljište, specifična vegetacija i specifična zoocenoza.

Tabela 3. Zonobiomi po Walter -u

Tip	Kimatski tipovi	Zonalna zemljišta	Zonalna vegetacija	Zonobiomi
I	Ekvatorijalna klima „dijurnalna klima“ – dnevna variranja veća od sezonskih	Ekvatorijalna mrka glinovita zemljišta (laterit)	Tropska vječnozelena kišna šuma	Ekvatorijalni zonobiom sa diurnalnom klimom (perhumid)
II	Tropska ljeti kišna klima – ljeta veoma kišovita – hladni period godine veoma suv	Tropska crvena glinovita zemljišta ili crvenice	Tropska listopadna šuma – savana	Tropski zonobiom sa ljetnim kišama (humid)
III	Suptropska pustinska klima – godišnja količina padavina <200 mm, izuzetno zračenje	Sirozemi	Suptropska pustinja	Suptropski sušni zonobiom sa pustinjskom klimom
IV	Mediterska klima – suva i žarka ljeta – kišovite i tople zime	Mediterska mrka zemljišta i crvenice	Mediterska vječnozelena šuma	Mediterski zonobiom sa ljetnom sušom i zimskim kišama (arid-humid)
V	Topla umjerena klima – veoma toplo ljeće – zima nije hladna	Žuti ili crveni podzoli	Umjerena listopadna šuma osjetljiva na mrazeve	Topli umjereni (oceanski) zonobiom
VI	Tipična umjerena klima – topla ljeta, kratka hladna zima	Šumska mrka i siva zemljišta	Umjerena širokolisna šuma otporna na mrazeve	Tipični umjereni (šumski) zonobiom sa kratkim hladnim zimama
VII	Sušna umjerena klima – izuzetno velike razlike između toplih ljeta i veoma hladnih zima – mala količina padavina u toku godine	Černozemi i sirozemi	Stepa i hladna pustinja otporna na mrazeve	Sušni umjereni (kontinentalni) zonobiom sa hladnim zimama
VIII	Hladna umjerena ili borealna klima – hladna vlažna ljeta i veoma hladne i do pola godine duge zime	Podzoli	Četinarska šuma – tajga	Hladni umjereni (borealni) zonobiom sa hladnim ljetima
IX	Arktička klima – veoma kratka, hladna i vlačna ljeta bez noći – veoma duge i hladne zime bez dana	Polarna humusna zemljišta	Niska žbunasta vegetacija – tundra	Arktički i antarktički zonobiom sa veoma kratkim, hladnim i vlačnim ljetima



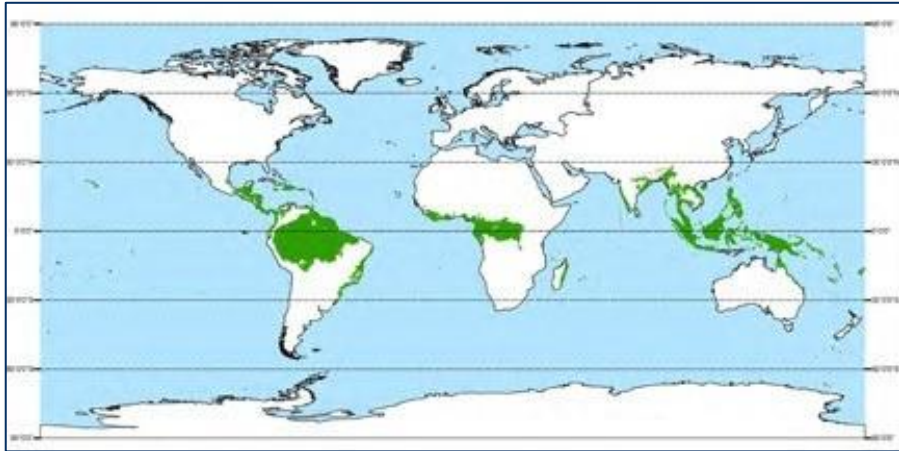
SI. 57 Karta zonobioma po Walter -u

1. Tropska vječnozelena kišna šuma, 2. Tropska listopadna šuma – savana, 3. Suptropska pustinja, 4. Mediteranska vječnozelena šuma, 5. Umjerena listopadna šuma osjetljiva na mrazeve, 6. Umjerena širokolisna šuma otporna na mrazeve, 7. Stepa i hladna pustinja otporna na mrazeve, 8. Četinarska šuma – tajga, 9. Niska žbunasta vegetacija – tundra, 10. Planinski orobiom

Walter cjelokupni kopneni prostor Zemlje grupiše u devet horizontalnih zonobioma i jedan visinski orobiom, nazivajući ih prema geografskom položaju i tipu klime. Između zonobioma postoje prelazne zone, **zonoekotoni**, koje karakteriše prelazni klimatski tip. Na primjer, prelaz između umjerenog u kontinentalni zonobiom karakteriše umjerenokontinentalna klima.

ZB. I EKVATORIJALNI ZONOBIOM

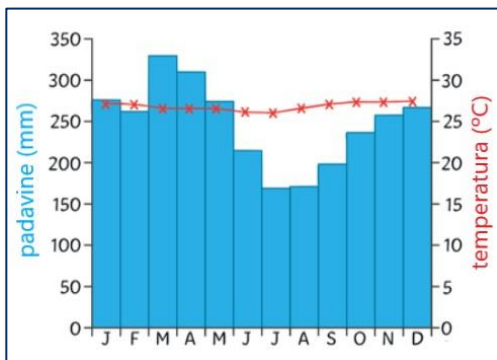
Odlikuje se perhumidnom ekvatorijalnom klimom diurnalnog tipa, ekvatorijalnim mrkim glinovitim (lateritnim) zemljištem i vegetacijom tropske vječnozelene kišne šume. Tropske kišne šume nalaze se prvenstveno u Južnoj i Srednjoj Americi, zapadnoj i centralnoj Africi, Indoneziji, dijelovima jugoistočne Azije i tropskoj Australiji. Ukupan udio ovog zonobioma iznosi oko 9% površine kopna Zemlje.



Sl. 58 Distribucija tropske vječnozelene kišne šume

Za ekvatorijalnu klimu su karakteristični stabilni uslovi tokom cijele godine i perhumidni (vlažni) period koji može trajati i svih dvanaest mjeseci. Srednja godišnja temperatura varira između 24 i 27 °C, pri čemu se srednja temperatura najhladnijeg mjeseca kreće između 22 i 25 °C, a najtoplijeg između 25 i 29 °C. Apsolutni temperaturni minimum se nalazi u rasponu od 11 do 19 °C, a apsolutni temperaturni maksimum između 30 i 38 °C. Količina padavina varira od 1800-4000 mm godišnje, ravnomjerno raspoređeno na sve mjesece u godini, tako da vegetacijski period traje svih 12 mjeseci. Za ekvatorijalnu klimu je karakteristično da su amplitude dnevno-noćnih variranja veće nego amplitude variranja srednjih mjesečnih temperatura. Temperaturna razlika na dnevno-noćnom nivou može da iznosi i do 9 °C, dok između pojedinih mjeseci rijetko prelazi 2-3 °C, što ukazuje na diurnalni tip klime. Padavine takođe odgovaraju diurnalnim oscilacijama, te su najzastupljenije oko podneva, kada je insolacija najviša, isparavanje maksimalno i vazduh zasićen vodenom parom. Nakon prestanka padavina, a usljed i dalje jake insolacije i cirkulacije vazduha, dolazi do naglog pada koncentracije vodene pare u vazduhu, što dovodi do suše u određenim dijelovima dana.

Na ovakve specifične uslove, visoke biljne vrste, edifikatori tropskih kišnih šuma, su se adaptirale nizom prilagođenosti na sušu, visok intenzitet



Sl. 59 Klimadijagram perhumidne ekvatorijalne klime

zračenja i visoku temperaturu.

Fitoklimatske prilike tropskih vječnozelenih kišnih šuma, zahvaljujući složenoj strukturi vertikalnog profila, su specifične i znatno drugačije u odnosu na makro- i mezoklimatske karakteristike ekvatorijalne klime. Prizemni spratovi, zahvaljujući izuzetno gustim spratovima krošnji, dobijaju

samo 0,5-1% direktnog Sunčevog zračenja, pa se svi procesi u njima zasnivaju na račun energije slabe difuzne svjetlosti. Teperaturnih oscilacija gotovo da nema i vazduh je konstantno zasićen vodenom parom, te u ovim slojevima izostaju adaptacije na sušu i javljaju se životne forme znatno drugačije od onih u visokim krošnjama. Klima u bilo kojoj vegetaciji (mikroklima) modifikuje se prisustvom biljnih dijelova koji smanjuju dolazno Sunčevo zračenje i cirkulaciju vazduha. To se posebno odnosi na tropske kišne šume, koje su strukturno gušće i složenije od ostale vegetacije. Unutar šume raspon temperature i brzina vjetra su smanjeni, a vlaga povećana u odnosu na klimu iznad krošnji drveća ili na obližnjim čistinama. Količina kiše koja stiže do tla takođe se smanjuje, u nekim slučajevima i do 90%, jer kišnicu upijaju epifiti i kora drveće ili je zadržana lišćem i isparava direktno nazad u atmosferu.

Mrka glinovita tla ekvatorijalnog zonobioma se razvijaju na kiseloj silikatnoj matičnoj podlozi. Usljed stalnih padavina dolazi do spiranja bazičnih jona i silikatne kiseline u dublje slojeve, dok u plićim slojevima preostaju kao dominantni Al_2O_3 i Fe_2O_3 (proces laterizacije). Oksidi gvožđa daju boju ovom zemljištu, od crvenkastosmeđe do mrke. U dubljim dijelovima se formira veća količina gline, usljed čega se kišnica dugo zadržava u površinskim dijelovima ravnog zemljišta, odnosno izaziva eroziju zemljišta na nagibima. Bez obzira na bogatstvo aluminijumom, oksidima gvožđa, hidroksidima i kaolinitom, često nedostaju drugi minerali, usljed ispiranja i erozije. Lateritna zemljišta su neslojevita, kisele reakcije (pH 4,5-5,5), sa veoma tankim slojem stelje na površini. Vruće, vlažno vrijeme uzrokuje brzu razgradnju organske materije, kao i brzu apsorpciju od strane drveća

i gljiva, tako da se ova tla ne odlikuju visokom plodnošću. Ciklusi kruženja nutrijenata su izuzetno brzi, a svi dostupni nutrijenti se gotovo istovremeno ugrađuju u fitomasu, tako da rezerve gotovo da i ne postoje, osim u dubokim pukotinama silikatnih stijena. Zahvaljujući posebnim prilagođenostima mikoriznih gljiva, koje oslobođene nutrijente procesom dekompozicije odmah predaju biljnom partneru, omogućen je rast tropskih kišnih šuma hiljadama godina na istom mjestu, bez potrebe za dodatnim nutrijentima.

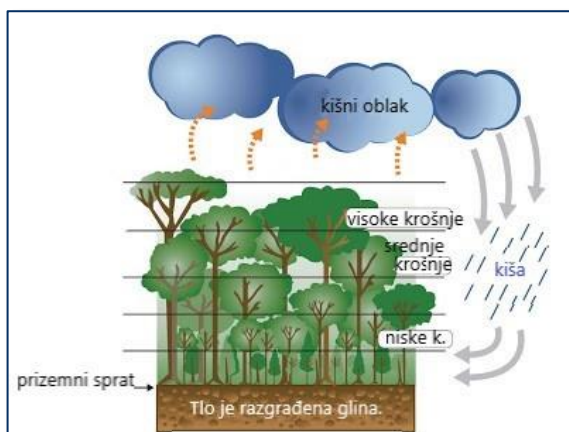
Tropska vječnozeleno kišna šuma

Tropskim kišnim vječnozelenim šumama, koje širom svijeta čine jedan od najvećih terestričnih bioma, dominiraju širokolisna stabla koja čine gustu gornju krošnju i odlikuju se ogromnom biološkom raznovrsnošću. Tropske kišne šume predstavljaju najstariji glavni vegetacijski tip još uvijek prisutan na kopnu.

Ekvatorijalne šume su, za razliku od šuma umjerenih zonobioma, **polidominantne** iz razloga što veliki broj vrsta ima približno istu pokrovnost i brojnost. Udio fanerofita, životne forme drveća, u ovim šumama je izuzetno velik, čak do 70% prisutnih biljnih vrsta. Većina ih se odlikuje izuzetno velikim diverzitetom, te je zabilježeno 40-100 biljnih vrsta po hektaru.

Tropske kišne šume karakteriše izuzetna raslojenost, tako da se na vertikalnoj stratifikaciji uočava veći broj spratova, nego što je to slučaj sa šumama umjerene klime i manjih količina padavina. Zahvaljujući veoma visokim predstavnicima, glavna krošnja drveća se proteže na visini između 50 i 60 metara,

mada se javljaju i gorostasi visine i do 100 metara. Posmatrajući spratovnost, jasno se uočava za Sunčeve zrake gotovo neprobojan sprat krošanja visokog drveća, ispod kojeg su krošnje srednjeg i krošnje nižeg drveća. Dobro su razvijena minimalno dva sprata zeljastih biljaka (visokih i niskih). Sprat visokog drveća grade pojedinačna stabla, čije krošnje



Sl. 60 Vertikalna stratifikacija tropske kišne šume

značajno nadvisuju sprat krošnji srednjeg drveća. Krošnje srednjeg i niskog drveća obrazuju gusti kontinuirani pojas, ispod kojeg je zona stabala, u kojoj nedostaju i svjetlost i nutrijenti. U prizemnom sloju se razlikuju dva sprata zeljastih biljaka. Više zeljaste biljke imaju često formu drveća i uzdižu se do visine od 7 metara. Najzastupljenije od njih su banane. Niske zeljaste biljke se razvijaju na samom dnu tropske šume i karakterišu ih brojne adaptacije na uslove slabe svjetlosti i visoke vlažnosti. Slaba je naseljenost ovog sprata usljed nedostatka nutrijenata (veće biljke su kompetitivno jače) i svjetlosti. Brojne liane povezuju sve spratove i ispunjavaju slobodan prostor između stabala visokog tropskog drveća.



Sl. 61 Tropska vječnozelena kišna šuma

Edifikatorske vrste tropske kišne šume karakterišu: veoma visoka, prava stabla bez godova, koja se granaju na velikoj visini formirajući kompaktnu i relativno usku krošnju; prisustvo **adventivnih korjenova** („daskasti“, „stubasti“ i „vazdušni“); **anizofilija** (pojava listova različite veličine na istoj biljci) i **sklerofilija** (pojava krupnih, krutih listova, pokrivenih debelim slojevima kutikule i voska). Ove adaptacije su odraz uslova sredine. Izostanak godova nastaje kao rezultat odsustva sezona. Krošnje su malene da bi se omogućilo uspravno držanje biljke, odnosno veće krošnje bi zahtijevale srazmjerno deblja stabla. Adventivni „daskasti“ i „stubasti“ korjenu podupiru i stabilišu stablo, dok „vazdušni“ usvajaju vlagu iz vazduha zasićenog vodenom parom. Anizofilija se javlja kao odgovor na različit svjetlosni i hidrički režim u gornjim slojevima krošnje, koji su

direktno izloženi insolaciji, pa je lišće sitnije, i donjim slojevima, koji su u sjeni, gdje se razvijaju i do 28 puta veći listovi. Sklerofilija predstavlja adaptivni odgovor biljaka na pritisak sredine. Pritom debeli slojevi kutikule efektivno štite list od visoke insolacije, kao i gubitka vode u vrijeme nagle kratkotrajne suše. Zahvaljujući svojoj hidrofobnosti vosak onemogućava zadržavanje vode na površini lista tokom kišnog dijela dana ili usljed noćne kondenzacije vodene pare.

Usljed ujednačenosti meteoroloških uslova tokom cijele godine, izostaju fenološke smjene u vegetacionim sezonama prisutnih biljnih vrsta. Za edifikatore je karakteristično odsustvo regularnog sezonskog listopada, odsustvo regularnog vremena cvjetanja i plodonošenja, kao i pojava kontinuiranog cvjetanja i plodonošenja, usljed čega se na istom stablu veoma često nalaze i pupoljci i cvjetovi i plodovi. Ove vrste cvjetaju u skladu sa mjesečnim ritmovima, na 4, 9 ili 32 mjeseca. Kako se pupoljci, cvjetovi i plodovi javljaju istovremeno, za ove vrste je karakteristična **kauliflorija**, pojava da se cvjetovi i plodovi javljaju na stablu i glavnim granama.



Sl.62 Kakaovac (*Theobroma cacao*), pojava kauliflorije
Lijevo listovi na stablu; desno plod kakaovca

Među višim biljkama, skrivenosjemenice su posebno raznovrsne i uključuju mnoge primitivne oblike, kao i mnoge porodice koje se ne mogu



Sl. 63 Palme tropske vječnozelene šume u Peru

naći u vegetaciji drugih zonobioma. Neke biljne porodice, poput *Arecaceae* (palmi), obično su veoma dobro zastupljene u svim regijama tropskih vječnozelenih kišnih šuma, iako se različite vrste javljaju od regije do regije. Ostale porodice su geografski ograničenije. Porodica *Dipterocarpaceae* uključuje

mnoštvo masivnih stabala koja su među najrasprostranjenijim i najvrjednijim vrstama u većini tropskih prašuma u zapadnoj Maleziji, ali su neuobičajene u Novoj Gvineji i Africi, a nema ih u južnoj i srednjoj Americi i Australiji. *Bromeliaceae*, velika porodica koja se uglavnom sastoji od epifita prašume i kojoj pripada ananas, u potpunosti je ograničena na Novi svijet. Paprati, mahovine, lišajevi i alge također su brojne i raznovrsne. Mnoge su epifiti i nalaze se pričvršćeni



Sl. 64 Najviše tropsko drvo, visoko 100,8m (*Shorea faguettiana*, žuti marenti, fam. *Dipterocarpaceae*) sa Bornea

za stabljike, a ponekad i za lišće većih biljaka, posebno na vlažnijim mjestima. Gljive i druge saprofite također su raznovrsne i imaju vitalnu ulogu u razgradnji mrtve organske materije na šumskom tlu. Ostale gljive ulaze u simbiotske odnose s korijenjem drveća (mikorize).

Biljke sličnog rasta i životnog oblika mogu se grupisati u kategorije nazvane sinuzije, koje čine različite slojeve vegetacije. U tropskim kišnim šumama sinuzije su brojnije nego u drugim tipovima ekosistema. Uključuju ne samo mehanički nezavisne oblike, čije su se stabljike samonosive, i saprofitske biljke, već i mehanički zavisne sinuzije poput penjačica, epifita, hemiepifita i parazitskih biljaka. Tropska kišna šuma je strukturno vrlo složena. Raznovrsnost tropske vegetacije ilustruje intenzivnu konkurenciju za svjetlost, koja se odvija u ovom okruženju u kojem drugi klimatski faktori nisu ograničavajući. Količina Sunčeve svjetlosti koja se

filtrira kroz mnoge slojeve lišća u tropskoj vječnozelenoj kišnoj šumi je mala; samo oko 1% svjetlosti doseže tlo. Malo biljaka može opstati u tamnom okruženju na nivou tla, prisutan je manji broj zeljastih biljaka, kao i mahovine uz veoma rijetko grmlje. Međutim, sadnica drveća ima u izobilju, sežući ka svjetlosti, uz nedovoljno energije da dostignu dovoljnu visinu prije nego iscrpe zalihe hrane iz svojih sjemenki. Šansu za dostizanje zrelosti dobijaju samo uklanjanjem nekog od gorostasa, smrću ili dejstvom vjetra. U tom slučaju znatno veća količina Sunčevog zračenja dopire do dna i inicira brzi rast i konkurenciju između mladica. Na taj način se regeneriše većina biljaka tropske prašume. Ostale vrste su nevidljivo prisutne kao uspavano sjeme u tlu. Kada se stvori praznina, sadnice ubrzavaju svoj rast u povećanom svjetlu i pridružuju im se nove mladice, koje niču iz sjemena uskladištenog u tlu, stimulirane da klijaju svjetlošću ili temperaturnim kolebanjima, koja proizlaze iz Sunčevog sjaja direktno na površinu tla. Mladice se brzo razvijaju, a najbrže rastuće grmlje i drveće brzo zasjenjuju oportunističke, svjetlosno zahtjevne zeljaste biljke. Postepeno se sporije rastuća, otpornija dugovječna stabla probijaju do nivoa krošnji, oduzimajući mjesto brže rastućim manje otpornim vrstama. Drveće koje u početku popunjava prazninu u krošnjama živi približno 100 godina, dok sporije rastuća stabla, koja ih u konačnici zamjenjuju, mogu živjeti 200 do 500 godina ili, u ekstremnim slučajevima, i duže. Lokalni, prirodni poremećaji ove vrste vitalni su za održavanje pune biološke raznovrsnosti tropske kišne šume.

Biljke su i u zemljištu u konstantnoj konkurenciji. Kompeticija za nutrijente dovela je do različitih adaptacija. Posebno su značajne simbiotske mikorizne asocijacije sa gljivama. Gljive dobijaju energiju sa stabla, a zauzvrat drvetu daju fosfor i druge hranljive sastojke koje vrlo efikasno apsorbiraju iz tla.

Rast drveća zahtijeva značajna ulaganja energije u razvoj debla, što neke biljke izbjegavaju koristeći stabla drugih biljaka radi podrške. **Lijane** su veoma raznovrsne i brojne penjačice tropskih kišnih šuma. To su masivne drvenaste biljke čije zrele stabljike često prolaze kroz stotine metara šume, šaljući mladice u nove krošnje drveća, dok uzastopna potporna stabla umiru i propadaju.

Epifiti su posebno raznovrsni i uključuju velike biljke poput orhideja, aroida, bromelija i paprati, kao i manje predstavnike kao što su alge, mahovine i lišajevi. U tropskim kišnim šumama epifiti su često toliko bogati da svojom težinom obaraju drveće. Epifiti koji rastu u blizini gornjih krošnji šume imaju pristup jakoj Sunčevoj svjetlosti, ali moraju preživjeti bez kontakta korijena

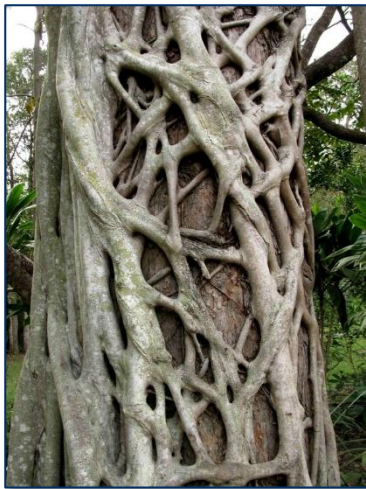
s tlom, te zavise od količine padavina. Tokom sušnih perioda epifiti trpe stres, jer se voda koja se skladišti u njihovim tkivima iscrpljuje.

Javljaju se i parazitske cvjetnice. Hemiparazitne imele pričvršćene na



Sl. 65 *Rafflesia arnoldii*

granama drveća izvlače vodu i minerale iz domaćina, ali vrše vlastitu fotosintezu. Javljaju se i potpuno parazitske vrste, kao npr. *Rafflesia*, u jugoistočnoj Aziji, koja parazitira na korijenima određenih lijana i ne proizvodi nadzemne dijelove, a na površini se javlja samom gigantski cvijet.



Sl. 66 *Ficus* sp. – korijenjem obraslo deblo domaćina

Hemiepifitske vrste, posebno iz roda *Ficus* (smokve), su karakteristične za tropske kišne šume. Svoj život započinju kao epifiti, rastući iz sjemena koje su ptice ili voćni slijepi miševi ostavili na visokim granama drveća. Kako rastu, razvijaju dugačke korijene koji se spuštaju duž debla domaćina, na kraju dosežući i ulazeći u tlo. Nekoliko korijena međusobno se ukršta, formirajući postepeno rešetku, koja na kraju gotovo potpuno prekriva deblo domaćina. Krošnja domaćina postaje zasjenjena gustim lišćem smokve, deblo joj je stegnuto okolnim korjenovim omotačem i vlastiti korijenski sistem prisiljen je da se nadmeće sa korijenjem smokve. Drvo domaćin na kraju umire i truli, ostavljajući ogromno „drvo smokve“, čije je prividno deblo zapravo cilindar korijena, prepun velikih udubina, koje pružaju sklonište brojnim životinjama. Ovi hemiepifiti mogu razviti korijenje i na svojim granama, koje kada dodirnu zemlju, urastu u tlo, zadebljaju i postanu dodatna „debla“. Na taj način rastu prema vani, zauzimajući veliki dio šume, koji se u stvari sastoji od jedne biljke s mnogo međusobno povezanih stabala. Iako ove vrste često „uguše“ i nadmaše domaćina, postoje dokazi da pojedini domaćini obloženi rešetkom korijenja imaju znatno bolje mogućnosti za preživljavanje tropskih ciklona, što ukazuje na određeni stepen mutualizma. Ove smokve vrše samostalno fotosintezu i ne oslanjaju se na domaćine u ishrani.

FAUNA TROPSKE VJEČNOZELENE KIŠNE ŠUME

Kao i kod biljaka, neke se životinjske grupe javljaju u svim tropskim regijama vječnozelene kišne šume. Na primjer, može se očekivati da će se u bilo kojoj tropskoj šumi pojaviti razni papagaji, golubovi i zlatice koje jedu voće. Ostale grupe su ograničenije. Majmuni, iako su tipični za tropske kišne šume i u Novom i u Starom svijetu, u potpunosti odsustvuju sa Nove Gvineje i područja na njenom istoku i jugu. Arborealni kenguri, kao i rajске ptice, naseljavaju krošnje tropskih kišnih šuma samo u Australiji i Novoj Gvineji.

Geografske varijacije u bioti tropskih kišnih šuma rezultat su dugotrajnih geoloških promjena. Pojedini dijelovi kopna (ostrva i kontinenti) su se cijepali i udaljavali, te su evolutivni pravci organizama koji su ih naseljavali tekli samostalno. Iz tog razloga se fauna Australije i Nove Gvineje značajno razlikuje od faune jugoistočne Azije. Kontrast je posebno izražen u odnosu na sisare. Na zapadu su prašume naseljene majmunima, jelenima, svinjama, mačkama, slonovima i nosorozima, dok one na istoku naseljavaju torbari. Samo je nekoliko grupa poput šišmiša i glodara migriralo i postalo uobičajeno u oba područja.

Specifičnost zoocenoze tropskih kišnih šuma se ogleda u specijalizaciji vrsta za život u pojedinim spratovima ovih ekosistema. Posebno su karakteristični arborealni oblici, među kojima je veliki broj sisara (posebno se ističu primati), ali i arborealnih vodozemaca i gmizavaca.

Ogroman je diverzitet arborealnih žaba ovog zonobioma, koje ukupan životni ciklus, od jaja, punoglavaca do adulta, provode u krošnjama visokog drveća. Posebno se ističu otrovne žabe (fam. Dendrobatidae), koje naseljavaju tropske kišne šume od Nikaragve do Perua i Brazila. Njihova toksičnost potiče od alkaloidnog sekreta kože, potencijalno smrtonosnog i za ljude. Brojna južnoamerička domorodačka plemena premazuju strelice sekretom ovih otrovnih žaba. Sekret otrovne žabe (*Phyllobates terribilis*), toliko je otrovan da i u malim količinama može da ubije veliku pticu ili majmuna. Većinu dendrobatida karakterišu izrazito jarke upozoravajuće boje tijela (aposematizam).



**Sl. 67 Zlatna otrovna žaba
(*Phyllobates terribilis*)**

Zahvaljujući životu u visokim krošnjama brojni vodozemci, gmizavci i sisari su razvili nove načine kretanja, uključujući let pomoću razapetih kožica između prstiju ili između čitavih ekstremiteta. Penjanje je olakšano dugim repovima, nasuprotnim prstima, oštrim kandžama, prijanjajućim stopalima i slično.

Mnogobrojni beskičmenjaci naseljavaju sve dijelove tropske kišne šume. Njihova biomasa je najveća, tako da predstavljaju jednu od ključnih komponenti u lancima ishrane.

Za ove šume je karakteristično prisustvo i krupnih predatora iz porodice mačaka (oceloti, panteri, tigrovi), ali i iz klase gmizavaca (pitoni, boe, anakonde).

Tropske kišne šume odlikuju se ne samo izvanrednim bogatstvom biote, već i složenošću međusobnih odnosa svih biljnih i životinjskih stanovnika, koji su se razvijali tokom mnogo miliona godina. Kao i u svim ekosistemima, uklanjanje jedne vrste ugrožava opstanak drugih s kojima je ona u interakciji.

Neka od najviših stabala i lijana, kao i epifiti koje podržavaju, donose cvijeće i plodove na vrh krošnji prašume, gdje se vazduh nesmetano kreće. Njihovo oprašivanje, kao i rasijavanje sjemena, zavisi od vjetra. Međutim, veliki broj biljnih vrsta tropskih kišnih šuma živi u kompaktnim slojevima, u kojima gotovo da i nema vjetra. Za reproduktivni uspjeh zavise od životinja, jednako koliko i one od njih, po pitanju ishrane.

Mnoga stabla prašume imaju velika sjemena iz kojih izlaze velike sadnice i probijaju se kroz gustu prostirku mrtvog lišća na tamnom šumskom dnu. Razvijaju visoke stabljike, koristeći rezerve hrane u sjemenu, a da se ne moraju oslanjati na Sunčevu svjetlost, koja je obično previše slaba, da bi zadovoljila svoje energetske potrebe. Budući da veliko sjeme ne može raširiti vjetar, rasijavanje ovih biljkaka u potpunosti zavisi od životinja, pa su vremenom razvile različite adaptacije u cilju privlačenja životinja. Voćne šišmiše privlače mirisni, slatki plodovi koje obično pronalaze na vanjskim dijelovima krošnji drveća (adaptacija dostupnosti). Plod kojim se veoma često hrane potiče sa stabla manga (*Mangifera indica*), u kišnim šumama Indije. Šišmiši se ne hrane samo plodovima dok vise s drveća, već plod često i nose sa sobom. Manje plodove gutaju cijele, a sjeme koje prolazi kroz crijeva ostaje netaknuto i putem izmeta prenešeno daleko od matičnog stabla.

Brojne ptičje vrste se hrane svim vrstama plodova, omogućavajući rasijavanje tih biljnih vrsta. Kopneni sisari također pomažu u širenju sjemena. U mnogim slučajevima ovo je pogodovalo pozicioniranju cvijeća i plodova ispod krošnje na stablima drveća dostupnim životinjama koje se ne mogu penjati ili letjeti (kauliflorija). U nekim slučajevima plodovi se formiraju u krošnjama, ali padaju dok dozrijevaju, otvarajući se tek nakon pada, kako bi privukli životinje koje žive na tlu. Na primjer plodovima durianovog voća (*Durio zibethinus*) iz kišnih šuma jugoistočne Azije hrani se čitav niz sisara, uključujući svinje, slonove, pa čak i figrove, i na taj način rasprostiru sjeme.

Pored širenja sjemena, životinje su vitalne za reprodukciju tropskih prašuma putem oprašivanja cvjetova. Mnogi insekti poput pčela, moljaca, muva i kornjaša, kao i ptice i šišmiši provode ovu aktivnost. Ptice poput kolibrja iz Južne i Srednje Amerike imaju prilagođenosti koje im omogućavaju ishranu nektarom iz cvijeta, pri čemu se zapraše polenom, noseći ga potom na druge cvjetove, oprašujući ih. Većina cvjetova koje oprašuju ptice je veoma uočljive boje (crvena), dok je cvijeće koje oprašuju noćni moljci bijelo ili ružičasto, a ono koje oprašuju insekti koji lete danju žuto ili narandžasto. Šišmiši su važni oprašivači određenih blijedih, mirisnih cvjetova koji se uveče otvaraju u azijskim tropskim kišnim šumama.



Sl.68 Kolibri (*Ramphodon naevius*)

Tropske kišne šume danas predstavljaju riznicu biološkog nasljeđa, a usvajaju i više od 50% ukupnog atmosferskog CO₂, koji biljke godišnje apsorbuju. Tropska kišna šuma Afrike bila je stanište u kojem su evoluirali preci ljudi, i tu još uvijek žive najbliži preživjeli ljudski srodnici - šimpanze i gorile. Tropske kišne šume pružale su bogatstvo hrane i drugih resursa autohtonim narodima, koji su većinom iskorištavali ove resurse bez degradacije vegetacije ili smanjenja njenog obima u značajnijem stepenu. Međutim, u nekim regijama se smatra da je duga istorija spaljivanja šuma od strane lokalnog stanovništva prouzrokovala opsežnu zamjenu tropskih prašuma savanom.

Međutim, tek u prošlom vijeku došlo je do ogromnog uništavanja tropskih šuma i taj trend se nastavio, kako bi se osigurali resursi poput drveta i

stvorilo zemljište koje se može koristiti u druge svrhe, kao što je ispaša stoke. Progresivnom stepenu deforestacije i nestajanju tropskih kišnih šuma u velikoj mjeri pridonose rudarstvo, vađenje nafte, gradnja hidroelektrana i podizanje brana te izgradnja saobraćajnica. Danas tropske šume, više nego bilo koji drugi ekosistem, doživljavaju promjene staništa i izumiranje vrsta u većem obimu i bržim tempom nego u bilo koje drugo doba u svojoj historiji - barem od najvećeg događaja izumiranja (izumiranje K-T), prije nekih 66 miliona godina.

Izuzetno mali broj biljnih i životinjskih vrsta tropskih kišnih šuma je formalno opisan i imenovan, pa se procjena ukupnog broja vrsta sadržanih u tim ekosistemima, kao i broja vrsta koje izumiru kao rezultat uništavanja šuma može dati samo okvirno. Ipak, sasvim je jasno da su ove zajednice najrazličitije od svih i sadrže više vrsta nego bilo koji drugi ekosistem. To je



Sl.69 Deforestacija Amazonije

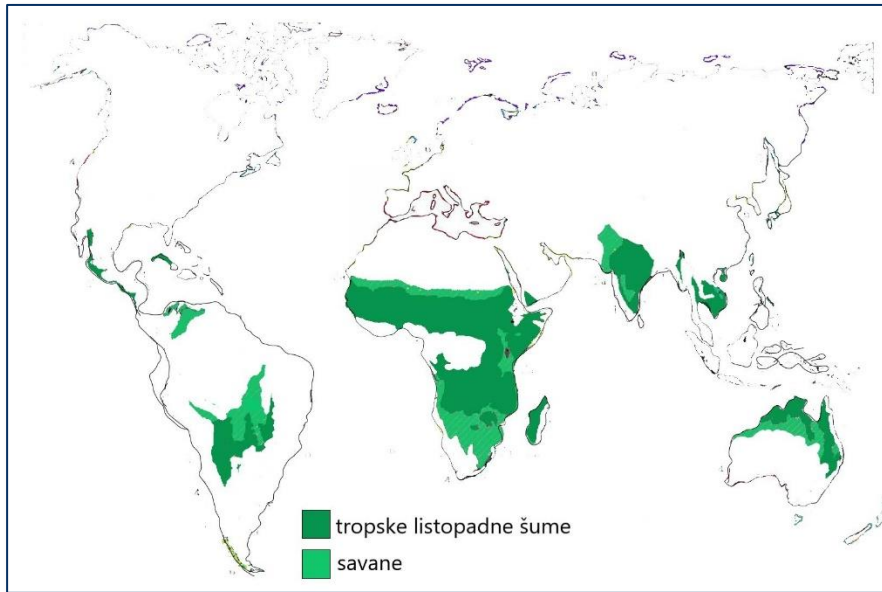
posebno slučaj u regijama u kojima su tropske kišne šume ne samo široko rasprostranjene, već su i razdvojene u mnoga mala područja geografskim preprekama, kao u ostrvskoj indonežanskoj regiji. Na ovom

području se često nalaze različite, ali srodne vrste širom različitih grupa ostrva, uvećavajući tako ukupnu regionalnu raznovrsnost.. Izuzetno velik broj vrsta javlja se i na područjima različitih staništa, poput topografski ili geološki složenih regija i na mjestima za koja se vjeruje da su djelovala kao refugijumi tokom klimatskih kolebanja u posljednjih nekoliko miliona godina. Prema prilično pouzdanim procjenama, više od stotinu vrsta faune i flore tropske kišne šume izumire svake sedmice kao rezultat obimnog krčenja šuma od strane ljudi. Smatra se da insekti čine najveći postotak vrsta koje nestaju.

Ukoliko se deforestacija i dalje nastavi u sadašnjim razmjerama, mnogi naučnici vjeruju da će ekosistem tropskih kišnih šuma u potpunosti nestati do 2030. godine.

ZB. II TROPSKI ZONBIOM

Osnovne karakteristike ovog zonobioma su tropska ljeti kišna klima, tropska crvena glinovita zemljišta i vegetacija tropske listopadne šume i savane.

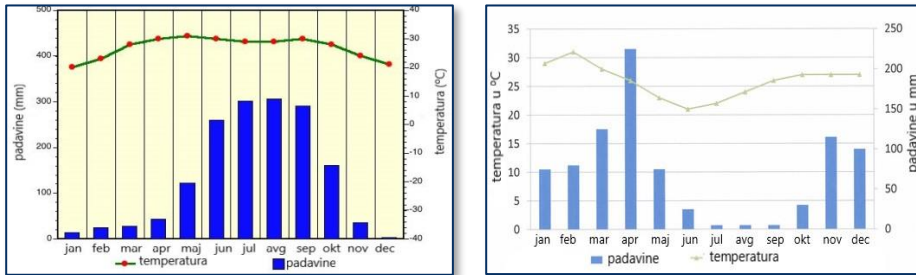


Sl. 70 Distribucija tropskog zonobioma

Prostire se sa obe strane ekvatora u Africi, u Indiji i jugoistočnoj Aziji, na najsjevernijim dijelovima australskog kontinenta, a u Centralnoj Americi se javlja iznad 20° sjeverne geografske širine, dok ekstrazonalno zahvata i veći dio Venecuele. Ovom zonobiomu pripada oko 20% površine kopna.

Klimu ovog zonobioma karakterišu prilično ujednačeni temperaturni uslovi tokom cijele godine i pojava izraženo vlažnog ljetnog i izraženo sušnog zimskog perioda. Padavine variraju od 300-1500 mm. Sva godišnja količina padavina se izlije u kratkom vlažnom periodu godine, dok je sušni znatno duži. Iz tog razloga ovu klimu karakteriše **perhumidnost** (ekstremno vlažni period sa mjesečnim padavinama >100 mm) tokom 2-5 mjeseci ljetnog perioda, kao i ekstremno sušan period tokom jeseni, zime i proljeća. Srednje godišnje temperature kreću se u rasponu od 23-26 °C, pri čemu su najniže temperature između 18 i 22 °C, a najviše između 26 i 30 °C, sa apsolutnim temperaturnim minimumom između 6 i 10 °C. Odsustvuje hladni zimski period niskih temperatura, kao i mrazevi. Vegetacioni period traje 12 mjeseci, ali s usporavanjem svih fizioloških procesa tokom zimskog sušnog perioda.

U okviru ovog zonobioma razlikuju se dvije klimatske varijante, vlažna tropska ljeti kišna klima (500-1500 mm padavina, sušni period 4-7 mjeseci) i sušna tropska ljeti kišna klima (300-500 mm padavina, ekstremno sušni period 7-8 mjeseci). U predjelima vlažne tropske klime razvijaju se tropske listopadne šume, a gdje preovladava sušna tropska klima savane.



Sl. 71 Klimadijagrami vlažne i sušne tropske ljeti kišne klime, a) Kalkuta, b) Serengeti

Fitoklimatske prilike najnižih spratova tropskih listopadnih šuma u vrijeme ljetnih kiša, po mnogo čemu se razlikuju od opštih makro- i mezoklimatskih karakteristika zonalne klime. U vrijeme bujnih krošnji, prizemni spratovi dobijaju samo difuznu svjetlost, temperaturna variranja odsustvuju i vazduh je zasićen vodenom parom. Zimi, tokom sušnog perioda, nastupa listopad, pa se uslovi svih spratova izjednačavaju sa uslovima zonalne klime. Kako su savanski sistemi otvoreni, u njima se ne formiraju specifični fitoklimatski uslovi, već su svi članovi pod direktnim uticajem tropske ljeti kišne klime.

Tropska crvena glinovita zemljišta pripadaju tipu feralitnih zemljišta. Boja feralitnih zemljišta potiče od nakupljanja metalnih oksida, posebno gvožđa i aluminijuma. Nastaju na geološki starim matičnim materijalima u vlažnoj tropskoj klimi, s vegetacijom tropske listopadne šume. Karakteriše ih površina tanke teksture sa niskim odnosom mulja i gline, visokim sadržajem kaolinitne gline i oksida gvožđa i aluminijuma, te malim količinama raspoloživih jona kalcijuma ili magnezijuma. Veće količine gline se javljaju u dubljim slojevima, pa su i ova zemljišta, slično lateritnim, ilovastog karaktera. Ispiranja pojedinih minerala su manja nego na ekvatorijalnom zonobiomu, zbog sezonskog karaktera padavina. Ova zemljišta imaju veći kapacitet adsorpcije, pa zadržavaju više nutrijenata nego lateritna zemljišta. Kapacitet zadržavanja vode im je znatno veći, pa je ne gube u potpunosti ni u vrijeme sušne sezone. U odnosu na zemljišta umjerene zone, ipak su znatno siromašnija nutrijentima. Na kvalitet ovog zemljišta posebno utiče nedostatak fosfora i sumpora usljed stalnih erozija i ispiranja. Ova područja su dio Gondvane, te nisu u prošlosti

bila u kontaktu sa okeanom, tako da nedostaje uticaj morskih sedimenata. Dovoljno sumpora i fosfora se sreće samo u zemljištu formiranom na vulkanskim stijenama, te se tu razvijaju bogate tropske listopadne šume, dok se na ostalim područjima javljaju savane (zbog toga ih često svrstavaju u poseban pedobiom).

Kako se vegetacija suvih područja tropske ljeti kišne klime značajno razlikuje od vegetacije vlažne ljeti kišne klime, troski zonobiom sa ljetnim kišama se dijeli na dva podzonobioma: vlažni tropski podzonobiom listopadnih šuma (ZB IIa) i sušni podzonobiom savana (ZB IIb).

Tropska listopadna šuma

Dramatične razlike između vlažne i sušne sezone rezultovale su mnogim endemskim vrstama koje su se prilagodile ovim ekstremnim uslovima. Tropske listopadne šume odlikuje manji biodiverzitet u odnosu na tropske vječnozelene šume. Ipak i ove zajednice obiluju vrstama i karakteriše ih polidominantnost. Od životnih formi najzastupljenije su fanerofite (drveće). Tropske listopadne šume manje su produktivne od tropskih kišnih šuma, jer sezonska suša ograničava rast biljaka. Kao rezultat, drveće je manje nego u tropskim kišnim šumama, krošnje su manje guste, a svjetlost je znatno dostupnija svim spratovima i prestaje biti glavni ograničavajući faktor. Vertikalna struktura listopadnih tropskih šuma u mnogočemu podsjeća na vječnozelene tropske kišne šume. I ovdje se javljaju spratovi veoma visokog, visokog i niskog drveća, nekoliko spratova zeljastih biljaka i brojne lijjane. Ne javljaju se giganti kao u tropskim vlažnim šumama, mada su pojedina stabla impozantne visine, preko 50 metara. Za vrijeme kišne sezone, ove šume po fiziognomiji i strukturi veoma podsjećaju na tropske vječnozelene šume. Međutim, njihov izgled se zahvaljujući listopadu u potpunosti mijenja u vrijeme zimskog sušnog perioda, kada nastupa faza mirovanja. Listopad je uslovljen sušom, a ne niskom temperaturom, što je slučaj kod listopadnih šuma umjerenih područja. Budući da su krošnje znatno otvorenije nego u tropskim vječnozelenim šumama, svjetlost dopire do tla, posebni u vrijeme listopada, pa zeljastih biljaka ima u izobilju, posebno početkom kišne sezone.

Biljke su često adaptirane za efikasno korištenje vode: mnoge imaju male listove (**mikrofilija**), radi smanjenja zagrijavanja i transpiracije, ili imaju sočne listove ili stabljike, koji čuvaju vodu tokom suše.

Sušna sezona ima presudnu ulogu u oblikovanju godišnjih ritmova vegetacije. Na primjer, jaka sušna sezona smanjuje i brojnost herbivornih insekata. U svhoj tropskoj šumi na jugu Indije, sa 1200 mm godišnjih padavina i šestomjesečnom sušnom sezonom, drveće olistava nekoliko

sedmica prije početka kiša, kada odsustvuju insekti. Dok kiša omogućí pojavu insekata, ovi listovi postaju tvrdi i nepovoljniji za njihovu ishranu.

Mimo ovih ekstremnih primjera, tropske listopadne šume vrhunac listanja, cvjetanja i plodonošenja imaju tokom sunčanijeg dijela sezone, kada ni padavine ni insolacija nisu ograničavajući faktori. Zapravo, dolazak kišne sezone u sezonske šume sličan je dolasku proljeća umjerenih regiona. Iako neke sezonske šumske biljke zavise o sušnim sezonama za



Sl. 72 Tropska listopadna šuma

pokretanje sinhronog cvjetanja, najveći broj vrsta, posebno onih s malim cvjetovima koje oprašuju insekti, cvjeta nakon što započne sezona kiša, kada se brojnost insekata rapidno povećava. Iako mnoga drveća zahvaljujući dobro razvijenom korjenovom sistemu i dobrom vodnom kapacitetu tla mogu doći do vode čak i u jeku sušne sezone, isto ne vrijedi



Sl. 73 Orhideja

za mladice. U sezonskoj šumi većina mladica klija ubrzo nakon što započne kišna sezona, da bi imala dovoljno vremena za duboko ukorjenjivanje prije sljedeće sušne sezone. Zahvaljujući zimskom sušnom listopadu i cvjetanju i olistavanju pred ili početkom kišne sezone, dostupnost cvijeća i voća je sezonska.

Pored mnogobrojnih lijana, listopadne tropske šume karakterišu i razne epifite, poput orhideja, brojne i u tropskim vječnozelenim šumama. Šume jugoistočne Azije obiluju visokim prestavnicima tikovine i šipražjima bambusa, dok širom sjeverne Južne Amerike dominira drveće umjerene visine, posebno leguminozne vrste.

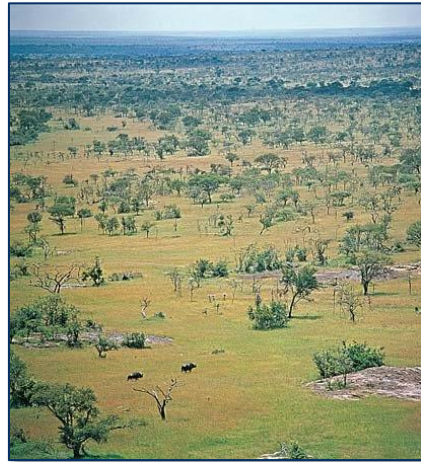
Zoocenoza ovih šuma dosta podsjeća na zoocenozu tropskih kišnih šuma, posebno po zastupljenosti arborealnih vrsta, zatim letećih sisara i gmizavaca, kao i krupnih predatora, mačaka i džinovskih zmija.

Savane

Savane su nastajale kako su se padavine progresivno smanjivale na rubovima tropskog pojasa tokom kenozoika (prije 66 miliona godina do danas) - naročito tokom poslednjih 25 miliona godina. Klima širom svijeta postajala je sve hladnija u tom periodu. Niže temperature okeanske površine smanjile su isparavanje vode, što je usporilo čitav hidrološki ciklus, sa manje formiranja oblaka i padavina. Vegetacija regija srednje širine, koja leži između vlažnih ekvatorijalnih područja i vlažnih hladnih umjerenih zona, bila je znatno pogođena.

Glavne regije u kojima su se pojavile savane kao odgovor na tu dugoročnu klimatsku promjenu, tropska Amerika, Afrika, južna Azija i Australija, tada su već bile odvojene okeanskim barijerama. Migracija biljaka preko tih barijera bila je onemogućena, a detalji o pojavi savana na svakom kontinentu varirali su. U svakoj regiji različite biljne i životinjske vrste evoluirale su da zauzmu nova sezonski suva staništa.

Biota savana se razlikuje od regije do regije. Savane u Aziji i tropskoj Americi, za razliku od Afrike i Australije, najviše odgovaraju oslabljenim šumama, njihove prirodne biote imaju snažne afinitete za vlažnije sredine slične onima bliže ekvatoru u istim regijama. Drveće u tim savanama obično je listopadno, a lišće im pada tokom sušne sezone. Afrička biota savane u osnovi je travnjački sklop biljaka i životinja s dodatkom raštrkanog drveća.



Sl. 74 Ravnica Serengeti, Afrika

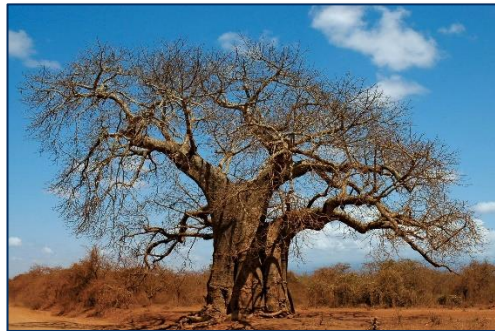
Različite grupe biljaka su edifikatori u savanama različitih regija. Preko velikih dijelova tropskih američkih savana, najčešća su stabla širokog lišća američke kuratele (*Curatella americana*), u Argentini je najčešća drvenasta mahunarka prosopis (*Prosopis sp.*). U sušnijim regijama istočne Afrike dominiraju akacije i baobabi, čvrste palme ili sočne euforbije. U vlažnijim savanama javljaju se viši drvenasti predstavnici miombo, koji rastu iznad 3 metra visokog sloja slonove trave. U Indiji je vegetacija savane u većini područja uveliko izmijenjena antropogenim uticajem. Tamo gdje su najmanje izmijenjene, indijske se savane obično sastoje od bodljikavog drveća akacija i mimoza, koje rastu preko travnatog

pokrivača. Flora savane Australije odgovara flori drugih vrsta sklerofilne vegetacije (zadebljale drvenaste biljke s žilavim lišćem), pri čemu ni fauna ni flora nisu izrazito savanskog tipa. Većina stabala je zimzelena, sušnu sezonu ne preživljava listopadom već smanjenjem gubitka vode iz njih. Dominantno drveće savana u Australiji i južnoj Novoj Gvineji su razne vrste eukaliptusa, a često su zastupljeni i akacije i drugi visoki grmovi. Većina drveća i grmlja australske savane izrazito je sklerofilna.

Savanske zajednice su **oligodominantne**, izgrađene iz malog broja trava i pojedinačnog raštrkanog drveća. Od životnih formi dominiraju hemikriptofite (zeljaste višegodišnje biljke) i terofite (zeljaste jednogodišnje biljke). Česti su i žbunovi koji pripadaju hamefitama i nanofanerofitama.

Osnovne karakteristike savanskih trava su prilagođenosti na sušne uslove. One se ogledaju u specifičnoj građi korjena, koji se intenzivno grana u površinskim slojevima tla i na taj način veoma efikasno upija i male količine vode iz podloge. Imaju veoma duge, uske, trakaste listove, koji se u periodu suše uvijaju uzdužno, štiteći biljku od prevelikog isparavanja. Vršni pupoljak, iz kojeg će se razviti novo stablo ili listovi, je dobro zaštićen od suše odumrlim suvim listovima uz samo tlo ili čak unutar njega.

Savanska drveća su morfološki veoma specifična. Javljaju se oblici sa voluminoznim stablima, koja akumuliraju ogromne količine vode. Afrički baobab zadržava u stablu i do 120 000 litara vode. Stabla akacija i mimoza imaju tanka stabla, sa tankim krošnjama, što im daje izgled otvorenog kišobrana i smanjuje isušivanje vjetrom. Za



Sl. 75 Stablo baobaba, Kenija

drveće savane je karakteristična pojava sitnog lišća (mikrofilija) sa sezonskim listopadom. Pojedine vrste odbacuju i čitave grane (**granopad**), što je jedinstvena adaptacija uočena samo u savanama. Zbog ekstremno sušnih uslova i prisustva velikog broja krupnih biljojeda, mnoge vrste imaju listove i izdanke metamorfozirane u trnje.

Fenologija predstavnika savana odgovara onoj kod tropskih listopadnih šuma. Karakteriše ih prisustvo regularnog sezonskog listopada, prisustvo regularnog vremena cvjetanja i plodonošenja, kao i pojava dvije vegetacione faze koje odgovaraju sušnom i vlažnom periodu godine.

Savane pružaju staništa širokom spektru životinja. Zastupljeni su u velikom broju krupni biljojedi, poput zebri, gnuova i drugih antilopa, slonova, nosoroga i žirafa. Manje spektakularni, ali ipak vrlo važni su mali beskičmenjaci; na primjer, skakavci i gusjenice, koji su među glavnim potrošačima lišća, a termiti su značajan potrošač mrtvih biljnih materija, uključujući drvo. Glavnu animalnu biomasu savana, i pored ogromne brojnosti beskičmenjaka, čine krupni biljojedi, kojima se hrane krupni mesojedi, kao što su lavovi, leopardi, hijene, divlji afrički psi i velika jata krupnih lešinara. Za savanske zoocenoze su specifični i predstavnici podzemne životne forme, među kojima je dosta i sisara.

Grupni raspored jedinki, posebno krupnih biljojeda, kao i prilagođenost sitnih vrsta podzemnom načinu života, predstavljaju odgovor na nedostatak skloništa u otvorenim savanama.

Možda je najpoznatija fauna savane Afrike zbog svojih velikih sisara. Oni su u osnovi dio travnate zajednice, uprkos prisustvu niskog drveća. Većina hrane zavisi od travnate komponente vegetacije bilo direktno, kao za biljojede (bivo, zebra, gnu, nilski konj, nosorog i antilopa) ili indirektno, kao što je slučaj s predatorima ili lešinarima, koji se prvenstveno hrane krupnim biljojedima. Samo se mali broj vrsta, uključujući žirafu i slona, oslanja na lišće ili voće sa često bodljikavog drveća.

Velike životinje su neuobičajene u australskim savanama. Čine ih uglavnom nekoliko vrsta iz porodice Macropodidae, poput kengura i valabija. Međutim, u toj regiji je izumro širok spektar vrlo velikih sisara i gmizavaca, što zbog izmijenjenih klimatskih prilika, u ranijim periodima (ledena doba i njihovo povlačenje), što pod antropogenim pritiskom, unazad nekoliko hiljada godina. Danas njihovo mjesto zauzimaju životinje, pripitomljene i divlje, koje su ljudi introdukovali: uglavnom stoka, ali i konji, a lokalnije i kamile, magarci i azijski vodeni bivoli.

Životinje savana prilagodile su se preživljavanju sezonskih varijacija u dostupnosti hrane. Mnoge ptice i mnogi sisari, posebno u Africi, su sezonski migranti, koji zauzimaju savane tokom i neposredno nakon vlažne sezone, kada je vegetacija bujna i hrane ima u velikim količinama. Kako zeleni dijelovi biljaka nestaju



Sl. 76 Migracija gnuova

kasnije u sušnoj sezoni, oni se sele u potrazi za hranom. Sezonski kontrast u dostupnosti biljne hrane manje je izražen pod zemljom gdje korijenje, krtole i drugi podzemni organi obično čine veliki udio u ukupnoj biljnoj biomasi. Na primjer, do četiri puta više od nadzemne komponente pronađeno je podzemno na nekim zapadnoafričkim mjestima, posebno u sušnoj sezoni. Zbog toga većina beskičmenjaka, ali i predstavnika drugih grupa životinja provode većinu svog života pod zemljom.

Kamuflaža i mimikrija su također vrlo važni za životinje u savani. Predatori često moraju da se stope sa okolinom kako bi se prikrali plijenu. Plijen također koristi istu kamuflačnu tehniku kao odbrambeni mehanizam kako bi se sakrio od životinja viših u lancu ishrane.

Prijetnje

Tropske listopadne šume i savane osjetljive su na požare (pretjerano sagorijevanje), krčenje šuma, prekomjernu ispašu i introdukciju alohtonih vrsta. Ovaj ekosistem je veoma osjetljiv na poremećaje i veoma se teško obnavlja, usljed spore sukcesijske vegetativne faze u nepredvidivim i promjenjivim uslovima u roku od godinu dana i između godina.



Sl. 77 Požar u australijskoj savani

Očuvanje tropskih listopadnih šuma zahtijeva očuvanje velikih i kontinuiranih površina šuma. Za mnoge vrste sisara i ptica presudno je zaštititi i priobalne šume i izvore vode. Velika i kontinuirana područja pod

zaštitom pomažu u održavanju većih grabljivaca i pomažu u sprečavanju lovačkog pritiska od strane ljudi na osjetljive vrste.

Na savane utiče i prekomjerna sječa drvenastih biljaka. Zajedno s ispašom i obrađivanjem, ovo iscrpljuje i travnate i drvenaste komponente vegetativnog pokrivača. Često rezultuju ubrzanom erozijom tla i dovode do dezertifikacije.

Vatra je važan faktor ekosistema savane u svim regijama. Požari se prirodno pale munjom, ali u većini regiona ljudi su sada najčešći uzročnik požara savane. Vatra prvenstveno sagorijeva trave, stelju i ostatke mrtvog biljnog materijala, koji se brzo isušuje nakon kišne sezone. Drveće savane obično ima gustu plutastu koru koja štiti stablo, kada dostigne dovoljnu zrelost i veličinu. Iako su požari važni za regeneraciju i održavanje vegetacije savane u svim regijama, postoje određena neslaganja u vezi s tim u kojoj mjeri požar treba smatrati prirodnim fenomenom, kao i u kojoj je mjeri prvenstveno odgovoran za rasprostranjenost i karakter vegetacije savane. Požari svake godine gore u savanama svih regija, a najviše u Australiji.



Sl. 78 Degradirano zemljište požarima i ispašom

U Australiji ljudi pale vatru u savani najmanje 50 000 godina. Ove vatre tradicionalno se pale iz mnogih razloga: da bi se zemlja otvorila i učinila prohodnom; otkrile i ubile male jestive životinje poput guštera, kornjača i

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

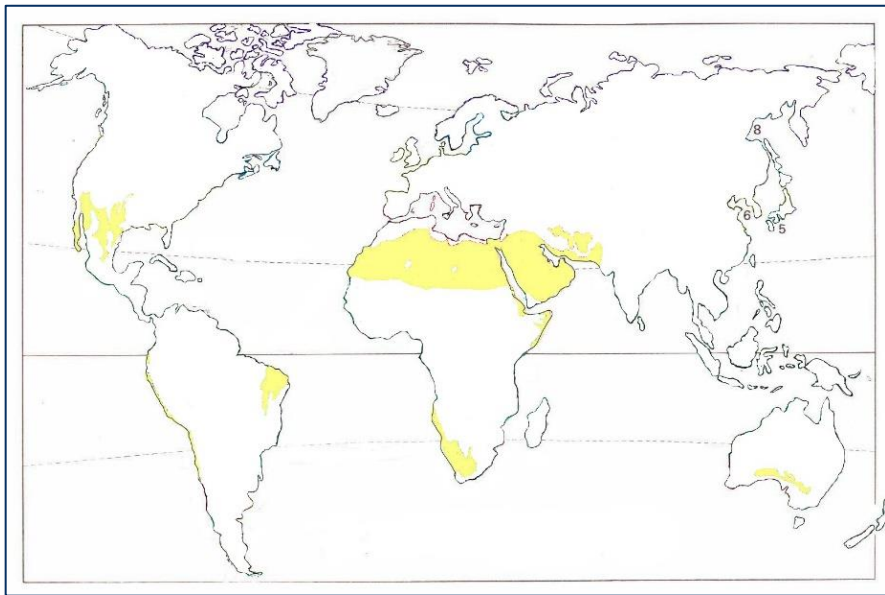
glodara; stvorila područja za ispašu da bi privukla valabije i drugu divljač; i oslobodio se prostor za rast biljaka koje proizvode jestive gomolje. Požari u ranoj sušnoj sezoni manje su razarajući od onih kasnije u sezoni. Međutim, rani požari mogu imati ekoloških nedostataka, posebno u područjima namijenjenim ispaši. U tim područjima požari koji gore kasno u sušnoj sezoni manje štete rastu nove trave.

ZB. III ZONBIOM SUPOTROPSKIH PUSTINJA

Pustinje su, po definiciji, izuzetno suva zemljišta s rijetkom vegetacijom. To je jedan od glavnih kopnenih ekosistema, koji podržava zajednicu prepoznatljivih biljnih i životinjskih vrsta, posebno prilagođenih surovom okruženju.

Ovaj zonobiom karakteriše suptropska pustinjska klima, zemljište tipa sirozema i suptropska pustinjska vegetacija. Rasprostranjen je na obje hemisfere u zonama sjevernog i južnog povratnika, zahvatajući oko 13% Zemljine površine. Pustinje se javljaju u područjima Centralne Amerike, jugozapadnog dijela Sjeverne Amerike, sjeverne Afrike, Arabijskog poluostrva, jugozapadne Azije, na istočnoj obali Južne Amerike, južnim i jugozapadnim dijelovima Afrike i južnim dijelovima Australije.

Pored suptropskih, javljaju se i hladne kontinentalne pustinje (ZB VIIIb), arktičke pustinje (ZB IX), nivalne pustinje (ZB X) i polarne pustinje u kojima nema vegetacije, te se ne svrstavaju ni u jedan kopneni zonobiom.

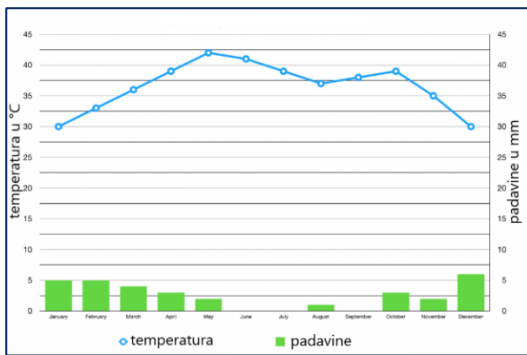


Sl. 79 Distribucija zonobioma suptropskih pustinja

Za arktičke (ZB IX), nivalne (ZB X) i polarne pustinje je karakteristična fiziološka suša, dok suptropske ili tople pustinje, kao i hladne kontinentalne pustinje (ZBVIIIb) karakteriše fizička suša. Tople pustinje se javljaju u regionima gdje je godišnja količina padavina manja od 200 mm, potencijalna evaporacija prevazilazi 2000 mm, a temperatura najhladnijeg mjeseca je uvijek iznad 0 °C.

Suptropsku pustinjsku klimu odlikuje odsustvo hladnog perioda sa niskim temperaturama (ispod 0 °C), odsustvo ili pojava kratkotrajnih mrazeva, veoma topli ljetni mjeseci i nekstremno sušni periodi koji mogu trajati mjesecima, pa i godinama. Apsolutne maksimalne temperature vazduha u svim vrelim pustinjama prelaze 40 °C, a najviša zabilježena vrijednost u Libiji je 58 °C. Temperatura površine tla može porasti čak i iznad temperature vazduha, sa vrijednostima do 78 °C (Sahara). Noćne temperature mogu dramatično pasti, jer isti nedostatak oblačnosti, koji danju dopušta visok nivo dolaznog Sunčevog zračenja, omogućava i brzi gubitak energije dugotalasnim zračenjem kopna noću. Apsolutne minimalne temperature, osim u pustinjskim područjima blizu mora, uglavnom su ispod tačke smrzavanja i kreću se u rasponu od -8 °C i 1 °C. Tipične srednje godišnje temperature su između 15 °C i 30 °C.

Suma godišnjih padavina varira u zavisnosti od geografskog položaja



Sl. 80 Klimadijagram Sahare

same pustinje i kreće se od 3-200 mm. Padavine mogu biti raspoređene u različitim dijelovima godine, te se u odnosu na njihovu dinamiku razlikuje šest varijanti pustinja: pustinje sa zimskim kišama, pustinje sa ljetnim kišama, pustinje sa dvije kišne sezone, pustinje sa ravnomjernim slabim

padavinama svakog mjeseca, pustinje bez kiša sa dosta magle i pustinje bez kiša.

Kiše u pustinjama su obično oskudne. U nekim slučajevima može proći nekoliko godina bez kiše. Zabilježeno je da u Čileu (Cochones) kiša nije padala 45 godina (između 1919. i 1964. godine). Međutim, obično kiša pada u pustinjama najmanje nekoliko dana svake godine - najčešće 15 do 20 dana. Kada se pojave padavine, kratkotrajno mogu biti vrlo jake. Na primjer, na jugozapadu Madagaskara čitava godišnja količina padavina se obično javlja u vidu jakih pljuskova, koji padaju u toku jednog mjeseca. Takve kiše obično se javljaju samo na malim površinama i proizlaze iz lokalnih konvekcijskih ćelija, s raširenijom frontalnom kišom koja je ograničena na južni i sjeverni rub pustinja. U nekim lokalnim pustinjskim pljuskovima kiša koja pada iz oblaka isparava prije nego što dođe do tla. Regije bliže ekvatoru većinu kiše primaju ljeti, od juna do

avgusta na sjevernoj hemisferi i od decembra do februara na južnoj hemisferi, dok se padavine u regijama bližim umjerenim krajevima uglavnom javljaju zimi. Kiša je posebno neredovna u srednjim regijama.

U nekim pustinjama koje se nalaze u blizini obala, npr. u pustinji Namib na jugozapadu Afrike i pustinjama zapadnih obala Amerike u Kaliforniji i Peruu, magla je važan izvor vlage. Kapljice vlage talože se iz magle na biljke, a zatim mogu kapati na tlo ili ih biljke direktno apsorbuju. Rosa takođe ima ogroman značaj, iako ne u pustinjama iz centralnih dijelova kontinenta, gdje je atmosferska vlaga konstantno vrlo niska.

U većini pustinjskih regija atmosferska vlaga je obično preniska da bi omogućila stvaranje magle ili rose u bilo kojoj značajnoj mjeri. Potencijalne stope evaporacije su odgovarajuće visoke, obično 2 500 do 3 500 mm godišnje, s čak 4 262 milimetara potencijalnog isparavanja zabilježenih u Dolini smrti (Death Valley) u Kaliforniji i 5000 mm u centralnoj Sahari. Vjetrovi nisu posebno jaki ili česti u poređenju sa okolnim zonama, ali usljed nedostatka vegetacije u pustinjama pogoršava se efekat vjetra na nivou tla. Vjetrovi mogu izazvati eroziju finih materijala i isparavanje vlage i na taj način određuju forme biljkaka koje mogu preživjeti u pustinji.

Vegetacioni period suptropskih pustinja traje 12 mjeseci, uz veoma redukovane i usporene ekološke procese prisutnih biocenoza.

Sirozemi, suptropska pustinjska zemljišta, se nalaze u početnim fazama razvoja na rastresitom supstratu, pa se kategorišu kao nerazvijena zemljišta. Sastoje se od erodiranih produkata matične stijene, nastalih radom vjetra i vode. U velikoj mjeri izostaje uginula organska materija, pa ne postoje uslovi za formiranje značajnije količine humusa, što sirozeme svrstava u ekstremno neplodna zemljišta, sa nepovoljnim fizičko-hemijskim karakteristikama za rast i razviće biljaka. Hemizam suptropskih sirozema varira u zavisnosti od prirode matične podloge, pa može biti od veoma kisele do veoma bazne reakcije. Boja tla takođe varira, od veoma svijetle, gotovo bijele boje, do veoma tamne, gotovo crne boje.

Najvažnija osobina pustinjskih zemljišta je tekstura, koja je određena veličinom i oblikom čestica zemljišta, jer od nje zavisi količina dostupne vode biljkama. Dužina zadržavanja vode u površinskim dijelovima se razlikuje između glinovitih, pjeskovitih i skeletogenih zemljišta. Kako su pustinjska tla izuzetno topla, voda zadržana u površinskim slojevima intenzivno isparava i na taj način se gubi. Takav je slučaj sa glinovitim zemljištima, koja zadržavaju vodu u površinskim slojevima. Kada voda brzo ponire u dublje slojeve podloge ne isparava brzo, već se zadržava u kapilarima zemljišta ili se akumulira u dubljim slojevima, čime postaje

znatno dostupnija biljkama. Takav je slučaj sa pjeskovitim i skeletogenim zemljištima.

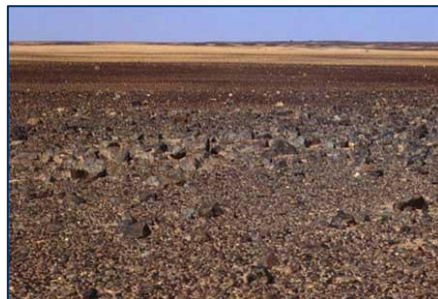
U suvozemnim pustinjama voda je kratko i u malim količinama dostupna, brzo protiče rastvarajući minerale, koje nosi i taloži u depresijama, gdje dolazi do kristalizacije soli. Iz tog razloga je veoma česta pojava da su najvlažnije depresije pustinjskih oblasti i najslanije.

Poseban klimatski ambijent pustinja pogodovao je razvoju određenih karakterističnih oblika terena. Kamenite ravnice su široko rasprostranjene, stjenovite, gromadaste visoravni presječene suvim, obično strmim dolinama nalaze se u pustinjama u mnogim dijelovima svijeta. Lokalne topografske i mikroklimatske varijacije proizvedene ovom neravnom površinom i mogućnosti za oticanje, važne su za osiguravanje lokalnih staništa za biljke i životinje. Velike površine rastresitog, pokretnog pijeska pružaju najoštriji i najsiromašniji od glavnih tipova pustinjskih staništa.

Prema teksturi i strukturi zemljišta subtropske pustinje se dijele na **kamenite**



a) **kamenita pustinja**



b) **šljunkovita pustinja**



c) **pjeskovita pustinja**



d) **oaza**

Sl. 81 Tipovi pustinja

pustinje (hamada pustinje), česte na visoravnima, sa specijalizovanim vrstama biljaka u pukotinama stijena i prostoru između kamenja; **šljunkovite pustinje** (serir ili reg pustinje), **pjeskovite pustinje** (erg ili areg pustinje) dinskog reljefa; **suve dolinske pustinje** (wadis ili oueds pustinje),

udubljena tla sa akumuliranim solima, pa ih nastanjuju biljke adaptirane na sušu i zaslanjenost podloge; i **oaze**, mjesta u kojima se zahvaljujući površinskim ili podzemnim izvorima javlja relativno gusta vegetacija i gdje su prisutne higrofilne vrste.

Suptropska pustinjska vegetacija

Vegetacija pustinja je po strukturi veoma jednostavna, ali joj je flora raznovrsna i interesantna. Glavni edifikatori pustinja su sukulentne forme



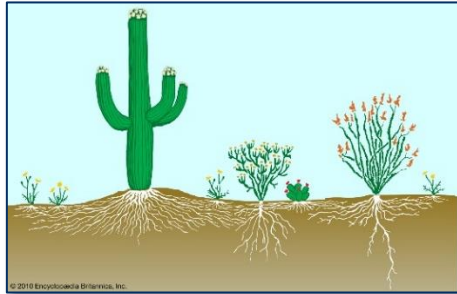
**Sl. 82 Seguaro kaktus,
Arizona**

višegodišnjih zeljastih biljaka, **sukulentne fanerofite**, prisutne na svim kontinentima. Međutim, zbog razdvojenosti ovih područja, primjetna je pojava ekološke konvergencije. Ove vrste su filogenetski i evolutivno veoma udaljene. U pustinjama Centralne Amerike dominiraju kaktusi (Cactaceae) i agave (Agavaceae), u Sahari na sjeveru Afrike sukulentne mlječike (Euphorbiaceae), u pustinjama Kalahari i Namib na jugu Afrike kameni cvjetovi (Aizoaceae), a u Australiji akacije (Fabaceae) i kengurove šape (Haemodoraceae). Rijetke su vrste koje se javljaju u svim regijama. Takav je slučaj sa bodljikavom slanom soli (*Salsola kali*), koja se javlja u pustinjama centralne Azije, sjeverne Afrike, Kaliforniji i Australiji.

Ipak, po broju vrsta u pustinjskim fizocenzozama dominiraju veoma brojne jednogodišnje biljke (**terofite**).

Zahvaljujući neplodnom tlu, veoma visokim temperaturama i dugotrajnoj suši pokrovnost vegetacijskog pokrivača je rijetko iznad 20%, a drveće izostaje. Javljaju se niski zeljasti ili žbunasti edifikatori, malih dimenzija, obično veliki nekoliko cm ili dm. Izuzetak su krupne vrste, kao što su seguaro kaktusi američkih pustinja i akacije u pustinjama Australije, visoki i do desetak metara.

Spratovnost ovih zajednica izostaje, sem u pustinjama sa visokim edifikatorima, gdje se javlja nekoliko otvorenih i nekontinuiranih spratova. U sjevernoameričkim pustinjama razlikuje se sprat visokih seguario kaktusa, sprat niskih kaktusa i žbunova i sprat niskih zeljastih i jednogodišnjih biljaka. Slično je i u pustinjama Australije, gdje se uočava sprat visokih akacija i drugog drveća, zatim sprat žbunova i sprat niskih zeljastih i jednogodišnjih biljaka.



Sl. 83 Profil pustinjske vegetacije

Za pustinjske sukulente je karakteristična, pored sukulentnog voluminoznog stabla, pojava voluminoznih listova. Razlikuje se nekoliko tipova pustinjskih sukulentnih biljaka, u zavisnosti od regiona u kojem se pustinja nalazi. Tako se javljaju sukulentna stabla bez listova ili sa listovima metamorfoziranim u bodlje (kaktusi i mlječike), redukovana stabla sa velikim sukulentnim listovima (agave i kameni cvjetovi) i zeljasta ili odrvenjena nesukulentna stabla sa sukulentnim listovima (juka, aloe, dracene, bobovnjaci). Pojedine leptirnjače ili vrste roda *Asparagus* iz pustinje Kalahari imaju sukulentne korjenove ili podzemne organe, koji masom znatno prevazilaze masu nadzemnog dijela.



Sl. 84. Voluminoznost sukulente i mikrofilijska drveća

Morfo-anatomske adaptacije sukulentnih biljaka nastale su kao odgovor na ekstremno sušne tople uslove. Tako voluminozna stabla i lišće akumuliraju vodu u tjelima biljaka, dok **afilija** (odsustvo listova) i metamorfoza listova u trnje smanjuju transpiraciju i dodatno, u slučaju trnja, štite biljku od herbivora. Korjenov sistem svih sukulentnih vrsta je

pozicioniran površinski, veoma razgranat i izuzetno efikasan pri upijanju vode dospjele padavinama ili kondenzacijom.

U pojedinim pustinjama edifikatori nisu sukulente, već voluminozno, flašoliko ili kišobranasto, bodljikavo, listopadno, mikrofilno drveće, kao i trave adaptirane na sušu.

U pustinjama gdje fizička suša traje godinama javljaju se **efemere** (jednogodišnje biljke) i **efemeroide** (višegodišnje zeljaste biljke sa podzemnim organima za preživljavanje nepovoljnog perioda). Faza mirovanja ovih biljaka može trajati godinama, za vrijeme kojih odsustvuju nadzemni organi. Biljke preživljavaju nepovoljni period pomoću podzemnih organa (krtole, lukovice, rizomi) ili u obliku sjemena. Početkom kiša oni se aktiviraju i veoma brzo formiraju vegetativne i reproduktivne organe.

Pojedine biljke su razvile specifične fiziološke adaptacije, kao što je CAM metabolizam (eng. Crassulacean Acid Metabolism). One otvaraju stome noću, kada i usvajaju CO₂, pa im je i proces fotosinteze drugačiji u odnosu na biljke koje usvajaju CO₂ tokom dana.

Fenologija edifikatorskih vrsta, ali i čitavih zajednica, zavisi od regiona u kojem se vegetacija javlja.

Tabela 4. Fenologija edifikatora pustinjske vegetacije

Tip edifikatora	Regularan sezonski listopad	Regularno vrijeme cvjetanja i plodonošenja	Dvije vegetacione faze -u sušnom i vlažnom periodu
Sukulentne	-	-	-
Drveća i trave	+	+	+
Efemere i efemeroide	-	-	-

FAUNA

Između zoocenoza, posebno u pogledu krupnih životinja, različitih pustinjskih regija javljaju se velike razlike. Australijska pustinjska fauna obilježena je vrlo velikom raznovrsnošću gmizavaca, do su sisari zastupljeni manjim brojem vrsta, nego što je to slučaj u drugim regijama. U australijskim pustinjama od sisara najzastupljeniji su torbari, dok su za druge pustinje karakteristični glodari.

Mnoge pustinjske ptice su nomadske, migriraju u područja u kojima je nedavno pala kiša i koja pružaju privremeno izobilje hrane. Zebe i

golubovi koji jedu sjeme spadaju u tipične ptice mnogih pustinskih regija; Australija je opet izuzetak u tome što ima malo zebr, ali ima puno pustinskih papagaja.

Pustinske životinje pokazuju mnoge adaptacije na nedostatak vlage u



Sl. 85 Kenguri, Australija

pustinjama, što rezultuje u morfo-anatomskim, fiziološko-biohemijskim i biheviorističkim specifičnostima. Uobičajena je mala aktivnost pustinskih životinja tokom sušnih vremena i intenzivna aktivnost u kratkim, rijetkim vlažnim periodima. Tokom sušnih uslova mnoge pustinske životinje ostaju pod zemljom u rupama u kojima je vazduh relativno hladan i vlažan; više od polovine pustinskih životinja vodi bar djelimično podzeman način života. Neki, poput puževa, mogu ostati uspavane duže vremena (estivscija, stanje sniženog metabolizma, koje se javlja kao odgovor na visoke temperature i sušne uslove), dok se druge, poput ukopanih sisara, pojavljuju kako bi se hranili samo noću kada su uslovi povoljniji, odnosno temperature znatno niže. Razmnožavanje može potpuno prestati u godinama ekstremne suše, što je karakteristika nekih guštera.

Mnogim životinjama je dovoljna voda koju unose hranom, jer se na



Sl. 86 Pustinska lisica (Fennecus zerda)

padavine, odnosno pojenje u pustinskim uslovima ne mogu osloniti. Odavanje vode je izbjegnuto izostankom ili manjim brojem znojnih žlijezda, kao i izbacivanjem gotovo potpuno dehidriranog ekskrementa. Morfološki gledano, kod mnogih životinjskih predstavnika se uočava povećanje površine u odnosu na zapreminu tijela (**Alenovo pravilo**) izduživanjem ekstremiteta, ušiju i repa, što smanjuje zagrijavanje organizma, odnosno olakšava odavanje toplote. Takođe, kako pustinsko rastresito tlo otežava kretanje životinja, javile su se specifične prilagođenosti stopala, kao npr. široki papci kod kamila i antilopa. Životinje koje se kreću danju imaju tijelo odignuto od

podloge (mnogi gušteri) ili se kreću u skokovima (skočimiš) ili naizmjeničnim bočnim odizanjem pojedinih dijelova tijela (zmije), kako bi izbjegli u najvećoj mogućoj mjeri kontakt sa vrelom podlogom.

Posebno je interesantna prilagođenost jednogrbe kamile na duže sušne periode. Ona u grbi nakuplja masno tkivo, koje metaboličkim procesima daje vodu.



**Sl. 87 Jednogrbe kamile
(*Camelus dromedarius*)**

Insekti su veoma česti stanovnici pustinja i važan dio lanca ishrane. Njihove kserofilne adaptacije se ogledaju u hitinskoj zaštiti tijela, često prevučenoj voštanom oblogom, koja smanjuje odavanje vode iz organizma, zatim korištenjem metaboličke vode, slično kamilama, podzemnim načinom života i noćnim cirkadijalnim ritmom. Mnoge vrste u stanju svojevrstne anabioze miruju za vrijeme ekstremno nepovoljnih uslova, da bi se aktivirali uz prve kapi kiše.

Veliki broj insekata prikuplja dostupnu hranu, čineći zalihe za sebe ili članove kolonije (medonosni mravi sakupljaju nektar deponujući med u abdomenu).



**Sl. 88 Medonosni mravi
(*Camponotus inflatus*)**

Za pustinje je karakteristično odustvo krupnih biljojeda usljed veoma oskudne vegetacije. Od herbivornih predstavnika najzastupljeniji su mnogobrojni beskičmenjaci i sitni glodari, a od krupnijih životinja malobrojna krda kamila, antilopa (adaks, springbok, oriks) i magaraca.



**Sl. 89 Adaks antilopa
(*Addax nasomaculatus*), Sahara**



**Sl. 90 Springbok antilope
(*Antidorcas marsupialis*), Kalahari**

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

Najčešći predatori su zmije (posebno zvečarke), kojoti i pustinske lisice, zatim ptice grabljivice i rijetke krupne mačke, lavovi i gepardi.



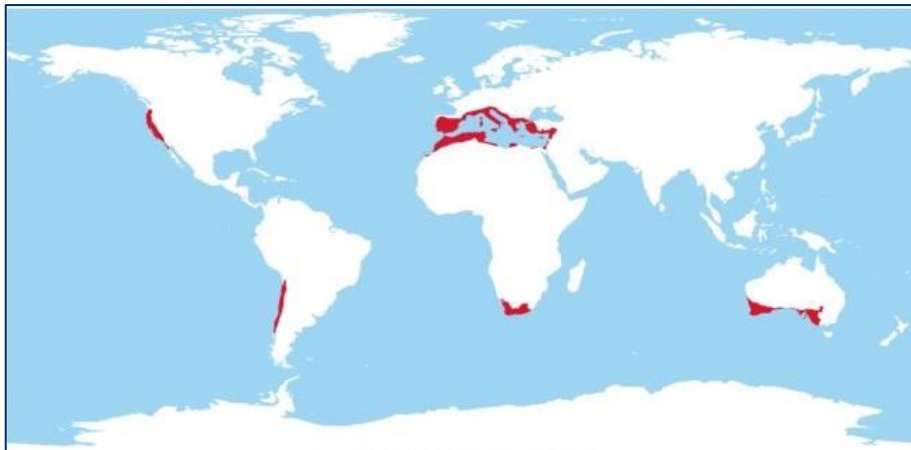
Sl. 91 Zapadna dijamantna zvečarka (*Crotalus atrox*), Sonora



Sl. 92 Pustinjski lav (*Panthera leo*), Namib

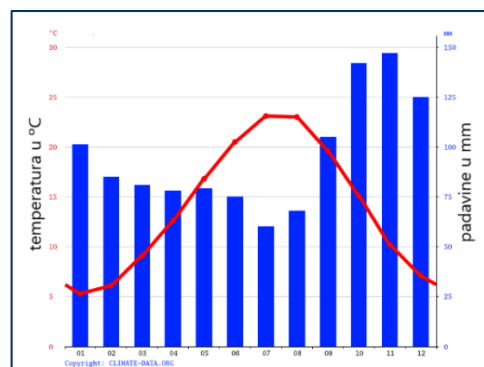
ZB. IV MEDITERANSKI ZONOBOM

Mediteranski zonobiom se javlja u području sa mediteranskom klimom ljetnih suša i zimskih kiša, na mediteranskim mrkim zemljištima i crvenicama, sa vegetacijom mediteranskih vječnozelenih šuma. Zastupljen je u sjevernoj hemisferi na obalama Sredozemnog mora u prostoru sjeverne Afrike, južne Evrope i Male Azije, na obalama Tihog okeana u Kaliforniji i zapadnoj obali SAD-a, a u južnoj hemisferi u dijelu obale Tihog okeana u Čileu, na krajnjem jugu Afrike i na krajnjem jugu Australije. Zahvata oko 2% ukupne površine kopna.



Sl. 93 Distribucija mediteranskog zonobioma

Mediteranska klima se odlikuje odsustvom hladnog zimskog perioda niskih prosječnih temperatura (ispod 0 °C), prisustvom mrazova 2-5 mjeseci tokom jesenjeg i zimskog perioda, veoma toplim ljetnim mjesecima, izrazito sušnim periodom tokom ljeta i vlažnim periodom tokom jeseni, zime i proljeća. Srednja godišnja temperatura se kreće u rasponu od 14 i 18 °C, srednja mjesečna najhladnijeg mjeseca od 5-9 °C i najtoplijeg mjeseca od 15-20 °C. Apsolutni temperaturni minimum varira između -8 i -4 °C. Godišnje padavine su veoma nepravilno raspoređene, pa iako se njihove vrijednosti kreću od 1 300 - 2 300, izuzetno do 3 000 mm godišnjih padavina, u ljetnom periodu



Sl. 94 Klimadijagram mediteranske klime (ostrvo Rab)

vlada suša. Najviše je padavina tokom proljećnog i jesenjeg vlažnog perioda.

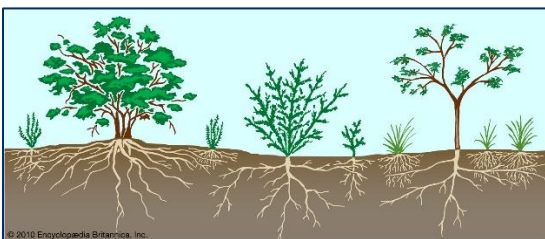
Specifični fitoklimatski uslovi se javljaju samo u strukturno složenim mediteranskim šumama. Izraženi su u najnižim spratovima, gdje se, zbog gustine viših spratova, svi fiziološki procesi biljaka nižih spratova odvijaju u uslovima difuzne svjetlosti. U toku vlažnog perioda godine, zahvaljujući visokim temperaturama, vazduh je zasićen vodenom parom, dok tokom sušnog ljetnog perioda fitoklimu ovih šuma odlikuje visoka temperatura, slaba difuzna svjetlost i niska vlažnost vazduha.

Meditranska mrka zemljišta i crvenice (it. *terra rosa*) pripadaju tipu feralitnih zemljišta u kojima je karakteristično nagomilavanje oksida gvožđa i aluminijuma, koji im i daju boju. Formirala su se u tercijaru, kada je na ovom području dominirala tropska ljeti vlažna klima (tropski relikti), pa imaju dosta sličnosti sa tropskim crvenicama. Slojevitost je slabo izražena. Očuvana zemljišta imaju debljinu od 1-2 metra, sa dosta primjesa gline. Blagoalkalne su reakcije (pH oko 8), jer su razvijena na sedimentnim bazičnim karbonatnim stijenama. Adsorpcioni kapacitet im je veoma velik, tako da dio vode zadržavaju i za vrijeme suše. Kako su se mediteranske crvenice razvile na stijenama bogatim mineralima kalcijuma, magnezijuma i silicijuma uz značajnu količinu minerala koji sadrže fosfor i sumpor, imaju mnogo povoljniji odnos mikro i makroelemenata nego što je to slučaj sa tropskom crvenicom.

Zahvaljujući antropogenom pritisku, danas se prave debele crvenice sa slojem tamnog humusa mogu pronaći samo u rijetkim očuvanim dijelovima Mediterana.

Vegetacija Mediteranskog zonobioma

Meditranska vegetacija je izuzetno raznovrsna, u zavisnosti od područja



Sl.95 Profil vegetacije mediteranskog žbunja

vječnozelenih šuma.

u kojem se javlja. Najzastupljeniji oblik vegetacije mediteranske vječnozelene tvrdolisne šume širom svijeta se javlja u vidu žbunja, dok se u Mediteranu u rijetkim refugijumima mogu pronaći samo ostaci pravih mediteranskih

Žbunje mediteranske vegetacije ima različito porijeklo, koje može biti prirodno, antropogeno ili oboje. Čak i autohtona vegetacija žbunova mediteranske klime pokazuju velike međuregionalne razlike u biljnim vrstama, usljed pojave konvergentne evolucije koja je rezultovala ekološkim ekvivalentima u različitim područjima.

Prema brojnim dokazima žbunje Kalifornije i Australije vodi porijeklo iz ranih tropskih vegetacija. Od postepenog hlađenja i isušivanja svjetske klime u doba kenozoika (prije 65,5 miliona godina do danas), vegetacija se mijenjala i postepeno prilagođavala novonastalim prilikama.

U Kaliforniji su se prije otprilike šest miliona godina dogodile značajne klimatske promjene, koje su rezultovale izostankom pouzdanih ljetnih kiša. Čak i vegetacija žbunja, koja izgleda potpuno prirodno u svom sadašnjem obliku, vjerovatno ima geološki noviju istoriju, jer su regije u kojima se javlja imale radikalno drugačiju klimu ne tako davno, na kraju posljednjeg pleistocenskog ledenog intervala prije otprilike 11 700 godina.

U područjima u kojima je klima očigledno imala uticaja na razvoj vegetacije žbunova, važan je i ljudski uticaj, posebno u obliku ispaše i vatre. Antropogena vegetacija žbunja može biti barem toliko raširena kao prirodna vegetacija žbunja. Javlja se tamo gdje su ljudi do te mjere izmijenili sredinu u kojoj su dominirala drveća i koja više nije u mogućnosti da ih podupire, najčešće kombinacijom uklanjanja drveća, paljenja i ispaše koja dovodi do degradacije tla. U nekim je slučajevima krčenje šuma dovelo do snažnog gustog rasta žbunastih formi koje onemogućava rast izvorno dominantnih drvenastih formi.

U područjima Kalifornije vegetacija žbunja koja raste u mediteranskoj klimi naziva se **chaparral** (čaparal). Slična vegetacija Čilea nosi nazive **chaco** i **matorral**. U oba područja zimi padne više od 80% kiše. U mediteranskoj klimi Evrope i Azije, šikare se javljaju u širem klimatskom rasponu, uključujući područja koja primaju i do



Sl.96 Oporavak čaparala nakon požara

40% prosječne godišnje kiše ljeti (godišnje 300 do 900 mm). U tim slučajevima šira rasprostranjenost vegetacije žbunja (**makije**) rezultat je kombinacije klime i dugotrajnog ljudskog uticaja.

U Africi i Australiji javlja se visoka, otvorena vegetacije žbunova, u kojima su dominantne vrste visoke više od pet metara, Rastu na širokim područjima, sjeverno i južno od ekvatora, zauzimajući područje između savana na nižim geografskim širinama i pustinja na višim geografskim širinama. U tim regijama padavine su neredovne i slabe, a efikasnost kiše dodatno umanjuju izuzetno visoke stope potencijalne evapotranspiracije.

U vegetaciji žbunja u mediteranskoj Evropi dominiraju razne vrste, poput hrastova, vrijeska (*Erica*), maginje (*Arbutus*), masline (*Olea*) i pistacije (*Pistacia*).



**Sl. 97 Stablo masline
(*Olea europaea*)**

Hrastovi i vrijes (*Arctostaphylos*) takođe su istaknuti u Kaliforniji, kao i mnogi drugi žbunovi, uključujući *Garrya*, *Heteromeles*, *Rhus*, *Ceanothus* s plavim cvjetovima i obični šamot (*Adenostoma fasciculatum*).

Mnoge vrste, koje dominiraju vegetacijom žbunja u svim regijama, su trnovite, a njihovo lišće, koje obično nije previše hranjivo, sadrži intenzivne i neukusne supstance koje odbijaju herbivore.

MEDITERANSKA VJEČNOZELENA TVRDOLISNA ŠUMA

Ove šume su, u odnosu na tropske vječnozelene i tropske listopadne šume, po svom sastavu **oligodominantne**, izgrađene iz relativno malog broja vrsta. Rijetko su sastavljene od samo jedne vrste drveta (**monodominantne**). Glavni graditelji mediteranskih šuma su vječnozeleni hrastovi (crnika *Quercus ilex*, plutnjak *Q. suber*, prnar *Q. coccifera*), masline (*Olea europaea*), rogači (*Ceratonia siliqua*), zatim mediteranski borovi (primorski *Pinus maritima*, alepski *P. hallapensis* i pinjol *P. pinea*). Zahvaljujući konstantnom antropogenom pritisku veoma dugo vremena (od nastanka moderne civilizacije) šumska vegetacija je relativno siromašna, mada je čitav zonobiom zahvaljujući blagoj klimi floristički bogat vrstama i predstavlja jedan od centara biodiverziteta.

Sl. 98 Hrast crnika (*Quercus ilex*)Sl.99 Rogač (*Ceratonia siliqua*)

Biljne vrste pripadaju većinom (skoro 40%) životnoj formi **terofita** (zeljaste jednogodišnje biljke), dok fanerofite (drveće) učestvuju tek sa 15%.

U vertikalnoj stratifikaciji vječnozelenih mediteranskih šuma uočava se pet spratova: sprat visokog drveća (oko 20 m visine, usljed ljetnih suša), sprat niskog drveća, sprat visokog žbunja, sprat niskog žbunja i sprat zeljastih biljaka. Mnogobrojne lijanе i puzavice se protežu kroz sve spratove. Zahvaljujući povoljnim klimatskim prilikama izostaje zimski listopad, a brojne adaptacije omogućavaju aktivnost edifikatora mediteranskih šuma i u ljetnom sušnom periodu.

Zahvaljujući viševjekovnoj eksploataciji i deforestaciji, mediteranske šume su danas veoma rijetke. Kao dominantan oblik vegetacije na većini područja se javlja **makija**, niska gusta šuma ili žbunjak visine 1,5 m, inače prirodna vegetacija na padinama sa plitkim zemljištima. Zbog nepovoljnih uslova mnoge vrste se javljaju kao žbunje, dok svoj puni potencijal mogu ostvariti samo u mediteranskim parkovima.

Česta pojava u Mediteranu je spaljivanje i krčenje makije, pa nastaje vegetacija **garige**, u kojoj dominiraju razbacani niži žbunovi bušlje (*Cistus*), ruzmarina (*Rosmarinus*) ili lavande (*Lavandula*). Mnogobrojne su trave i specifične jednogodišnje mediteranske biljke.

Frigana, otvorena vegetacija niskih bodljikavih žbunića se javlja daljom degradacijom garige. Njenom degradacijom nastaju **kamenjari** i kao krajnji rezultat **antropogene pustinje**.

Edifikatori vječnozelenе mediteranske tvrdolisne šume pripadaju životnoj formi fanerofita, koje karakterišu umjereno visoka, debela stabla sa godovima, koja se granaju na maloj visini formirajući kompaktnu široku krošnju; odsustvo adventivnih korjena i **sklerofilija** (relativno mali, kožasti,

vječnozeleni, tvrdi listovi, površine prekrivene debelim slojevima voska i kutikule).

Fenologiju edifikatora mediteranske šume karakteriše odsustvo regularnog sezonskog listopada, odsustvo regularnog vremena cvjetanja i plodonošenja, pojava kontinuiranog cvjetanja i plodonošenja. Većina biljaka Mediterana ipak cvjeta u kišnom periodu, kada su uslovi povoljniji, od novembra do marta ili aprila.

FAUNA



Sl. 100 Šakal (*Canis aureus*)



Sl. 101 Bjeloglavi sup (*Gyps fulvus*)

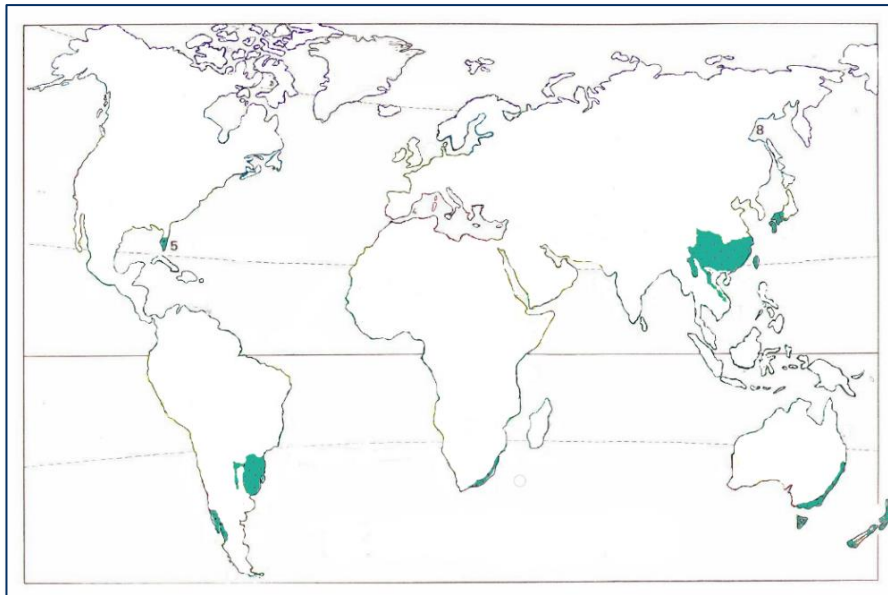
Zoocenu mediteranskih vječnozelenih tvrdolisnih šuma karakterišu mnogobrojni beskičmenjaci, posebno insekti, koji čine glavnu herbivornu i detritivornu komponentu ovih zajednica. Zahvaljujući tvrdolisnosti vegetacije, herbivorna ishrana se zasniva na plodovima i zeljastim biljkama. Većih sisara obično nema. Mali sisari su česti i igraju važnu ulogu u regeneraciji vegetacije jedući sjeme. Ptice mogu biti raznovrsne i brojne, ali u grmlju sjeverne hemisfere malo je onih koji se oslanjaju na nektar kao izvor hrane, pa zbog toga samo usputno oprašuju cvjetove, za razliku od faune australijskog i južnoafričkog žbunja.

Prisutan je veliki broj ptica i sitnih sisara, a od krupnijih potrošača prvog reda uočavaju se sitni papkari (koze, mufloni, srne i jelenska divljač). Od karnivornih predstavnika zastupljeni su šakali, lisice, risovi, vukovi, kune i lasice. Gmizavci su raznovrsni i pretežno zastupljeni karnivornim oblicima. Na vrhu lanca ishrane nalaze se sove, kanje, bjeloglavi supovi i orlovi. Fenofaze zoocenoze su usklađene sa klimatskim prilikama, tako da nastupanjem proljeća započinje reproduktivna faza i podizanje mladunaca. Javljaju se i prolječno-jesenje migracije. Zastupljen je **ciklični kalamitet** (ciklične varijacije veličine populacije predatora i plijena), odnosno usklađenost produkcije herbivora sa produkcijom vegetacije u proljeće, što je dalje praćeno produkcijom konzumenata drugog reda.

ZB. V TOPLI UMJERENI (OKEANSKI) ZONBIOM

Ovaj zonobiom karakterišu topla umjerena klima, žuti i crveni podzoli i umjerene šume osjetljive na mrazeve. Javlja se na istočnim i zapadnim stranama svih kontinenata i zahvata ukupnu površinu oko 3% kopna. Ne može se oštro razgraničiti, jer je prelazna zona između tropsko-suptropskog i tipičnog umjerenog područja, iako prevelika da bi se mogla smatrati ekotonom. Mogu se razlikovati dva subzonobioma:

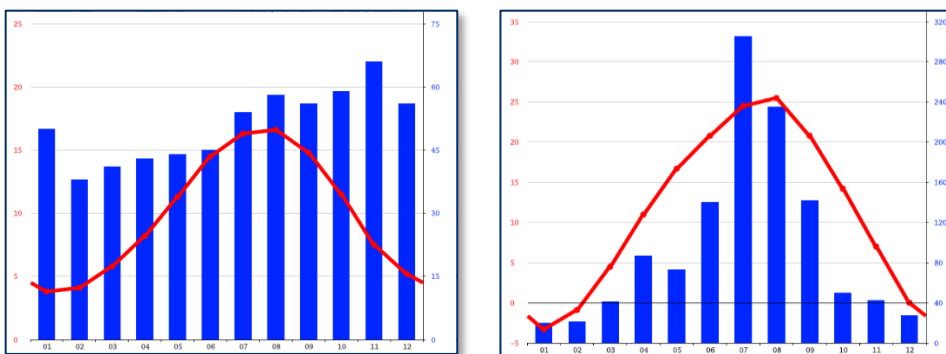
1. Veoma vlažan subzonobiom s kišom u svako doba godine ili s minimumom u hladnoj sezoni. Količina godišnjih padavina se kreće između 4 000 i 6 000 mm. Glavni vegetacijski period, koji je uvijek vlažan, pod pritiskom je zbog visokih temperatura koje se javljaju ljeti. Regioni ovog subzonobioma leže na istočnim stranama kontinenata između 30° i 35° geografske širine na sjevernoj i južnoj hemisferi i pod uticajem su pasatnih i monsunskih vjetrova. Temperature su prilično niske u hladnoj sezoni, a može biti i mraza, mada izostaje prava hladna sezona. Ipak, vegetacija zimu provodi u stanju mirovanja. Ovaj podzonobiom obuhvata velika šumska područja u istočnoj Aziji (Kina, južni dijelovi Japana, južni dijelovi Korejskog poluostrva), Australiji (jugoistočna obala Australije, Tasmanija, Novi Zeland) i Južnoj Americi (istočni Brazil, dijelovi Paragvaja i Argentine). U ovim regionima su razvijene četinarske šume osjetljive na jake mrazeve.



Sl. 102 Distribucija toplog umjerenog zonobioma

- Subzonobiom s kišom koja se uglavnom javlja zimi i nema ljetne sezone suše. Godišnja količina padavina se kreće u rasponu od 600-700 mm. Ovo područje leži uz zapadnu obalu kontinenta, bliže polovima od prvog, uz vlažnu varijantu ZB IV sa zimskom kišom. Obuhvata uski pojas od sjeverne Kalifornije do južne Kanade u Sjevernoj Americi i područje u južnom Čileu u Južnoj Americi. Na zapadnoj obali Evrope ne postoje umjerene šume, jer su izumrle tokom pleistocenskih glacijacija. Slična vegetacija se javlja u sjevernoj Španiji, jugozapadnoj Francuskoj, Velsu, zapadnoj Škotskoj i dijelovima Norveške. U područjima Crnog mora (Kolhijski trougao između Kavkaskih planina i Crnog mora) i Kaspijskog jezera (Hircinijske šume na južnom obodu), javljaju se, mada izolovane, regije ovog subzonobioma. U ovom području su zbog suve umjerene tople klime razvijene lišćarske vrste osjetljive na mrazeve.

Karakteristike tope umjerene (oceanske ili maritimne) klime su značajna variranja temperature tokom godine, s prosjecima najhladnijih mjeseci oko nule i potpuno odsustvo sušnih perioda. Zimski hladni period traje svega 2-3 mjeseca sa prosječnim temperaturama oko nule i kratkotrajnim mrazovima. Ljeta su vlažna i topla. Odsustvuju sušni i polusušni period. Srednja godišnja temperatura se kreće između 14 i 16 °C, srednja temperatura najhladnijeg mjeseca je između -1 i 2 °C, a najtoplijeg od 20-25 °C, sa apsolutnim godišnjim minimumom između -5 i 2 °C. Padavine su neravnomjerno raspoređene tokom godine i najčešće su tokom proljećnog i ljetnog perioda, sa ukupnom količinom na godišnjem nivou između 600 i 6 000 mm (3 000 mm) u zavisnosti od regiona. Vegetacioni period traje oko 10 mjeseci, dok za vrijeme kratkotrajne zime nastupa listopad i prekid primarne produkcije.



Sl. 103 Klimadijagram suve (sjeverna Kalifornija) i vlažne (Južna Koreja) umjerene tople klime

Fitoklima i četinarske i lišćarske šume se razlikuje od makroklimatskih prilika. Unutar šuma vladaju uslovi difuzne svjetlosti, povećane vlažnosti vazduha i umjerenije temperature.

Žuti i crveni podzoli se javljaju u području umjereno tople i vlažne klime. Proces podzolizacije, po kojem su dobili ime, podrazumijeva ispiranje rastvorljivih soli u kiselim uslovima sredine, praćeno nagomilavanjem SiO₂. U pitanju su umjereno stara i umjereno debela zemljišta, sa izraženim slojevima stelje (horizont A₀), akumulativno-humusnim slojem (horizont A₁), eluvijalnim slojem (horizont A₂), iluvijalnim slojem (horizont B) i rastresitom matičnom stijenom (horizont C). Reakcija ovog tla je gotovo uvijek ispod 8, bila razvijena na silikatnim ili karbonatnim matičnim stijenama, usljed stalnog ispiranja baza. Zahvaljujući svojoj strukturi i klimatskim prilikama, podzoli su bogati nutrijentima, kao i vodom (velik kapacitet adsorpcije).

Umjerena listopadna šuma osjetljiva na mrazeve

Klimazonalne tipove vegetacije u području umjerene okeanske klime predstavljaju četinarske šume osjetljive na mrazeve i lovorolisne lišćarske šume osjetljive na mrazeve. Četinarske šume se javljaju na zapadnim dijelovima kontinenta u uslovima vlažne okeanske klime, a lovorolisne lišćarske šume na istočnim dijelovima kontinenta sa suvom okeanskom klimom.

Oligodominantnog su karaktera, jer u njihovoj izgradnji učestvuje manji broj vrsta drveća. Javljaju se i **monodominantne** šume. Glavne edifikatorske vrste četinarskih šuma su sekvoje (*Sequoia*), južne jele (*Araucaria*) i podokarpusi (*Podocarpus*), a lovorolisnih lišćarskih šuma mnogobrojni predstavnici porodice lovora (*Lauraceae*), magnolije (*Magnolia*), liriodendroni (*Liriodendron*), rododendroni (*Rhododendron*), lovorvišnje (*Prunus* sect. *Laurocerasus*), južne bukve (*Nothofagus*), eukaliptusi (*Eucalyptus*) i reliktno vrste rodova *Zelkova*, *Pterocaria*, *Parrotia* i *Albizia*.



Sl.104 Pacifički rododendron (*Rhododendron macrophyllum*)

Po pitanju zastupljenosti životnih formi oko 50% vrsta pripada **hemikriptofitama** (višegodišnje zeljaste biljke), dok **fanerofite** (životna forma drveća) učestvuje sa tek 10% vrsta.

Ove šume su guste, veoma visoke, sa jasno izdiferenciranom vertikalnom strukturom od pet i više spratova. Izdvajaju se spratovi visokog i niskog drveća, zatim visokog (40-60 m, izuzetno 100 m u slučaju šuma sekvoje) i niskog žbunja, a u prizemnim slojevima se javlja jedan ili više spratova zeljastih biljaka. Lijana i penjačica ima relativno malo.

Glavni edifikatori ovih šuma pripadaju životnoj formi lišćarskog i četinarskog drveća. Lišćarsko drveće, slično drveću mediteranskog područja, se odlikuje umjereno visokim debelim stablima, koja se granaju na maloj visini formirajući kompaktnu, relativno široku krošnju. Odsustvuje adventivno korjenje. Listovi su im relativno veliki, izduženi, sjajni, bez debele kutikule i voska na površini, što podsjeća na mezofilne listove drveća umjerenog zonobioma. Kako su zime obično blage, većina vrsta je vječnozeleno, bez zimskog listopada. Kod onih šuma koje se nalaze u sjevernijim, hladnijim područjima nastupa regularni zimski listopad usljed kratkotrajnih zimskih mrazeva.



Sl. 105 Stabla sekvoje (*Sequoiadendron giganteum*) u Sekvoja nacionalnom parku, Kalifornija

Četinare karakteriše tipičan monopodijalni rast stabla (jedno glavno osovinsko stablo oko kojeg u pravilnim prstenovima polaze grane formirajući piramidalnu krošnju). Listovi su im sitni i igličasti, veličine 10-25 mm.

Karakterističan predstavnik je obalna sekvoja (*Sequoia sempervirens*), specifična po visini (do 115 m) i dugovječnosti (do 2 200 godina)

Fenologiju okeanskog drveća odlikuju odsustvo regularnog sezonskog listopada, prisustvo regularnog vremena cvjetanja i plodonošenja, odsustvo kontinuiranog cvjetanja i plodonošenja (pupoljci, cvjetovi i plodovi na istom stablu se javljaju u različito vrijeme) i odsustvo mjesečnih ritmova koji nisu u vezi sa godišnjim dobima. Najveći broj vrsta cvjeta u povoljnom proljećnom i ljetnom periodu.

FAUNA

Zoocenoza ovih šuma ima mnogo zajedničkih karakteristika sa zajednicama drugih umjerenih šumskih zonobioma. Od potrošača prvog reda zastupljeni su mnogobrojni beskičmenjaci i sitni glodari (miševi, kunići, vjeverice, zečevi), srne, jeleni, divlje svinje i manji broj vrsta ptica. Karnivorni predstavnici su ptice, kune, tvorovi, lisice i vukovi, a na vrhu lanca ishrane su grabljivice sove, sokolovi i orlovi. Zimsko mirovanje odsustvuje ili je odloženo, pa u ovom zonobiomu zimuju pojedine vrste sjevernijih zonobioma.



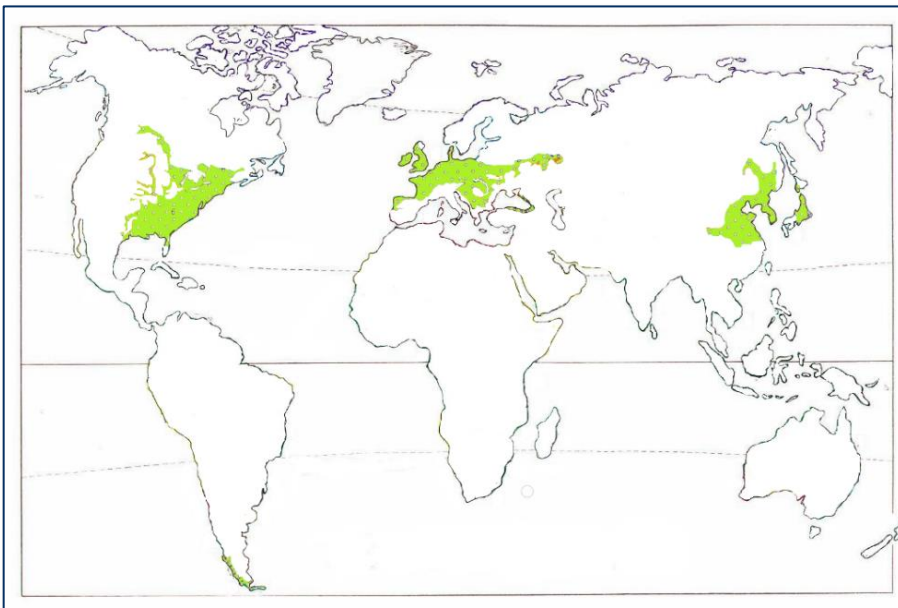
Sl. 106 Kojot (*Canis latrans*) u šumi sekvoje



Sl. 107 Prugasti tvor (*Mephitis mephitis*)

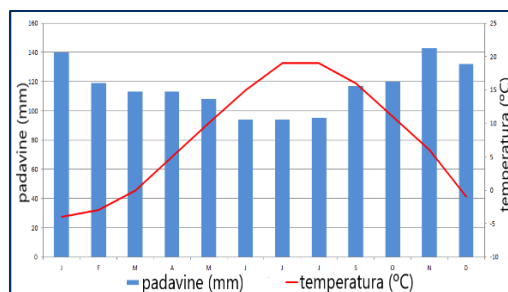
ZB. VI TIPIČNI UMJERENI (ŠUMSKI) ZONOBİOM

Ovaj zonobiom zahvata oko 5% ukupne površine kopna i javlja se na području umjerene klime, šumskih mrkih i sivih zemljišta sa vegetacijom umjerene širokolisne šume otporne na mrazeve. Njegov najveći dio se nalazi na sjevernoj polulopti, gdje zahvata velika prostranstva u istočnim dijelovima Sjeverne Amerike, zapadne i centralne Evrope i istočne Azije. Područja ovog zonobioma se još javljaju u nekim planinskim oblastima na južnim Andima i Novom Zelandu.



Sl. 108 Distribucija tipičnog umjerenog zonobioma

Tipična umjerena klima se odlikuje kratkim (zimskim) periodom sa prosječnim mjesečnim temperaturama ispod nule (3-4 mjeseca), izraženim mrazovima, umjereno toplim i umjereno vlažnim ljetnim mjesecima i potpunim odsustvom sušnog i polusušnog perioda. Srednje temperaturne vrijednosti na godišnjem nivou se kreću od 9-12 °C, najhladnijeg mjeseca između -2 i 1 °C, sa apsolutnim temperaturnim minimumom



Sl. 109 Klimadijagram tipične umjerene klime (Halifax, Nova Škotska)

između -25 i -20 °C. Padavine su neravnomjerno raspoređene, a najobilnije su tokom proljeća i jeseni, sa ukupnom godišnjom količinom od 600-1 500 mm. Vegetacioni period traje 6-8 mjeseci, uz zimski listopad i zaustavljanje gotovo svih aktivnosti u ekosistemu.

Fitoklima gustih listopadnih šuma tokom vegetacione sezone se značajno razlikuje od makroklimе područja. U unutrašnjosti šuma vladaju uslovi difuzne svjetlosti, povećane vlažnosti vazduha, umjerenije temperature i odsustva mehaničkog dejstva vjetra. Za vrijeme listopada mikroklimatski uslovi se izjednačavaju sa makroklimatskim. Otvoreni zeljasti ekosistemi, dominantni na ovom području usljed degradacije klimazonalnih šuma, nemaju specifičnu fitoklimu.

Šumska mrka i siva zemljišta karakterišu se dobrom drenažom, aerisanošću i biološkom aktivnošću, slabo kisele do neutralne reakcije, razvijena na silikatnoj (pH 5-6) i na karbonatnoj (pH 6-7) podlozi. Nastala su nakon glacijala, pa su mlada, umjerene debljine 30-60 cm, izuzetno do 150 cm. Očuvana šumska zemljišta imaju izražen sloj humusa neutralne ili blago kisele reakcije, zatim akumulativno-humusni (horizont A₁), iluvijalni sloj (horizont B) i matičnu stijenu (horizont C). Veoma su plodna i pogodna za poljoprivredu, pa ih često nazivaju i gajnjačama.

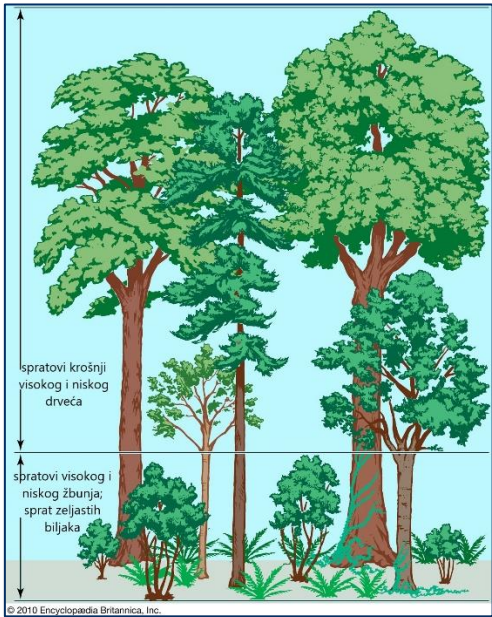
Umjereni širokolisni šuma otporna na mrazeve

Zima u umjerenim geografskim širinama može predstavljati period sa izuzetno stresnim uslovima, koji u velikoj mjeri utiču na vegetaciju. Dani su kraći, a temperature niske, toliko da lišće na mnogim mjestima ne može funkcionisati duže vrijeme i podložno je oštećenjima od smrzavanja. Ovi uslovi prekidaju fotosintetsku aktivnost drveća. U regijama u kojima zimske temperature redovno padaju znatno ispod tačke smrzavanja i gdje vlage i hranjivih sastojaka u zemlji nema dovoljno, mnoga stabla razvila su vrstu lista, koja je relativno osjetljiva i tanka, s životnim vijekom jedne vegetacijske sezone. Budući da takvi listopadni listovi ne zahtijevaju velik unos hemijske energije, biljka može da ih odbaci nakon jedne vegetacijske sezone. Listopad započinje kako se dani skraćuju u jesen, a na proljeće ih zamjenjuje novo lišće. Stoga šume kojima dominira ovo drveće imaju izuzetno izražene sezonske promjene u izgledu, funkciji i klimi.

Klimazonalni tip vegetacije ovog područja predstavljaju, danas mnogo manje zastupljene nego u prošlosti, umjereni širokolisni šume otporne na mrazeve. Najčešće su **monodominantne**, jer u njihovoj izgradnji dominira samo jedna vrsta drveća, a rjeđe više vrsta izgrađuje ove šume (oligodominantne). Glavni graditelji ovih zajednica su vrste iz rodova

bukve (*Fagus*), hrasta (*Quercus*), graba (*Carpinus*), jasena (*Fraxinus*), javora (*Acer*), lipe (*Tilia*) i slično. Na **fanerofite** otpada oko 10% zabilježenih vrsta, dok oko 50% ukupne flore pripada **hemikriptofitama**, kao i u ostalim zonobiomima umjerenog pojasa.

Ove šume su guste, umjerenno visoke, potpuno sklopljene i izdiferencirane



Sl. 110 *Struktura listopadne šume*

na najčešće pet spratova (sprat visokog drveća, sprat niskog drveća, sprat visokog žbunja, sprat niskog žbunja i sprat zeljastih biljaka). Malen je broj lijana i penjačica, a u pojedinim dijelovima zonobioma lijane potpuno odsustvuju. Sprat visokog drveća se nalazi na 20-40 m visine, a najviše drveće dostiže visinu od 60 m. Dubina korijenja drveća u umjerenim listopadnim šumama varira, ali u mnogim slučajevima korijenovi su plitki, a malo ih doseže 1 m ispod površine. Na primjer, kod evropske bukve plitki bočni rast korijena

prevladava nad razvojem dubokog korijena, što dovodi do rasta „korijenske ploče“ neposredno ispod površine tla. To omogućava drvetu da efikasno iskoristi hranjive materije, koje se oslobađaju površinskim raspadanjem stelje, istovremeno izbjegavajući dublje slojeve koji mogu postati vodeni.

Zahvaljujući antropogenom pritisku, prvenstveno kroz deforestaciju, umjerene šume su u najvećem dijelu svog areala uništene i zamijenjene sekundarnim oblicima vegetacije. Na mjestima na kojima zemljište nije mnogo degradirano nastale su ogromne poljoprivredne površine, dok se na mjestima velike degradacije, prvenstveno erozijom nakon sječe, nalaze kamenjari i vrištine. **Atlantske vrištine** zauzimaju ogromne površine duž atlantskih obala evropskog dijela zonobioma, na kojima su ranije bile umjerene šume. Pružaju se od Portugala i sjeverozapadne Španije, preko Francuske do Finske, uključujući čitavu Veliku Britaniju. Vrištine su bez drveća, izgrađene od niskih žbunova (50-100, maksimalno 150 cm). Struktura im je veoma jednostavna i uočavaju se dva sprata žbunova i

jedan sprat zeljastih biljaka. Graditelji vriština su erikoidni žbunovi (žbunaste vrste igličastih listova, gusto, spiralno raspoređenih oko izdanka) iz familije vrijesova (*Ericaceae*).

Glavni edifikatori umjerenih listopadnih šuma pripadaju formi liščarskog drveća, umjerenom visokih, debelih stabala, koja se granaju na maloj visini formirajući kompaktnu, relativno široku krošnjju. Listovi su mezofilnog tipa (bez sloja kutikule i voska), zahvaljujući odsustvu sušnog perioda i karakterišu se regularnim listopadom usljed nepovoljnih uslova hladnog zimskog perioda. Kao adaptacija na niske temperature, vegetativni pupoljci ovih vrsta su zaštićeni ljuspama, dlakama i smolama. Sezonska aklimatizacija je od posebnog značaja, pri čemu se jedinke postepeno pripremaju za zimski period (izmjene u citoplazmi, koje će im omogućiti toleranciju na niske temperature).

Fenološke faze obuhvataju prisustvo regularnog sezonskog listopada, prisustvo regularnog vremena cvjetanja i plodonošenja, odsustvo kontinuiranog cvjetanja i plodonošenja i odsustvo mjesečnih ritmova koji nisu u vezi sa godišnjim dobima, kao i kod vegetacije okeanskog zonobioma.

Sva glavna područja listopadnih šuma javljaju se na sjevernoj hemisferi i istorijski su povezana, pa postoje mnoge sličnosti među njihovom živim svijetom. Isti se biljni i životinjski rodovi javljaju u svim regijama, iako se u svakoj regiji nalaze različite vrste. Međutim, evropska flora listopadnih šuma siromašnija je od flore istočne Sjeverne Amerike i istočne Azije. Mnoge biljke su uobičajene i raširene u šumama Sjeverne Amerike i Azije, ali u Evropi su prisutne samo kao ograničene reliktnne populacije ili fosili, npr. hikorija (*Carya*) i magnolija.

U sjevernoameričkim listopadnim šumama dominiraju hrastovi (nekoliko vrsta roda *Quercus*) i/ili bukva (*Fagus grandifolia*), javori (*Acer*), hikorije (*Carya*) i lipe (*Tilia*). Bukva i lipa su rijetke u drugim sjevernoameričkim tipovima vegetacije, ali hrastovi, hikorije i javori su rašireniji.

Fragmenti sjevernoameričke listopadne šume javljaju se i na planinama u Meksiku i Gvatemali, gdje se mnoštvo vrsta - npr. *Fagus*, *Fraxinus*, *Juglans*, *Liquidambar*, *Quercus* - pojavljuju kao identične ili blisko povezane vrste.

U Japanu, Koreji i Kini, sjeverno od zimzelenih širokolisnih šuma, postepeno počinju listopadne šume. U Japanu listopadnim šumama dominiraju bukva (*Fagus crenata* i *F. japonica*), hrast (*Quercus crispula*) i javor (*Acer carpinifolium*) i druge vrste; s njima se miješaju i druga stabla, uključujući trešnju, jasen, magnoliju i, na istoku, jelu (*Abies*). Listovi mnogih listopadnih stabala u Japanu, poput onih u Sjevernoj Americi, ali za razliku od većine

u Evropi, prelaze u jesen u jarke nijanse crvene i žute boje, a javori su posebno spektakularni. Ispod drveća obično raste gusti sloj patuljastog bambusa (*Sasa*); može biti toliko gust da sprečava obnavljanje drveća iz sadnica. Većim dijelom područja kineskih listopadnih šuma dominiraju razni hrastovi, često miješani s drugim drvećem, uključujući javor, johanu, jasen, orah, topolu i mnoge druge vrste.

Jedine značajne umjerene lišćarske šume na južnoj hemisferi javljaju se na malom području Čilea oko Valdivije, između oko 36° i 41° južne geografske širine. Šumama ovdje dominira listopadna vrsta bukve, *Nothofagus obliqua*, koja obično raste usred zim zelenih stabala više tipično za širokolisne šume koje se na jugu graniče s ovim područjem.

FAUNA

Fauna umjerenih šuma podsjeća na regionalnu faunu. Međutim, struktura vegetacije pruža slične ekološke niše u svim regijama istog vegetacijskog tipa, tako da, iako različite vrste naseljavaju različite šume, one su sličnog tipa. Šupljine na drveću pružaju sklonište i mjesto za gniježđenje arborealnim sisarima i pticama u većini regija umjerene šume, ali sa izraženim varijacijama. Na primjer, osim šišmiša, u novozelandskim šumama nema nijednog domaćeg sisara.

U umjerenim šumama sjeverne hemisfere vjeverice su veoma raširene.



**Sl. 111 Šumska sova
(*Strix aluco*)**

Lokalni dodatni arborealni oblici u azijskim šumama uključuju majmune, od kojih se većina pretežno hrani sjemenjem. Ova niša za ishranu posebno je prikladna u šumama sjeverne hemisfere, koje grade vrste drveća sa krupnim sjemenjem (npr. hrastovi – žir), nego njihovi ekvivalenti na južnoj hemisferi. Na sjevernoj hemisferi malo biljaka daje nektar pticama, a sjeme drveća obično jedu vjeverice i golubovi.

Ptice su manje regionalno različite, a porodice poput sova i golubova dobro su zastupljene u gotovo svim umjerenim šumskim regijama.

Zahvaljujući nepovoljnim zimskim uslovima mnoge vrste hiberniraju. Takođe su česte i migratorne vrste, koje zimuju u regijama sa povoljnijim uslovima.

Raznovidnost faune listopadnih šuma je u vezi sa velikim brojem drveća i žbunova, povoljnim temperaturnim i svjetlosnim uslovima, kao i dosta kratkim zimskim periodom. Osnovna hrana većine životinja su hrastovi i bukovi žirovi, ali i drugo sjemenje biljaka, naročito lješnik. Gljive su takođe važan element ishrane mnogih životinja. Izobilje hrane je karakteristična osobina listopadnih šuma, što i uslovljava bogatstvo faune. Međutim, za vrijeme zime šuma je ogoličena, prizemni sloj je pokriven snijegom, pa dolazi do izrazitog nedostatka hrane. Zbog toga, usljed migracije ili hibernacije, vrlo intenzivan život životinja u toku ljeta biva zamijenjen dosta pritajenim životom u toku zime. U južnijim oblastima listopadnih šuma, u kojima je zima kraća i snijeg manje dubok, omogućen je opstanak vrstama koje ne podnose dugotrajan i dubok snijeg, kao što su divlja svinja, jelen i srna.



Sl. 112 Jelenak (*Lucanus cervus*)



Sl. 113 Gubar (*Lymantria dispar*)

U listopadnim šumama živi veliki broj herbivornih insekata, koji nastanjuju zemljište, šumsku stelju, grane i listove drveća, žbunova i zeljastih biljaka, koru drveća i slično. Tipičan predstavnik hrastovih šuma je jelenak (*Lucanus cervus*). Prisutan je veliki broj različitih vrsta dnevnih i noćnih leptira. Po svom značaju se ističe gubar (*Lymantria dispar*), čije gusjenice žive na listopadnom drveću, čijim se lišćem hrane i često izazivaju ogromne štete. U ostale biljojede životinje listopadnih šuma spadaju zečevi- evropski zec (*Lepus europaeus*), vjeverice- crvena (evropska) vjeverica (*Sciurus vulgaris*), puhovi- veliki puh (*Glis glis*), šumski puh (*Dryomus nitedula*), puh lješnikar (*Myscardinus avellanarius*), miševi, hrčak (*Cricetus crictus*), voluharice- šumska voluharica (*Myodes glareolus*), jeleni- obučni (evropski) jelen (*Cervus elaphus*), srne- obična srna, srndać (*Capreolus capreolus*), mnoge vrste ptica. Divlja svinja (*Sus scrofa*) je takođe karakteristična životinja listopadnih šuma. U njoj nalazi obilnu hranu, a posebno žireve kojima se u najvećoj mjeri hrane.

Potrošače drugog reda čini čitav niz karnivora (insekti, žabe, gušteri, zmije, ptice, sisari). Neke od njih, npr. medvjed, nisu isključivi karnivori, već se i hrane biljnim materijama, tako da su one istovremeno potrošači i prvog i drugog reda. S druge strane, i mnoge sitnije i slabije karnivorne vrste predstavljaju hranu za čitav niz većih i snažnijih predatora, čime se lanac ishrane veoma usložnjava. Insektivorne ptice većinom nastanjuju donje i srednje šumske spratove. To spadaju veliki djetlić (*Dryobates major*), srednji djetlić (*Dryobates medius*), mali djetlić (*Dryobates minor*) i crni djetlić (*Picus martius*), kao i zelena žuna (*Picus viridis*). Od insektivornih sisara karakterističan je običan jež (*Erinaceus europaeus*), čest na šumskim ivicama, u svijetlim šumarcima i u šipražju. Njegova ishrana je veoma raznovrsna: različite sitne životinje (prvenstveno insekti, ali i sitni glodari), ali i dijelovi biljaka, ptičja jaja i mladi ptići. Krtice (*Talpa europaea* – evropska krtica) se hrane kišnim glistama, insektima i njihovim larvama. Slijepi miševi se takođe hrane insektima, a posebno su rasprostranjeni u južnim predjelima listopadnih šuma.



Sl. 114 Kuna zlatica (*Martes martes*)

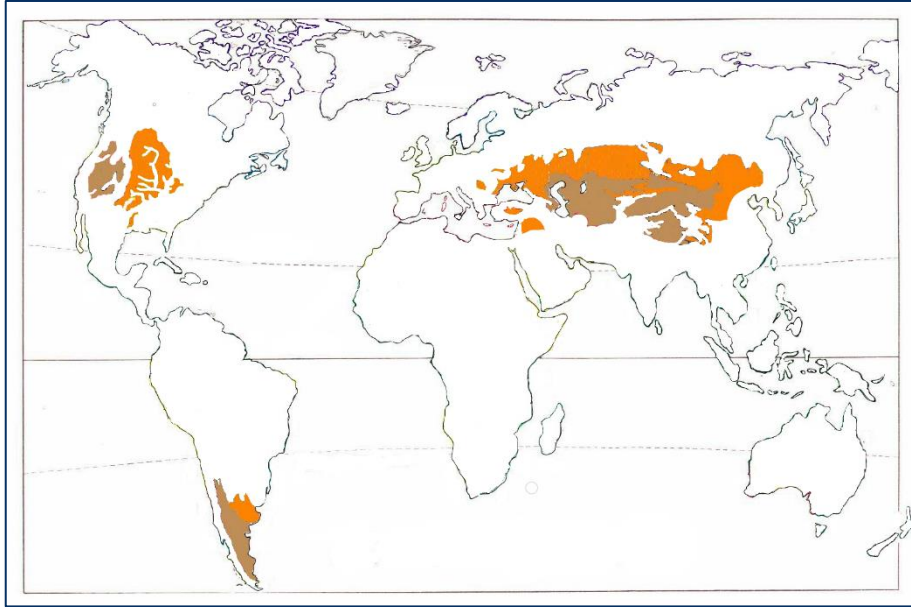


Sl. 115 Lasica (*Mustela nivalis*)

Od grabljivica je karakteristična kuna zlatica (*Martes martes*), koja živi uglavnom na drveću, praveći svoja gnijezda u dupljama. Hrani se prvenstveno vjevericama, koje veoma uspješno lovi, zahvaljujući adaptacijama na arborealni način života. Lasica (*Mustela nivalis*) se hrani miševima i drugim glodarima, loveći ih u njihovim rupama u zemlji. U prorjeđenim listopadnim šumama Evrope, čest je običan tvor (*Mustela putorius*), koji se hrani sitnim glodarima, gušterima, žabama, ribom, ptičjim jajima i ptićima ptica koje se gnijezde na zemlji ili na maloj visini od zemlje. Hermelin (*Mustela erminea*), jazavac (*Meles meles*), mrki medvjed (*Ursus arctos*), vuk (*Canis lupus*), lisica (*Vulpes vulpes*) i ris (*Lynx lynx*) su predatori i listopadnih i četinarskih šuma, kao i travnatih zajednica.

ZB. VII SUŠNI UMJERENI (KONTINENTALNI) ZONBIOM

Za ovaj zonobiom su karakteristična sušna umjerena klima, černoze i sirozemi i vegetacija stepa i hladnih kontinentalnih pustinja otpornih na mrazeve.



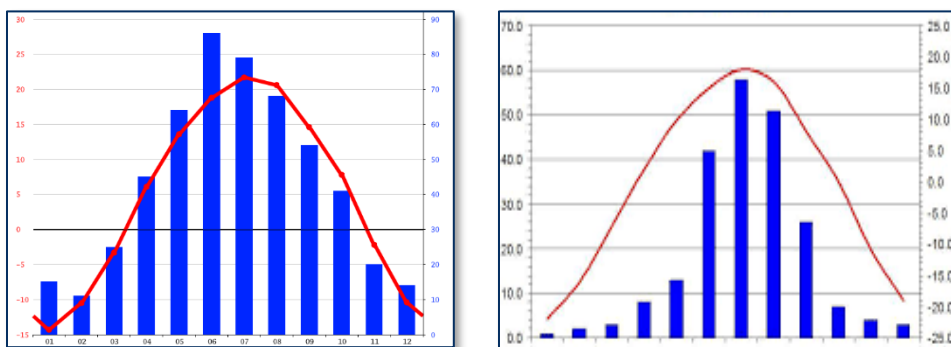
Sl. 116 Distribucija sušnog umjerenog zonobioma

Javlja se u centralnim dijelovima Evroazije, gdje zahvata ogroman prostor od Panonske nizije na zapadu do istočne granice Mongolije na istoku, centralnom dijelu Sjeverne Amerike i jugoistočnim dijelovima Južne Amerike. Zahvata oko 12% površine ukupnog kopna.

Sušna umjerena (kontinentalna) klima se odlikuje dugim (4-6 mjeseci) veoma hladnim zimskim periodom sa prosječnim mjesečnim temperaturama ispod nule, pojavom izraženih mrazeva, veoma toplim i suvim ljetnim mjesecima i prisustvom izraženog sušnog i polusušnog perioda. Temperaturne vrijednosti su sljedeće: srednja godišnja temperatura od 5-12 °C, srednja najhladnijeg mjeseca od -19 do -2 °C, srednja najtoplijeg mjeseca od 25-30 °C, apsolutnog temperaturnog minimuma od -25 do -20 °C, a apsolutnog maksimuma preko 50 °C. Padavina je veoma malo, od 100-500 (600) mm godišnje, sa maksimumom u proljeće. Vegetacioni period traje od 4-7 mjeseci, sa fazama mirovanja u toku hladnog zimskog perioda, kao i tokom višemjesečnog sušnog ljetnog perioda. Ova klima je izuzetno nepovoljna, sa ekstremnom sušom (i fizičkom i fiziološkom), ekstremnom hladnoćom (i

zimskom i noćnom) i ekstremnim sezonskim i dnevno-noćnim kolebanjima temperature. Sezonske temperaturne razlike iznose i preko 40 °C. Zimski period je sa malo padavina i snažnim hladnim vjetrovima, koji onemogućavaju zadržavanje sniježnog pokrivača. Insolacija je takođe ekstremno visoka, posebno na platoima visokih centraloazijskih planina.

Razlikuju se dvije klimatske varijante, polusušna sa 300-500 mm padavina godišnje i sušnim periodom od 2-3 mjeseca i sušna, sa veoma malo padavina (do 300 mm) i dugim sušnim periodom (6-7 mjeseci). U regionima polusušne klime razvijaju se stepe i šumostepe, a u uslovima sušne klime kontinentalne pustinje. Ova suha okruženja uzrokovana su ili udaljenošću od obale, što rezultuje niskom atmosferskom vlagom zbog nedostatka kopnenih vjetrova, ili prisustvom visokih planina koje odvajaju pustinju od obale.



Sl. 117 Klimadijagrami polusušne i sušne umjerene klime

Černozemi (crnice) se formiraju na lesu u području umjereno tople polusušne klime. U pitanju su kalcimorfna zemljišta u kojima su organomineralni kompleksi zasićeni Ca i Mg jonima, koji doprinose stabilizaciji zemljišnih koloida i stvaranju dobro strukturiranih mrvičastih agregata zemljišta. Neutralne su reakcije (pH 7- 7,5), povoljnog odnosa C/N, velike količine organskih jedinjenja, bogata humifikovanim organskim materijama, veoma brojnim mikroorganizmima i zemljišnom faunom. Nastala su nakon ledenog doba, pa su relativno mlada. Debljina im je često i preko 2 m, od kojih preko 1 m otpada na tamni humusni sloj. Dobro su razvijeni i horizonti A₁ i C, a ponekad se javlja i horizont B u kojem se akumulira kalcijum-karbonat. Ovo su najplodnija zemljišta na svijetu, izuzetno pogodna za sve gajene kulture, pa je gotovo cjelokuopno područje černozema pretvoreno u poljoprivredne površine.

Širozemi se javljaju na području veoma sušne umjereno tople klime. Ova zemljišta su, kao i u slučaju toplih pustinja, u početnim fazama razvoja, izgrađena od erodiranih proizvoda matične stijene nastalih radom vjetra

i vode. U njima se organska materija nalazi u veoma malim količinama, pa ne postoje uslovi za formiranje organo-mineralnog kompleksa i značajnije količine humusa. Ekstremno su neplodna, tako da predstavljaju specifičan rastresit supstrat sa nepovoljnim fizičko-hemijskim osobinama za rast i razviće biljaka. Slojevitost odsustvuje, a javlja se samo slabo izražen A₁ horizont u fazi formiranja. Hemizam im, u zavisnosti od vrste podloge, varira od veoma kisele do veoma bazne reakcije, a boja tla se kreće od veoma svijetlih do veoma tamnih.

Posebno klimatsko područje hladnih pustinja pogodovalo je razvoju određenih karakterističnih oblika terena, kao i u područjima toplih pustinja. Kamenite ravnice, **litosol** (kamenjar) su široko rasprostranjene, površina im je prekrivena grubim šljunkom i kamenjem, obloženim patinom tamnog „pustinjskog laka“ (sjajni tamni površinski pokrivač koji se sastoji od oksida gvožđa). Humusno-akumulativni sloj izostaje ili je slabo izražen. **Regosol** (sipar) nastaje raspadanjem matične stijene na manje frakcije, dok **arenosoli** predstavljaju inicijalna zemljišta na pjeskovima. Velike površine rastresitog, pokretnog pijeska pružaju najoštriji i najsiromašniji od glavnih tipova pustinjskih staništa, veoma slabog vodnog kapaciteta, te su veoma suva.

Stepa i hladna pustinja otporna na mrazeve

Zbog velikih razlika u strukturi stepa i hladnih pustinja, ovaj zonobiom se dijeli na dva podzonobioma, podzonobiom stepa (ZB VIIa) i podzonobiom hladnih kontinentalnih pustinja (ZB VIIb).

I stepe i kontinentalne pustinje su najčešće **monodominantnog**, rjeđe **oligodominantnog** karaktera, što znači da u njima dominira mali broj vrsta, prvenstveno trava (*Poaceae*) i drugih zeljastih biljaka. Od životnih formii dominiraju **hemikriptofite** (zeljaste višegodišnje biljke) i **terofite** (zeljaste jednogodišnje biljke), a drvenasti oblici (fanerofite) u potpunosti odsustvuju.

Trave koje izgrađuju stepe i kontinentalne pustinje imaju veoma efikasan intenzivno razgranat površinski korijen, koji upija i male količine vode iz podloge. Listovi su im veoma dugi, trakasti, sa sposobnošću uvijanja oko uzdužne ose, čime efikasno štite biljku od isušivanja tokom sušnog perioda. Meristemsko tkivo površinskih ili podzemnih vegetativnih pupoljaka je zaštićeno odumrlim suvim listovima, pa ove biljke lako preživljavaju nepovoljne hladne i sušne periode. Zeljaste i žbunaste vrste, koje se javljaju pored trava, takođe su dobro adaptirane na oštre klimatske uslove, slično biljkama toplih pustinja. Ipak, ovdje odsustvuju krupne sukulentne biljke, kaktusi i mlječike.

Fenologija edifikatora se ogleda u prisustvu regularnog sezonskog odumiranja listova, prisustvu regularnog vremena cvjetanja i plodonošenja, odsustvu kontinuiranog cvjetanja i plodonošenja i odsustvu mjesečnih ritmova, koji nisu u vezi sa sezonskim smjenama. Najveći broj vrsta cvjeta za vrijeme proljeća i ljeta, a plodonosi u jesen.

STEPE

Zonalne travne formacije, stepe, koje se razvijaju u uslovima kontinentalne klime, u Sjevernoj Americi nose naziv **prerije**, u Južnoj Americi **pampas**, a naziv **stepe** u užem smislu se odnosi na ravnice Evroazije.

Sjevernoameričke prerije nalaze se u kišnoj sjenci Stjenovitih planina. Ova područja dobijaju malo padavina, jer vjetar koji nosi kišu ima planinski



Sl. 118 Stepa, Nebraska, SAD

lanac kao prepreku. On se uzdiže uz planinski lanac, hladeći se, usljed čega se padavine izluče na strani izloženoj vjetru, dok samo mali njen dio dospijeva do druge strane masiva. Ukoliko je vjetar jako suv, onda to područje postaje pustinja.

Prirodnom vegetacijom na velikim ravnicama Sjeverne Amerike dominiraju trave - visoka trava i srednja travnata prerija na istoku i zajednice niskih trava na zapadu. Velik dio prirodnog travnatog pokrivača uklonjen je kako bi se stvorilo poljoprivredno zemljište ili je pod uticajem prekomjerne ispaše. Galerijske (priobalne) šume nalaze se uz rijeke i uključuju izdržljiva kserofitna stabla poput zove.

Pampa ili pampas je travnata stepe na jugoistoku Južne Amerike, blizu ušća rijeke La Plata u Atlanski okean. Na zapadu je ograničena planinama Andi, dok je na istoku Atlantski okean. Oblast pampa pokriva oko 600 000 kvadratnih kilometara i dijele je države Argentina, Urugvaj i Brazil.

Panonska stepe se nalazi u Austriji, Bugarskoj, Mađarskoj, Rumuniji, Srbiji i Slovačkoj. Pontsko-kaspijska stepe započinje blizu ušća u Dunav i proteže se na sjeveroistoku gotovo do Kazana, a zatim na jugoistoku do južnog vrha planine Ural. Na jugoistoku se Crna-Kaspijska stepe proteže između Crnog mora i Kaspijskog mora do planine Kavkaz. Na zapadu je Velika

mađarska ravnica, ostrvo stepe, odvojeno od glavne stepe planinama Transilvanije. Na sjevernoj obali Crnog mora, poluostrvo Krim ima unutrašnje stepe i luke na južnoj obali koje povezuju stepu s civilizacijama mediteranskog sliva. Kazahstanska stepa se proteže od Urala do Džungarije. Južno i zapadno od Džungarije, odvojeno od nje planinama Tanšan, nalazi se područje otprilike dvostruko veće od Džungarije, ovalni bazen Tarim. Mongolska stepa uključuje i Mongoliju i kinesku provinciju Unutrašnja Mongolija.

Fenologiju stepe karakteriše i izrazita **aspektivnost**, tako da nije rijedak slučaj da se u nekim stepama u prolječno-ljetnom periodu smijeni do 10 aspekata u kojima biljne vrste cvjetaju i plodonose, dajući specifičan izgled stepi.

FAUNA

Glavna biljna hrana u travnatim oblastima, je, naravno, trava, specifična po tome što joj je meristemsko tkivo pupoljka smješteno pri ili ispod zemlje, pa može da nastavi da raste uprkos tome što njene sočne listove pojedju životinje koje pasu. U ovim oblastima žive životinje koje pasu, kao i one koje brste. Pošto nedostaju mjesta za skrivanje od predatora, herbivori su grupisani u krda. Najveći predstavnici su bizoni u prerijama, lame u pampasima, i divlji konji i sajga antilope u stepama. Kompeticija za ishranu se ne javlja, usljed ogromnih travnatih prostranstava. Međutim, unutar grupe je izražena kompeticija na polju razmnožavanja, tako da se mužjaci na različite načine bore za ženke. Porast im je usljed hladne klime (**Bergmanovo pravilo**), ali i reproduktivnog rivalstva, izuzetno velik.



Sl. 119 Vitoroga antilopa
(*Antilocapra americana*)



Sl. 120 Sajga antilopa (*Saiga tatarica*)

Nakon povlačenja posljednjeg ledenog doba u stepi su pasla velika krda životinja od kojih su neke u međuvremenu izumrle, kao što su tarpan ili evropski divlji konj, te bizon, koji je sačuvan samo u rezervatima. Među

preživjele kopitare ubrajaju se sajga-antilope, jeleni i srne, te perzijska gazela. Vrste karakteristične za stepu su: divovska ptica (*Otis tarda*), stepski orao (*Aquila nipalensis orientalis*), kukmasta ševa (*Galerida cristata*), mongolski divlji konj (*Equus przewalskii*), kobra (*Naja naja*), gačac (*Corvula frugilegus*), stepska antilopa (*Saiga tatarica*), lijepi šareni tvor (*Vormela peregusna*), blavor (*Ophisaurus apodus*), hrčak (*Cricetus cricetus*), stepski leming (*Lagurus lagurus*), tekunica (*Citellus citellus*) i stepski svizac (*Marmota bobac*).

Prije naseljavanja Evropljana, velike ravnice Sjeverne Amerike bile su stanište ogromnih stada sisara na ispaši: bizona (*Bison bison*) i vitoroge antilope (*Antilocapra americana*). Bizoni su skoro izumrli, dok su populacije antilopa stabilne. Ostale životinje prilagođene travnjacima, koje uspijevaju zajedno s poljoprivredom, uključuju prerijske pse, kojote, prerijske kokoške i zvečarke. Kako nema drveća za skrivanje, kao i usljed velikih temperaturnih kolebanja, manje životinje se sklanjaju pod zemlju. Od sitnih glodara javljaju se stepski svizac (*Marmota bobak*), leming (*Lemus lemus*), hrčak (*Cricetus cricetus*), tekunica (*Citellus citellus*) i slijepo kuče (*Spalax leucodon*). Mnoge životinje, kao što su krtice i slijepa kučad, prilagodile su se potpuno podzemnom načinu života. Prerijski psi (*Cynomys* sp.) su veoma društvene životinje koje žive u velikim grupama zvanim gradovi. Žive u travnatim oblastima Sjeverne Amerike. Progone ih rančeri zato što rupe nastale izradom kompleksa podzemnih hodnika mogu da povrijede stoku.

HLADNE PUSTINJE

Hladne pustinje obično se nalaze u umjerenim zonama, najčešće u kišnoj sjeni visokih planina, koje ograničavaju padavine nošene zapadnim vjetrovima. Takav je slučaj sa Patagonskom pustinjom u Argentini, koja je omeđena Andama na svom zapadu. U slučaju centralne Azije, planine ograničavaju padavine nošene monsunskim vjetrovima. Pustinje Kyzyl Kum, Takla Makan i Katpana u srednjoj Aziji i suši dijelovi pustinje Velikog sliva na zapadu Sjedinjenih Država drugi su glavni primjeri vegetacije sušne umjerene klime. Regija Ladakh i grad Leh na Velikim Himalajima u Indiji takođe imaju hladnu pustinjsku klimu. Ravnice Hautes još su jedan od primjera hladne pustinjske klime, smještene u sjeveroistočnom dijelu Maroka i u Alžiru.

Hladne pustinje središnje Azije protežu se preko kontinenta od Kaspijskog jezera i iranske visoravni do Mongolije i zapadne Kine. Razlika između noćne i dnevne temperature iznosi i do 40 °C. Zimi nema nikakvih prepreka prodoru ledenih zračnih masa sa sjevernih arktičkih područja.

Kiše je malo u proljeće i jesen, a u ljetnim mjesecima vlada gotovo potpuna suša. Istočno od Tien Shan-a i Pamira nalazi se Takla Makan, najveća pješčana pustinja sjeverne Azije. Pustinja Gobi, koja se proteže od Mongolije, niz je aluvijalnih dina.

Vegetacijski pokrivač hladnih pustinja je otvoren, sa pokrovnošću ispod 20%. Dominiraju niske zeljaste, rjeđe žbunaste biljke. Postoje specifične fitocenoze građene iz **efemera** i **efemeroida**, koje u vrijeme suše izgledaju potpuno beživotno. Vegetacija postoji samo kratko nakon prvih proljetnih kiša, kada u vrlo kratkom vremenu nikne, procvjeta i odmah nakon toga donese sjeme.

FAUNA



Sl. 121 Dvogrba kamila (*Camelus bactrianus*)

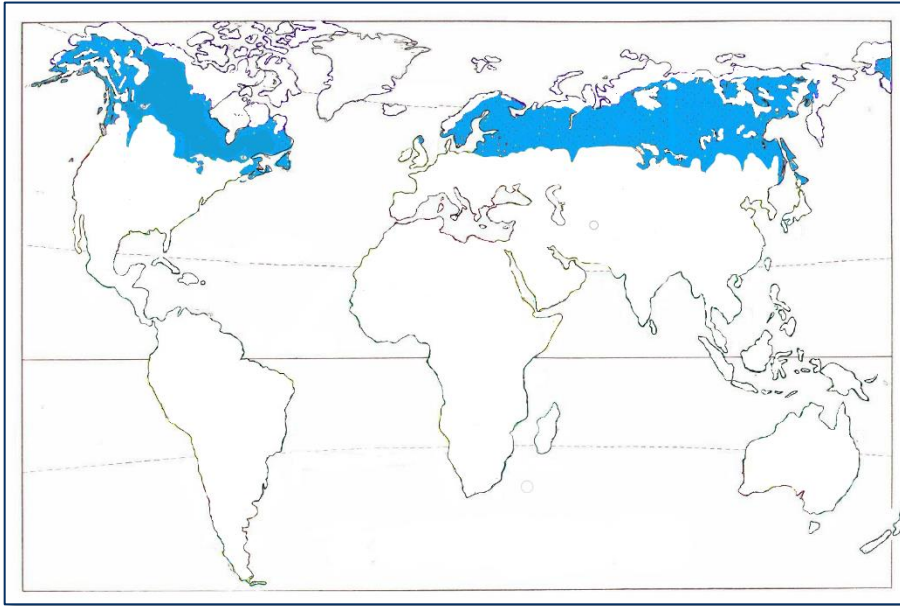


Sl. 122 Dugouhi jež (*Hemiechinus auritus*)

U oštroj klimi i uz oskudnu vegetaciju život životinja je jako težak, pa su mnogi biljojedi, aktivni samo u proljeće, dok se u ljetnim mjesecima nalaze u podzemnim skrovištima i kao većina pustinskih životinja izlaskom noću izbjegavaju dnevne vrućine. U hladnim pustinjama Azije živi i najsjeverniji predstavnik guštera varana – sivi pustinski varan (*Varanus griseus*). Gušteri su važna karika u lancu ishrane hladne pustinje, većina ih se hrani insektima, a sami su plijen zmija, kao što su levantska ljutica (*Vipera lebetina*), koja je opet hrana pustinskih svračaka i jastrebava. Većim pustinskim životinjama, među njima i dvogrboj kamili (*Camelus bactrianus*), omogućuje opstanak u tako sušnoj klimi stalna potraga za novim pašnjacima. Javljaju se i kitnjastorepi skočimiš (*Paradipus ctenodactylus*), ćukavica (*Burhinus aedionemus*), kratkorepa sadža (*Pterocles orientalis*), perzijska gazela (*Gazella subguturossa*), divlje magare (*Equus hemionus*) i dugouhi jež (*Hemiechinus*).

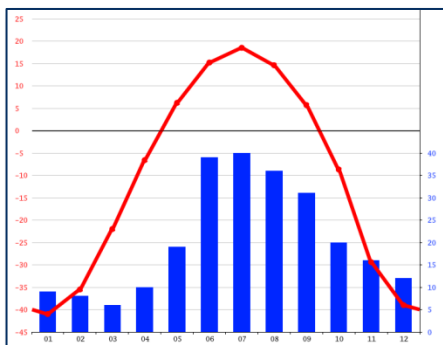
ZB. VIII HLADNI UMJERENI (BOREALNI) ZONBIOM

Ovaj zonobiom karakterišu hladna umjerena klima, podzoli i četinarska šuma tipa tajge. Rasprostranjen je samo na sjevernoj hemisferi, obuhvatajući velika prostranstva u sjevernim dijelovima Sjeverne Amerike, Evrope i Azije. Zahvata oko 10% ukupne površine kopna.



Sl. 123 Distribucija hladnog umjerenog zonobioma

Hladna (borealna) klima se karakteriše po veoma dugim (6-8 mjeseci) zimskim periodom sa prosječnim mjesečnim temperaturama ispod nule,



Sl. 124 Klimadijagram borealne klime (Jakutsk, Sibir)

pojavom mrazeva i u ljetnim mjesecima, kratkim hladnim i veoma vlažnim ljetom i potpunim odsustvom sušnog i polusušnog perioda. Srednja godišnja temperatura se kreće od -10 do 3°C, srednja temperatura najhladnijeg mjeseca između -25 i -15°C, najtoplijeg od 10-15°C, sa apsolutnim temperaturnim minimumom i do -70°C, dok apsolutni maksimum ne prelazi 30°C. Padavine su neravnomjerno raspoređene, sa maksimumom tokom ljeta. Ukupna godišnja količina padavina se kreće od (250) 500 do

1000mm. Vegetacioni period traje samo 4-6 mjeseci, a za vrijeme višemjesečnog hladnog perioda dolazi do zaustavljanja gotovo svih aktivnosti u ekosistemima. Posebno je značajna pojava mrazova u ljetnim mjesecima i samo 30-60 toplih dana, sa temperaturama iznad 10°C, usljed čega je evaporacija niska i nikada ne dolazi do fizičke suše. Međutim, fiziološka suša je veoma zastupljena u najdužem periodu godine, zimskom periodu, kada je većina prisutne vode u čvrstom stanju.

U odnosu na razlike u količini padavina, srednjim godišnjim temperaturama i temperaturnim amplitudama, razlikuje se 5 klimatskih varijanti: sjevernoborealna (izuzetno hladna), centralnoborealna (najumjerenija), južnoborealna (najtoplija), ekstremno kontinentalno borealna (izuzetno hladna, sa najvećim temperaturnim amplitudama) i ekstremno okeansko borealna klimatska varijanta (najviše padavina). Najekstremniji klimatski uslovi se javljaju u ultrakontinentalnim područjima Sibira, sa godišnjom količinom padavina od 250-400mm, srednjim godišnjim temperaturama između -10 i -0,5°C i temperaturnom amplitudom od 100°C (između -70 i +30°C).

Fitoklima unutrašnjosti tajge se odlikuje difuznom svjetlošću, povećanom vlažnosti vazduha, umjerenijom temperaturom i potpunim odsustvom mehaničkog dejstva vjetrova, u odnosu na makroklimatske prilike. Rijetki otvoreni zeljasti ekosistemi nemaju specifičnu fitoklimu.

U uslovima hladne i vlažne klime, zahvaljujući stalnoj podzolizaciji (nagomilavanje silicijum-dioksida, ispiranje rastvorljivog kalcijum-karbonata, raspadanje primarnih i formiranje sekundarnih koloida zemljišta, kao i ispiranje hidroksida gvožđa i aluminijuma, koji se nagomilavaju u eluvijalnom sloju) formiraju se podzoli. Podzoli ovog regiona (za razliku od podzola okeanskog zonobioma) imaju karakterističnu pepeljasto-sivu boju, pa se zovu i **pepeljuše**.

U pitanju su mlada postpleistocenska zemljišta debljine 50-80, rijetko 100cm. Izražena su im 4 horizonta: debela slabo razgrađena stelja (horizont A₀), akumulativno-humusni sloj (horizont A₁), veoma izražen eluvijalni sloj pepeljasto-sive boje (horizont A₂) i rastresita matična stijena (horizont C). Kisele su reakcije (pH 3,5-4,5) usljed prisustva velike količine organskih kiselina, koje nastaju u nekompletnoj dekompoziciji stelje u potpunosti izgrađene od četina bogatih smolama, etarskim uljima i drugim organskim materijama. Biološka aktivnost mikroorganizama i glljiva borealnih podzola je slaba, zbog veoma nepovoljnih klimatskih uslova, pa je dekompozicija veoma spora. Zahvaljujući slabom kruženju nutrijenata i izraženoj kiselosti, podzoli su neplodna zemljišta.

Tajga

U području borealne klime na podzolima, kao klimazonalna vegetacija se javlja tajga, koju čine različite četinarske ili listopadne četinarske šume otporne na duge zime.

Najčešće su **monodominantnog** tipa, rjeđe oligodominantne. Ovo relativno siromašno područje izgrađuje nekoliko vrsta koje pripadaju rodovima smrče (*Picea*), borova (*Pinus*), ariša (*Larix*) u Evroaziji, a cuge (*Tsuga*) i pseudocuge (*Pseudotsuga*) u Sjevernoj Americi. Najveći broj vrsta pripada **hemikriptofitama**, zatim **hamefitama** (forma niskih žbunastih vrsta), **fanerofite** su malobrojne, a **terofite** (jednogodišnje vrste) gotovo odsustvuju.

Gotovo sve glavne taksonomske grupe imaju manje vrsta životinja i biljaka u tajgi nego što ih imaju u drugim kopnenim ekosistemima na nižim geografskim širinama. To se podudara s gradijentom biodiverziteta vrsta, koji se uočava od nižih do viših geografskih širina, a broj vrsta se smanjuje u smjeru pola.

Bijeli bor (*Pinus sylvestris*) je najrasprostranjenija vrsta borova na svijetu, koja raste od sjeverne Škotske do ruske obale Tihog okeana. Relativno



**Sl. 125 Sibirski ariš
(*Larix sibirica*)**

vlažnom i produktivnom tajgom sjeverne Evrope i južnog centralnog Sibira dominira ova vrsta. Ima debelu koru i lako preživljava i požare, često dostižući starost od 350 do 400 godina, a neke jedinke su dostigle i starost od 700 godina. Jasika (*Populus tremula*) i smrča (*Picea obovata*) u osnovi su također široko rasprostranjene.

Sastav vrsta evroazijske tajge razlikuje se istočno od centralnog Sibira od onog koji prevladava na zapadu u Evropi. Prepoznatljivije evropske vrste uključuju evropsku smrču (*Picea abies*), veliku dominantnu vrstu produktivnih vlažnih dijelova tajge, i sibirski ariš (*Larix sibirica*), rano sukcesijsku vrstu (jedna od prvih

vrsta koja je kolonizirala područje nakon poremećaja) evropske Rusije. Maljava (*Betula pubescens*) i bijela breza (*B. pendula*) javljaju se širom sjeverne Evrope i do centralnog Sibira. Breze često tvore guste sastojine

svijetlih ili bijelih kora koje se smatraju karakterističnom osobinom tajge. Sibirski ariš (*Larix sibirica*) i sibirski jela (*Abies sibirica*) ograničeni su na sjevernu i centralnu Aziju. Vrste ograničene na sjeveroistočnu Aziju uključuju sibirski bor (*Pinus sibirica*) i azijsku smreku (*Picea obovata*).

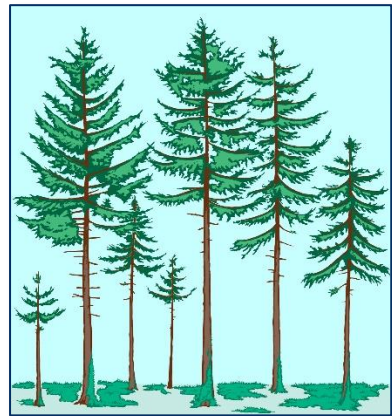
Glavne vrste drveća tajge dobro su prilagođene ekstremnim zimskim hladnoćama. Najsjevernije drveće u Sjevernoj Americi je bijela smreka koja raste duž delte rijeke Mackenzie u Kanadi, blizu obale Sjevernog ledenog okeana. Najsjevernije drveće na svijetu je daurski ariš (*Larix dahurica*) pronađen na poluostrvu Tajmir u središnjem arktičkom dijelu Rusije.

Specifičnost flore tajge je brojnost i raznovrsnost mahovina. Velike tresetne močvare u borealnoj regiji često su guste nakupine nastale od mahovina roda *Sphagnum* i drugih vrsta mahovina, šaša i drugih biljaka, pri čemu živi sloj mahovine neprestano raste na površini.

Lišajevi su također generalno dobro raspoređeni na stablima drveća, a posebno u krošnjama starijih četinjara širom tajge. Budući da se lišajevi i mahovine raspršuju sporama u vazduhu koje mogu putovati na velike udaljenosti, mnoge vrste obe grupe nalaze se širom čitave cirkupolarne tajge.

Mnoge vaskularne biljke su također raširene širom cirkupolarnog sjevera. Neke od njih su brusnica (*Vaccinium vitis-idaea*), borovnica (*Vaccinium myrtillus*), vatrena trava (*Epilobium angustifolium*), na tresetištima nordijska kupina ili moroška (*Rubus chamaemorus*) i močvarna borovnica (*Empetrum nigrum*).

Tajge su guste teško prohodne šume, sa izraženom vertikalnom stratifikacijom, na kojoj se izdvajaju sprat drveća, sprat niskih žbunova i sprat lišajeva, mahovina i zeljastih biljaka. Lijane i penjačice odsustvuju. Nema gigantskog drveća, a sprat visokog drveća je obično visok između 30 i 40 metara, izuzetno do 50 m. Šume formirane od smrči, ariša, cuge i duglazije su, zahvaljujući njihovim piramidalnim stablima, znatno tamnije i gušće od borovih šuma. Borovi borealnog područja imaju kišobranastu formu, sa krošnjom horizontalno



Sl.126 Vertikalna struktura tajge

postavljenom na vrhu visokog nerazgranatog stabla, pa su im šume svijetle, manje guste i lako prohodne.

Četine su duge 10-30mm kod smrča, ariša, cuga i duglazija, a kod borova do 10 cm. Smolama su zaštićeni od smrzavanja nadzemni izdanci, listovi, pupoljci i šišarke.

Osim ariša, svi borealni četinari su vječnozeleni. Imaju regularne ritmove cvjetanja i plodonošenja, u kratkom povoljnom prolječno-ljetnom periodu.



Sl. 127 Brusnica
(*Vaccinium vitis-idaea*)



Sl. 128 Borovnica
(*Vaccinium myrtillus*)

FAUNA

Budući da je zimski snježni pokrivač pouzdana karakteristika tajge, mnogi sisari su razvili i očite morfološke adaptacije, od usklađivanja boje krzna sa okolinom u zimskom periodu (polarna lisica i zec), do proširenih stopala radi lakšeg kretanja po sniježnom pokrivaču (sniježna koka, polarni zec, ris itd). Većina životinja iz tajge dobro su se prilagodile hladnoći i lako je preživljavaju ako imaju dovoljno hrane da zimi održe energetske ravnotežu.

Losovi (*Alces alces*) su najveće životinje tajge. Ljeti jedu vrbu i širokolisno drveće, a takođe se hrane vodenim biljkama jezerima i ribnjaka. Tokom zime losovi jedu velike količine drvenastih grančica i pupova. Zavise od visokokvalitetnih područja za ishranu grmljem duž poplavnih područja rijeka i o ranom uzastopnom rastu drvenastih biljaka u spaljenoj ili posječenoj šumi. Intenzivno ishrana losova može promijeniti sastav šume u ranim fazama rasta, često povećavajući dominaciju četinara, koje oni ne konzumiraju u tolikoj količini, kao što je to slučaj sa listopadnim drvećem. Glavni predatori su im vukovi (*Canis lupus*).



Sl. 129 Los (*Alces alces*)



**Sl. 130 Sob, karibu
(*Rangifer tarandus*)**

Sezonski prisutan u tajgi je sob (*Rangifer tarandus*) u Evroaziji i njegov srodnik karibu u Sjevernoj Americi. Karibu migrira na veće udaljenosti od bilo kog velikog kopnenog sisara u Sjevernoj Americi. Često se kreću u ogromnim stadima od 500.000 životinja ili više, rijetko se zaustavljajući ili zastajući, jer se moraju neprestano hraniti u tim sredinama s veoma niskom produktivnošću.

Nekoliko sisara borealne regije cijenjeno je zbog krzna, zbog čega su predmet lova i trgovine krznom. Tu spadaju ris (*Lynx lynx*) i kuna (*Martes americana*), a na močvarnim staništima i dabar (*Castor canadensis*), američka kuna (*Neovison vison*) i bizamski pacov (*Ondatra zibethica*).

Tajga je migracijsko odredište velikog broja ptica tokom ljetne sezone. Uključuje nekoliko ptica tipičnih za staništa grmlja i šuma, poput drozdova. Predatori ovih ptica javljaju se i u šumi, poput oštrokosog jastrebava (*Accipiter striatus* i *A. gentilis*).

Ptice tajge zauzimaju razne niše. Neke se hrane sjemenjem, omogućavajući disperziju. Druge se hrane insektima. Djetlići su specijalizovani predatori insekata koji naseljavaju drvo i koru i veoma su važni za suzbijanje njihovih populacija. Nestankom velikih stabala sječom, nestaje stanište troprstog djetlića (*Picoides tridactylus*), velikog pjegavog djetlića (*Dendrocopus major*), tetrijeba (*Tetrao urogallus*) i krstokljuna (*Loxia curvirostra*).

Zbog ograničenih mogućnosti za ishranu, malo vrsta ptica ostaje u regijama tajge tokom dugih hladnih zima, iako neke poduzimaju samo kratku migraciju na jug. Stanarice tajge uključuju običnog gavrana (*Corvus corax*) i sibirske sjenice (*Parus sp.*).

Prostrana područja jezera, ribnjaka i močvara - posebno u zaleđenom dijelu tajge - pružaju veliko stanište vodenim i obalnim pticama, iako se javljaju u malim populacijama širom predjela.

Tajga je dom relativno malo vrsta insekata, ali prostrana i obično ujednačena područja povremeno podržavaju velike populacije vrsta koje tamo žive. Tajgi nedostaju složeni kompleksi predatora i parazita beskičmenjaka, koji služe kao stabilizatori populacija insekata u toplijim regijama. Kao rezultat, populacije borealnih insekata povremeno se prenamnože i uzrokuju izbijanje epidemija, često na širokim područjima. Jednom kada epidemija dostigne određenu veličinu, može postati samoodrživa, slično kao šumski požar; efekti smrčinog pupoljka (*Choristoneura fumiferana*) i smrčine zlatice (*Dendroctonus rufipennis*) u Sjevernoj Americi dobro su proučeni. Izbijanje mogu izazvati neuobičajene vremenske prilike ili fizičke povrede koje drveće opterećuju i čine ranjivim na insekte; mogu se završiti iz različitih razloga, uključujući proizvodnju obrambenih hemikalija od strane biljaka domaćina ili iscrpljivanje osjetljivih biljaka domaćina.



Sl. 131 Istočni smrčin pupoljak, gusjenica (*Choristoneura fumiferana*)

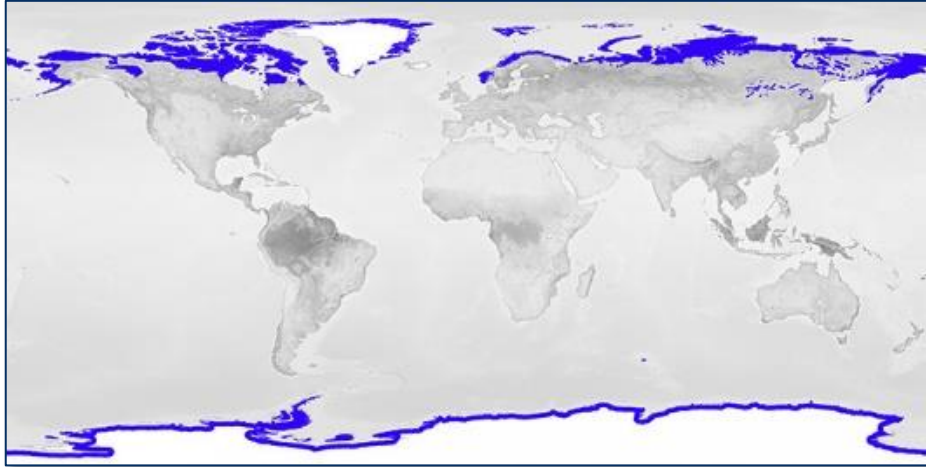


Sl. 132 Smrčina zlatica, adult (*Dendroctonus rufipennis*)

Zimska klima tajgi je vrlo surova pa živi svijet opstaje zahvaljujući životnim formama koje ih karakterišu npr. gusto krzno, bogato perje, potkožno masno tkivo, te sposobnost nalaženja i pripremanja dobrog skrovišta i jazbina, sposobnosti hibernacije i slično.

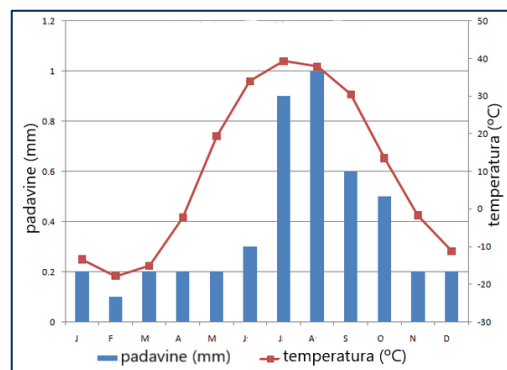
ZB. IX ARKTIČKI I ANTARKTIČKI ZONBIOM

Ovaj zonobiom odlikuje arktička klima, polarna humusna zemljišta i tundra. Javlja se na obe hemisfere na površini oko 10% ukupnog kopna. Najveći dio ovog zonobioma zahvata krajnji sjever Sjeverne Amerike, Evrope i Azije, uključujući Grenland i ostrva Sjevernog ledenog okeana. Manji dio zahvata najjužnije dijelove Južne Amerike i ona područja Antarktika, koja nisu pod vječnim ledom.



Sl. 133 Distribucija arktičkog i antarktičkog zonobioma

Karakteristike arktčke klime su ekstremno dug (8-10 mjeseci) hladan period sa prosječnim mjesečnim temperaturama ispod nule, redovna pojava mrazeva u ljetnim mjesecima, veoma kratko hladno i vlažno ljeto, potpuno odsustvo sušnog i polusušnog perioda. Temperatura je preko cijele godine veoma niska, sa srednjim vrijednostima godišnjih temperatura u rasponu od -15 i -1°C , srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca između 5 i 10°C , a najhladnijeg između -36 i -23°C . Apsolutni temperaturni minimumi iznose preko -70°C , a maksimumi ne prelaze 20°C . Padavina je veoma malo (100-200mm), neravnomjerno raspoređenih tokom godine, sa maksimumom tokom



Sl. 134 Klimadijagram arktičke klime (arktčka tundra)

ljetnog i jesenjeg perioda. Vegetacioni period traje svega 2-4 mjeseca, dok su gotovo sve aktivnosti zaustavljene u preostalim mjesecima. Zbog malog broja toplih dana i redovne pojave mrazeva tokom ljeta, evaporacija je izuzetno niska (slično klimi borealnog zonobioma, samo još ekstremnije), pa i pored male količine padavina nikada ne dolazi do fizičke suše. Fiziološka suša je zastupljena gotovo cijele godine. Kako je u pitanju otvoren prostor, ne postoje prepreke snažnim sjevernim vjetrovima brzina 15-30 m/s, pa su ovi prostori među najsirovijima za život.

Proces formiranja zemljišta u uslovima arktičke klime se označava kao **glejizacija** ili **oglejavanje** i podrazumijeva slabu mineralizaciju i izraženu akumulaciju nerazloženih tresetnih naslaga i zakiseljavanje tla. Aerisanost zemljišta je nedovoljna, pa se oksidi gvožđa redukuju mijenjajući boju i fizičko-hemijske osobine zemljišta. Ovako nastala tla se nazivaju **glejosoli** ili **glejna zemljišta**, koje odlikuje posebno slab protok vode usred prisustva permafrosta. U pitanju su mlada, postpleistocenska zemljišta u čijoj strukturi se razlikuju samo 2 sloja, akumulativno humusni sloj (horizont A₁) i rastresita matična stijena (horizont C). Izrazito kisele do neutralne su reakcije, tanke debljine, slabo izražene dinamike, usljed slabe biološke aktivnosti tokom veoma dugog hladnog perioda. Svi pedološki procesi su veoma usporeni, tako da su ova zemljišta veoma neplodna. Imaju i specifičan temperaturni režim, razlikuju se tri termička sloja. Na površini se nalazi sloj zemljišta se topi i zaleđuje tokom dana i noći (proces **soliflukcije**), ispod kojeg je tanki tečni glinoviti sloj, nastao usljed dnevnog topljenja i smrzavanja. Najdonji se označava kao **permafrost**, sloj vječito smrznute podloge, čija debljina varira u odnosu na vrstu zemljišta, ali i sezonu. Zemljište je ipak znatno toplije od okolnog vazduha, pa često razlike u temperaturi prelaze i 10°C.

Permafrost je uvijek prisutna karakteristika arktičke tundre. Južna granica kontinuiranog permafrosta javlja se unutar sjevernog šumskog pojasa Sjeverne Amerike i Evroazije i može se povezati sa prosječnim godišnjim temperaturama vazduha -7°C. Na velikom dijelu Arktika, permafrost se prostire na dubinama od 350 do 650 metara.

Tundra

Tundra, klimazonalna vegetacija formirana na području arktičke klime i polarnim humusnim zemljištima, odnosi se na ravnice bez drveća. Karakterišu je nizak biodiverzitet, jednostavna struktura vegetacije, slaba dreniranost tla, kratka sezona rasta i razmnožavanja, energija i materija deponovane u obliku mrtvog, nerazgrađenog organskog materijala, kao

i velike oscilacije populacija koje je naseljavaju. Građena je iz mahovina lišajeva, trava, travoidnih vrsta i niskih žbunova.

U zoni arktičke klime broj vrsta biljaka i životinja obično je mali u poređenju sa drugim regionima, ali je broj jedinki po vrstama često velik. Odnosi unutar lanaca ishrane su znatno jednostavniji i podložniji poremećajima, ako kritična vrsta nestane ili joj se populacija smanji. Mnoge vrste tundre su endemične, tako da je za ukupan biodiverzitet planete od presudnog značaja očuvanje i ovog zonobioma.

Zajednice tundre su po pravilu **monodominantne**, rijetko **oligodominantne**. Izgrađuje ih svega nekoliko vrsta kleka (*Juniperus*), borovnica (*Vaccinium*), vriesovas (*Empetrum*) ili pleglih patuljastih vrba (*Salix*) i breza (*Betula*), potom nešto veći broj vrsta oštrica (*Carex*) i vjetrogona (*Eriophorum*) i znatan broj mahovina i lišajeva. Od biljnih životnih formi najzastupljenije su **hemikriptofite** (oko 50%), potom **hamefite** (oko 30%), a fanerofite i terofite gotovo u potpunosti odsustvuju.

Veći dio godine biom tundre je hladan, zaleđen krajolik. Ovaj biom ima kratku sezonu rasta, praćenu teškim uslovima pa biljke i životinje regije trebaju posebne adaptacije za preživljavanje. Zajednička osobina glavnih edifikatora tundre (busenastih mahovina, lišajeva, trava, oštrica i niskih žbunića borovnice i kleke) je da njihovi nadzemni izdanci formiraju niske, sferične,



Sl. 135 Tundra pred zimu, Aljaska

kompaktne strukture aerodinamičnog oblika (jastučasta forma). Na taj način efikasno čuvaju toplotu u unutrašnjim dijelovima busena, uz istovremeno efikasnu amortizaciju udara jakih polarnih vjetrova. Zastupljena je mikrofilija (sitni, kožasti listovi), radi efikasnog zadržavanja vode. Trave i oštrice, zahvaljujući veoma elastičnim stablima, dobro podnose udare vjetra. Puzeća stabla su posebno interesantna. Njihova visina ne prelazi desetak centimetara, dok im dužina dostiže i nekoliko metara.

Korijenski sistem svih vrsta je ekstenzivan, površinski, sa sposobnošću veoma efikasnog upijanja hladne, tek otopljene vode iz površinskih dijelova zemljišta.

Vegetacija mnogih zajednica arktičke tundre ima tendenciju da bude zelenkasto smeđe boje. Iako biljke ne ostaju u cvijetu duže od nekoliko dana ili sedmica u tim okruženjima, cvjetovi su uglavnom veliki u odnosu na veličinu biljke i prilično su šareni, posebno na alpskim staništima.

Uz rast biljaka i mnogi aspekti životinjskih aktivnosti ograničeni su na dva do četiri mjeseca u godini, kada su temperature iznad nule. Evolucija je pogodovala brzom završetku životnih ciklusa. Organizmi tundre su oportunistički. Mnoge vrste biljaka su višegodišnje biljke koje procvjetaju u roku od nekoliko dana nakon što se snijeg počne topiti, a neke daju zrelo sjeme u roku od četiri do šest sedmica. Vrlo je malo vrsta jednogodišnjih biljaka. Biljke visoke 2,5 do 7,5 cm obično cvjetaju prve, jer se nalaze u toplijim slojevima vazduha, u blizini površine tla. Tokom oblačnih perioda, u hladu i tokom noći, temperatura cvijeta je vrlo slična temperaturi okolnog vazduha. Na Sunčevoj svjetlosti, međutim, cvijeće može biti za oko 2–10°C toplije od okolnog vazduha. Pojedine biljne vrste su se toliko prilagodile ekstremno hladnim uslovima da i nakon smrzavanja u vrijeme cvjetanja nastavljaju svoj razvoj i plodonošenje, po prestanku nepovoljnog perioda (oluje).

Antarktičkih biljaka ukupno ima oko 800 vrsta, od čega je 350 vrsta lišajeva. Lišajevi, iako spororastući, posebno su dobro prilagođeni preživljavanju Antarktiku. Oni mogu izdržati duge periode visokog stresa u mirovanju i gotovo trenutno postaju fotosintetički aktivni kada se uslovi poboljšaju. Briofita (mahovine i jetrenjače) su zastupljene sa oko 100 vrsta i prevladavaju u pomorskim krajevima. Brojne vrste plijesni, kvasci i druge gljive, kao i slatkovodne alge i bakterije, upotpunjuju popis antarktičkih biljaka.

FAUNA

Životinje u arktičkoj tundri takođe su prilagođene ekstremnim uslovima i koriste kratku eksploziju biljnog života u kratkoj sezoni rasta. Fauna tundre uključuje male sisare - poput norveških leminga (*Lemmus lemmus*), arktičkih zečeva (*Lepus arcticus*) i arktičke prizemne vjeverice (*Spermophilus parryi*) - i velike sisare, poput karibua (*Rangifer tarandus*) i mošusnog govečeta (*Ovibos moschatus*). Ove životinje u svrhu termoizolacije imaju razvijeno debelo krzno, ispod kojeg su masne naslage. Zalihe masti imaju važnu ulogu i kao energetski rezervoari za hladni period. Mnoge štete energiju hibernacijom tokom dugih zimskih mjeseci. Druge, pak, migriraju u toplije krajeve tokom zime. Mnoge ptice takođe migriraju u tundru tokom vegetacije kako bi se hranile i razmnožavale.



**Sl. 136 Arktička vjeverica
(*Spermophilus parryi*)**



Sl. 137 Snježna sova (*Bubo scandiacus*)

Na vrhu lanca ishrane nalaze se predatori poput arktičkih lisica (*Vulpes lagopus*), arktičkih vukova (*Canis lupus*), snježnih sova (*Bubo scandiacus*) i polarnih medvjeda (*Ursus maritimus*), koji se tokom ljeta useljavaju u tundru kada je plijen obilan i njihova uobičajena lovišta na morskom ledu se smanjuju. Mnoge životinje, i predatori i plijen, u zimskim mjesecima razvijaju bijelo krzno ili perje zbog kamuflaže u ledu i snijegu.

Insekti arktičke tundre takođe su razvili adaptacije za hladnoću. Tako na primjer komarci (*Aedes nigripes*) imaju hemijsko jedinjenje koje djeluje kao antifriz, snižavajući temperaturu smrzavanja u njihovim tjelesnim tečnostima.

Autohtona fauna kopnenog dijela Antarktika je sastavljena isključivo od beskičmenjaka. Antarctička mikrofauna uključuje heliozoe, rotifere, tardigrade, nematode i cilijarne protozoe. Praživotinje dominiraju zajednicama tla i slatke vode. Kopnena makrofauna u potpunosti se sastoji od atropoda, a mnoge vrste parazitiraju na pticama i fokama. Glavne zastupljene grupe artropoda uključuju *Acarina*, *Mallophaga*, *Collembola*, *Anoplura*, *Diptera* (mušice) i *Siphonoptera*.

Foke i ptice Arktika i Antarktika se proučavaju u okviru marine ekologije, te ovdje nisu obuhvaćeni.

LITERATURA:

1. "the definition of ecology". <https://www.dictionary.com/browse/ecology>. pristupljeno 30.07.2020.
2. Archer, D., M. Eby, V. Brovkin, A. Ridgwell, L. Cao, et al. (2009): Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. *Annual Review of Earth and Planetary Science* 37:117–134.
3. Arnfield, A. John (2020): Köppen climate classification. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>, pristupljeno 05.02.2021.
4. Barbara E. Barich (2008): AFRICA, NORTH | Sahara, West and Central in *Encyclopedia of Archaeology*, 2008, <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/wurm>
5. Bliss, L. C. and Hu, Feng Sheng (2020): Tundra. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/tundra>, pristupljeno 10.02.2021.
6. Bliss, L. C. and Hu, Feng Sheng (2020): Tundra. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/tundra>, pristupljeno 24.02.2021.
7. Bright, R.M. (2015): Metrics for biogeophysical climate forcings from land use and land cover changes and their inclusion in life cycle assessment: a critical review. *Environ Sci Technol*. Mar 17;49(6):3291-303. doi: 10.1021/es505465t. Epub 2015 Mar 6. PMID: 25719274.
8. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2019): Chaparral. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/plant/chaparral>, pristupljeno 20.02.2021.
9. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2019): Mediterranean climate. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Mediterranean-climate>, pristupljeno 19.02.2021.
10. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2019): Mediterranean vegetation. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/plant/Mediterranean-vegetation>, pristupljeno 19.02.2021.
11. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2020): Rainforest. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/rainforest> pristupljeno 08.02.2021.
12. Bruce P. Hayden, Basil John Mason et al. (2020): Climate. *Encyclopaedia Britannica*, March 21, 2020, <https://www.britannica.com/science/climate-meteorology>, pristupljeno 30.12.2020.

13. Eric Laferrière, Peter J. Stoett (2003). *International Relations Theory and Ecological Thought: Towards a Synthesis*. Routledge. p. 25. ISBN 978-1-134-71068-3.
14. F. Stuart Chapin, III • Pamela A. Matson, Peter M. Vitousek (2011): *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology, Second Edition*. Springer Science+Business Media, LLC 2011, e-ISBN 978-1-4419-9504-9.
15. Glavač V. 1999. *Uvod u globalnu ekologiju. Duzpo i Hrvatske šume*. Zagreb.
16. Grupa autora (2006): *Zemlja*. Smithsonian Institution, 2004. Izdanje Mozaik knjiga.
17. haloklina. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 30. 1. 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=24206>
18. Herzsuh, U., Birks, H., Laepple, T. et al. (2016): *Glacial legacies on interglacial vegetation at the Pliocene-Pleistocene transition in NE Asia*. *Nat Commun* 7, 11967. <https://doi.org/10.1038/ncomms11967>
19. Huxley, J. (1973): *The Mitchell Beazley atlas of world wildlife*. London, Mitchell Beazley.
20. IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
21. Ivanc, A., Dekić, R. (2017): *Mehanizmi fizioloških adaptacija*. Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci.
22. Janković, M, Milorad (1985): *Fitogeografija*. Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
23. Juday, G. Patrick (2020): *Taiga*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/taiga>, pristupljeno 22.02.2021.
24. klima. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 30. 12. 2020. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31884>>.
25. Lakušić, D., Šinžar-Sekulić, J., Rakić, T., Sabovljević, M. (2015): *Osnovi ekologije*. Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Beograd.
26. Mikavica, D. (2005): *Zoogeografija kičmenjaka*, Poljoprivredni fakultet, Banja Luka.
27. Mučibabić, S., (1960): *Osnovi ekologije (skripta)*. Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
28. Muscarella, R, Emilio, T, Phillips, OL, et al. (2020): *The global abundance of tree palms*. *Global Ecol Biogeogr*. 29: 1495– 1514. DOI: 10.1111/geb.13123 <https://doi.org/10.1111/geb.13123>
29. Odum, E. P. & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of Ecology*. Fifth Edition. Thomson Brooks/Cole, Belmont, California.

30. Olson, D., & Dinerstein, E. (2002): The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89, 199-224.
31. O'Neill, D. L.; Deangelis, D. L.; Waide, J. B.; Allen, T. F. H. (1986). *A Hierarchical Concept of Ecosystems*. Princeton University Press. p. 253. ISBN 0-691-08436-X.
32. Paul Nicklen Tundra Biome, Encyclopedic entry, National geographic, <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/tundra-biome/>, pristupljeno 10.02.2021.
33. Pavlović, N, Radović, I. (2014): *Osnovi ekologije*. Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet, Banja Luka.
34. Pešić, V., Crnobrnja-Isailović, J., Tomović, LJ. (2009): *Principi ekologije*. Univerzitet Crne Gore, Podgorica.
35. piknoklina. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 30. 1. 2021. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=48217>>.
36. Pimm, S. L., Smith, R. L. (2019). *Ecology*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/ecology>
37. Popov, T., Trbić. G. (2020): *Praktikum iz biogeografije*. JP „Zavod za udžbenike i nastavna sredstva” a. d.
38. Radović, I, Petrov, B. (1999): *Raznovrsnost života I*, Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
39. Rahmstorf, S. (2002): Ocean circulation and climate during the past 120,000 years, *Nature* (419), 207-214.
40. Ristić, T. i Komatina, S. (2014): *Uvod u ekologiju*. Evropski univerzitet Brčko distrikta.
41. Sidney W. Fox (2020): Aleksandr Oparin. *Encyclopædia Britannica*, April 17, 2020, <https://www.britannica.com/biography/Aleksandr-Oparin>, pristupljeno 03.09.2020.
42. Simmon, R. (2005): *Frozen in Time: the Ice Core Record* by Holli Riebeek, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Paleoclimatology/IceCores>, pristupljeno 02.02.2021.
43. Smith, J. M.B. (2009): *Scrubland*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/scrubland>, pristupljeno 20.02.2021.
44. Smith, J. M.B. (2016): *Savanna*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/savanna> pristupljeno 17.02.2021.

45. Smith, J. M.B. (2020). Temperate forest. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/temperate-forest>, pristupljeno 21.02.2021.
46. Smith, J. M.B. (2020): Desert. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/desert>, pristupljeno 18.02.2021.
47. Smith, J.M.B. (2019): Tropical rainforest. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/tropical-rainforest>, pristupljeno 10.02.2021.
48. Stevanović, B.M, Janković, M.M. (2001): Ekologija biljaka sa osnovama fiziološke ekologije biljaka. NNK International, Beograd.
49. T.R. Naish, ... R.M. Carter (2013): QUATERNARY STRATIGRAPHY | Sequence Stratigraphy in Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition), <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/quaternaly-sequence>
50. termoklina. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 30. 1. 2021. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60978>>.
51. TROPICAL AND SUBTROPICAL MOIST BROADLEAF FORESTS/ Northeastern Australia <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/aa0117>, pristupljeno 10.02.2021.
52. Tropske šume/ Tropske sušne šume, DECEMBER 18, 2013 BY MAGDIC123, <https://tropskesume.wordpress.com/2013/12/18/tropske-susne-sume/>, pristupljeno 10.02.2021.
53. Tundra, The world's biomes, Biology 1B class at UC Berkeley, <https://ucmp.berkeley.edu/exhibits/biomes/tundra.php>, pristupljeno 10.02.2021.
54. Webb, J. Thomas (2012): Marine and terrestrial ecology: unifying concepts, revealing differences. Trends in Ecology and Evolution October 2012, Vol. 27, No. 10
55. Windley, B. Frederick, Berentsen, . William H., Poulsen, . Thomas M. and East,. W. Gordon (2020): Europe. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Europe>, pristupljeno 19.02.2021.
56. WWF (2018): Living Planet Report - 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.
57. <http://e-skola.biol.pmf.unizg.hr/odgovori/odgovor263.htm>, pristupljeno 22.10.2020.
58. http://static.astronomija.org.rs/suncsist/planete/zemlja/Klima/Le_dena_doba/Uvod.htm, pristupljeno 23.10.2020.

59. <http://static.astronomija.org.rs/teorije/mmuniverzum/nasaslika.htm>
60. <http://www.biologyreference.com/Dn-Ep/Ecology-History-of.html>
61. <http://www.planeta.org.rs/26/2temabroja.htm> Postanak i razvoj života, Život pre života, dr Milan Sudar, redovni profesor Geološko-rudarskog fakulteta u Beogradu, pristupljeno 01.09.2020.
62. <http://www.planeta.rs/26/4temabroja.htm> Postanak i razvoj života, Kambrijumska „eksplozija života“, prof. Dr Vesna Dimitrijević, pristupljeno 01.09.2020.
63. http://www.vladimirandjelovic.com/pdf/fitogeografija/07Leden_a_doba.pdf, pristupljeno 22.12.2020.
64. <https://geografijazasve.me/2017/09/29/hipoteze-o-postanku-planete-zemlje/>
65. <https://okean.si.edu/through-time/okean-through-time> pristupljeno 19.10.2020.
66. <https://proleksis.lzmk.hr/6121/>, pristupljeno 22.10.2020.
67. <https://reasonandscience.catsboard.com/t2170-abiogenesis-the-miller-urey-experiment> pristupljeno 19.10.2020.
68. <https://serc.carleton.edu/eslabs/climate/4a.html>, pristupljeno 31.01.2021.
69. <https://sites.google.com/site/lednickaerozija/ledena-doba-1>, pristupljeno 26.10.2020.
70. <https://www.britannica.com/science/Pleistocene-Epoch/Pleistocene-fauna-and-flora> pristupljeno 28.12.2020.
71. <https://www.e-education.psu.edu/earth111/node/1013>, pristupljeno 27.01.2021.
72. <https://www.internetgeography.net/topics/what-is-global-atmospheric-circulation/> pristupljeno 23.01.2021.
73. <https://www.nationalgeographic.rs/vesti/15901-milankovicevi-ciklusi-klimatske-promene.html>, pristupljeno 22.12.2020.

PORIJEKLO TABELA:

1. Prilagođeno Mikavica, D. (2005): Zoogeografija kičmenjaka; Grupa autora (1973): The Atlas of World Wildlife; https://bs.wikipedia.org/wiki/Geolo%C5%A1ka_era
2. Kvararna (pleistocenska) ledena doba modifikacija po Janković, M, Milorad (1985): Fitogeografija. Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
3. Zonobiomi po Walter –u prema Lakušić, D. *et al.* (2015): Osnovi ekologije. Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Beograd.
4. Fenologija edifikatora pustinja vegetacije prema Lakušić, D. *et al.* (2015): Osnovi ekologije. Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Beograd.

PORIJEKLO SLIKA:

1. Ernest Haeckel https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Haeckel pristupljeno 17.08.2020.
2. Josif Pančić <https://www.sanu.ac.rs/clan/pancic-josif/>, preuzeto 21.03.2021.
3. Siniša Stanković, <https://www.sanu.ac.rs/clan/stankovic-sinisa/>, preuzeto 21.03.2021.
4. Smilja Mučibabić, <http://pmf.unsa.ba/biologija/zahvaljujuci-velikanima/>, preuzeto 21.03.2021.
5. Rachel Carson, <https://mbdou42.ru/bs/crushed-stone/bezmolvnaya-vesna--silent-spring-bezmolvnaya-vesna-bezmolvnaya/>, preuzeto 21.03.2021.
6. Obim ekologija – hijerarhija nivoa živog svijeta <https://slideplayer.com/slide/8390243/> pristupljeno 20.08.2020.
7. Homeostaza i homeoreza – Manojlović, prema Ekologija životinja, autorizovana skripta, Jasminka Krpo-Ćetković
8. *Protopterus annectens* <https://malawicichlids.com/mw11001a.htm>
9. Prikaz velikog praska <https://images.newscientist.com/wp-content/uploads/2014/12/11160643/big-bang-fhymk7.jpg> pristupljeno 19.10.2020.
10. Teorija panspermije <https://www.megainteresting.com/pictures/gallery/the-theory-of-panspermia-or-the-cosmic-origin-of-life-211584626663> pristupljeno 20.10.2020.
11. Aleksandar Oparin <https://sr.wikipedia.org/> pristupljeno 20.08.2020., Porijeklo života, Oparin, englesko izdanje <https://www.uv.es/~orilife/englishindex.htm>, pristupljeno 20.08.2020.
12. Izgled Zemlje prije oko 3.5 milijarde godina, rekonstrukcija <https://ocean.si.edu/through-time/ocean-through-time> pristupljeno 19.10.2020.
13. Miller – Urey eksperiment https://www.researchgate.net/publication/331565095_Urey-Miller_Experiment_Route_to_the_Origin_of_Life_an_Astrobiologist_Perspective/figures, pristupljeno 19.10.2020., prilagodila Manojlović
14. Burgess shales fosili <https://www.pc.gc.ca/en/pn-np/bc/yoho/activ/burgess>
15. Trilobiti <http://palaeos.com/metazoa/arthropoda/trilobita/index.html> Middle Cambrian trilobites (Artwork by Heinrich Harder, 1916, from Geology in Art), pristupljeno 17.09.2020.

16. Ichthyostega - Autor Nobu Tamura (<http://spinops.blogspot.com>) - Vlastito djelo postavljača, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19459892>, pristupljeno 17.09.2020.
17. Karbonska šuma, rekonstrukcija <https://www.pinterest.com/pin/247979523217406669/> pristupljeno 19.10.2020.
18. Istorijski razvoj Zemlje <https://www.gsi.ie/en-ie/education/our-planet-earth/Pages/The-Earth-through-time.aspx> pristupljeno 21.10.2020., prilagodila Manojlović
19. Masovno izumiranje na prelazu mezozojske u kenozojsku eru <http://paleontologiageral.blogspot.com/2019/06/the-5-major-mass-extinctions-animals.html>, pristupljeno 21.10.2020.
20. Adaptivna radijacija sisara http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch25/mammal_radiation.html, pristupljeno 21.10.2020., prilagodila Manojlović
21. Ledničke morene, slajd 36 prezentacije Snijeg i led sa <https://www.slideserve.com/arav/ledenjak-pasterze-ispod-grossglocknera-snimila-dialma-fa-o>, preuzeto 23.10.2020.godine
22. Milutin Milanković, <https://serbiantimes.info/srbin-koji-je-otkrio-ledena-doba-milankovicevi-ciklusi-su-i-danas-naucni-standard/>, preuzeto 22.12.2020.godine
23. Raspored leda tokom kvartarnih glacijala, <http://www.maturski.org/GEOGRAFIJA/Kvartar-Q2.html>, preuzeto 23.12.2020.godine
24. Razlike u površini pokrivenoj ledom sjeverne hemisfere u pleistocenu i danas, <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/636>, preuzeto 23.12.2020.godine, prilagodila Manojlović
25. Vegetacija glacijala i interglacijala sjeveroistočne Azije - Figure 6: Visualization of the conceptual model of the 'Glacial legacy on interglacial vegetation' from Glacial legacies on interglacial vegetation at the Pliocene-Pleistocene transition in NE Asia. Nat Commun 7, 11967. <https://doi.org/10.1038/ncomms11967>, prilagodila Manojlović
26. Mamuthus primigenius, replika u muzejskoj postavci u Viktoriji, Britanska Kolumbija, Kanada, <https://www.britannica.com/animal/mammoth-extinct-mammal>, preuzeto 29.12.2020.
27. Pećinski medvjed *Ursus spaeleus*, Encyclopædia Britannica, Inc./Patrick O'Neill Riley, <https://www.britannica.com/animal/Ursus-spelaeus#/media/1/2177970/188424>, preuzeto 29.12.2020.

28. Sabljozubi tigar *Smilodon sp.*, Sabre-toothed cat (*Smilodon*), Encyclopædia Britannica, Inc./Patrick O'Neill Riley, <https://www.britannica.com/animal/saber-toothed-cat#/media/1/515146/186517>, preuzeto 29.12.2020.
29. Mogući putevi u evoluciji ljudske loze, Possible pathways in the evolution of the human lineage, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/science/Quaternary/Hominin-evolution>, preuzeto 29.12.2020.
30. Energetski balans Zemlje, The Earth-Atmosphere Energy Balance, JetStream, the National Weather Service Online Weather School, <https://www.weather.gov/jetstream/energy>, preuzeto 11.01.2021., prilagodila Manojlović
31. Grafički prikaz hemijskog sastava atmosfere, Manojlović prema podacima sa https://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/atmos_origin.html, pristupljeno 22.01.2021.
32. Sastav pra- i savremene atmosfere, Earth's early and modern atmospheres, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/topic/evolution-of-the-atmosphere-1703862#/media/1/1703862/202401>, pristupljeno 22.01.2021., prilagodila Manojlović
33. Faktori hlađenja atmosfere, Cooling factors, <https://grimstad.uia.no/puls/climatechange2/nng01/05nng01a.htm>, pristupljeno 22.01.2021., prilagodila Manojlović
34. Atmosfera – vertikalna struktura, Atmosphere: vertical structure, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/science/atmosphere/Carbon-budget#/media/1/41364/148675>, pristupljeno 22.01.2021., prilagodila Manojlović
35. Sunčevo zagrijavanje Zemlje, Manojlović, po uzoru na <https://earthhow.com/solar-radiation-electromagnetic/> i https://www.macmillanhigher.com/BrainHoney/Resource/6716/digital-first-content/trunk/test/hillis2e/asset/img_ch41/c41_fig03.html pristupljeno 22.01.2021., modifikovala Manojlović.
36. Model globalne atmosferske cirkulacije, Global atmospheric circulation model, <https://www.internetgeography.net/topics/what-is-global-atmospheric-circulation/> pristupljeno 23.01.2021., modifikovala Manojlović

37. Globalna cirkulacija atmosfere na modelu idealne i realne Zemlje, General patterns of atmospheric circulation over an idealized Earth with a uniform surface (left) and the actual Earth (right). Both horizontal and vertical patterns of atmospheric circulation are depicted in the diagram of the actual Earth. Encyclopædia Britannica, Inc., <https://www.britannica.com/science/southeast-trade-wind#/media/1/556590/107938>, preuzeto 23.01.2021.
38. Globalne površinske morske struje, Global ocean surface currents, Izvor: Teachers' Domain, Examine Global Surface Currents, published December 17, 2005, http://www.pbslearningmedia.org/resource/ess05.sci.ess.earthsys.glob_alsurf/, preuzeto sa <https://serc.carleton.edu/eslabs/climate/4a.html> 30.01.2021., preuredila Manojlović.
39. Termohalina cirkulacija svjetskog okeana, The ocean's thermohaline circulation system, Unit 8 Reading: Modeling Thermohaline Circulation, by David Bice, The Pennsylvania State University, https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/earth_modeling/student_materials/unit8_article1.html, preuzeto 30.01.2021., modifikovala Manojlović
40. Uticaj reljefa na padavine, Relief rainfall diagram, Posted on October 9, 2014 by calpetrie, <https://peartreegeogblog.wordpress.com/2014/10/09/relief-rainfall-diagram/>, preuzeto 30.01.2021., preuredila Manojlović.
41. Ilustracija fizičkih mehanizama kojima vegetacija direktno utiče na klimu, Conceptual illustration of the principle physical mechanisms by which vegetated surfaces directly affect climate. Iz Bright, R.M. (2015): Metrics for biogeophysical climate forcings from land use and land cover changes and their inclusion in life cycle assessment: a critical review. Environ Sci Technol. Mar 17;49(6):3291-303. doi: 10.1021/es505465t. Epub 2015 Mar 6. PMID: 25719274, prilagodila Manojlović.
42. Uzimanje uzoraka leda na Grenlandu, iz Frozen in Time: the Ice Core Record by Holli Riebeek · design by Robert Simmon, December 19, 2005, https://earthobservatory.nasa.gov/features/Paleoclimatology_IceCores, preuzeto 02.02.2021.

43. Klimatski rizici pri povećanju globalne temperature za 1,5° C u poređenju sa povećanjem za 2° C, preuzeto sa <https://www.wwf.org.uk/updates/our-warming-world-how-much-difference-will-half-degree-really-make>, 02.02.2021, prevela Manojlović
44. Izmjena termokline u obalnom području Perua pri El Niño događaju, Upwelling process along coast, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/science/El-Nino#/media/1/181759/122460>, pristupljeno 03.02.2021, prilagodila Manojlović
45. Jaki El Niño uslovi od decembra do maja, Strong El Niño conditions, December – May, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/science/El-Nino#/media/1/181759/62161>, pristupljeno 03.02.2021, prilagodila Manojlović
46. Sezonska konfiguracija Zemlje i Sunca, Seasonal configuration of Earth and Sun, Encyclopædia Britannica, <https://www.britannica.com/science/solstice#/media/1/553654/112844>, pristupljeno 03.02.2021, prilagodila Manojlović
47. Cirkulacija jezera umjerenog pojasa, Temperate lake circulation, Encyclopædia Britannica, preuzeto sa <https://www.britannica.com/science/inland-water-ecosystem/Permanent-bodies-of-standing-fresh-water#/media/1/288440/36>, 03.02.2021, prilagodila Manojlović
48. Šematski prikaz eutrofikacije jezera, Eutrophication, preuzeto sa <http://05lovesgeography.blogspot.com/2011/02/eutrophication.html?epik=dj0yJnU9NFpaMngteDJORkNmCHpSd1I1bWE2Qi1UM2NOX0JSSXMmcD0wJm49WGlzUFQ0akdaTXB2bmZONDFleGtUUSZ0PUFBQUFBROFheTdJ>, 03.02.2021, prilagodila Manojlović
49. Granice biosfere, Manojlović
50. Biofera, članak Carta abierta de Juan Metidieri Izquierdo / Presidente de APAG Extremadura ASAJA. NO ES ORO TODO LO QUE RELUCE sa <https://www.cronicaeconomica.com/reservas-de-la-biosfera-no-por-favor-124253.htm>, preuzeto 29.12.2020.
51. Klimatske promjene, autor Shutterstock, <https://www.nationalgeographic.rs/vesti/14453-danas-je-svetski-dan-klimatskih-promena.html> preuzeto 21.01.2021.

52. Biljne životne forme u odnosu na vlažnost staništa, kombinovane slike sa http://www.brainkart.com/article/Ecological-adaptations_38263/, https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_43597/objava_66637/fajlovi/Pre%C5%BEivljavanje%20biljaka%20u%20uslovima%20su%C5%A1e%20i%20uslovima%20velike%20vla%C5%BEnosti.pdf, https://www.canr.msu.edu/news/pond_plants_are_a_vital_part_of_a_balanced_aquatic_ecosystem, https://www.freepik.com/free-vector/set-variety-plants-trees_9181318.htm, <http://antropocene.it/wp-content/uploads/2019/01/Cyperus-papyrus.jpg>, pristupljeno 06.02.2021., prilagodila Manojlović
53. Klimatski regioni svijeta, World climate regions. Encyclopædia Britannica, preuzeto sa <https://cdn.britannica.com/34/105234-050-CC598F94.jpg>, 04.02.2021, prilagodila Manojlović
54. Vertikalna i horizontalna distribucija bioma. Zonation, preuzeto sa <https://mhsibess.weebly.com/day-23.html>, 04.02.2021, prilagodila Manojlović
55. Whittaker-ov klimograf, Whittaker's Climograph, preuzeto sa <https://ib.bioninja.com.au/options/option-c-ecology-and-conser/c2-communities-and-ecosyste/ecosystem-analysis.html>, 06.02.2021., prilagodila Manojlović
56. Terestrični ekoregioni, The terrestrial Global 200 ecoregions targets ecoregions with outstanding biodiversity features and representative value iz Olson, D., & Dinerstein, E. (2002): The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89, 199-224, pp 201, prilagodila Manojlović
57. Karta zonobioma. D. Lakušić– OSNOVI EKOLOGIJE – iz predavanja - Rasprostranjenje ekosistema – Zoniranje.
58. Distribucija tropske vječnozelene kišne šume, Tropical rainforests, <https://www.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeography/a/tropical-rainforest-biomes> preuzeto 15.02.2021.
59. Klimadijagram perhumidne ekvatorijalne klime, <https://www.twinkl.ae/illustration/tropical-climate-graph-geography-ks3-ks4>, preuzeto 15.02.2021., prilagodila Manojlović
60. Vertikalna stratifikacija tropske kišne šume, Layers in the tropical rainforest <https://sites.google.com/a/markham.edu.pe/mr-carter-s-igcse-geography/rainforests/distribution-and-climate>, pristupljeno 09.02.2021., preuredila Manojlović
61. Tropska vječnozelena kišna šuma. Lowland rainforest along the northern coast of Ecuador. Encyclopædia Britannica.

- <https://www.britannica.com/science/wet-equatorial-climate#/media/1/641249/14021>, preuzeto 16.02.2021.
62. Kakaovac, pojava kauliflorije, listovi i 'plod, preuzeto sa <https://www.flickr.com/photos/biodivlibrary/8232806410> 16.02.2021.
 63. Palme tropske vječnozelene šume u Peruu. A *Mauritia felxuosa* palm swamp close to Iquitos in Peru. Photo by Gabriel Hidalgo. The Global Abundance of Tree Palms, Global Ecology and Biogeography. DOI: 10.1111/geb.13123, <https://www.mynewsdesk.com/uu/pressreleases/palm-trees-most-abundant-in-american-rainforests-3019433v>, preuzeto 16.02.2021.
 64. Najviše tropsko drvo, visoko 100,8 m (*Shorea faguettiana*, žuti marenti, fam. Dipterocarpaceae) sa Bornea. The view from the bottom of 'Menara.' Image credit: Unding Jami / University of Oxford. World's Tallest Tropical Tree Found in Malaysia, Apr 8, 2019, <http://www.sci-news.com/biology/menara-worlds-tallest-tropical-tree-07070.html>, preuzeto 21.02.2021.
 65. *Rafflesia arnoldii*, Monster flower (*Rafflesia arnoldii*), native to Borneo. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/Rafflesia#/media/1/489457/203866>, preuzeto 16.02.2021.
 66. *Ficus* sp. – korijenjem obraslo deblo domaćina <https://rainforestreports.weebly.com/strangler-fig.html>, preuzeto 16.02.2021.
 67. Zlatna otrovna žaba (*Phyllobates terribilis*). *Phyllobates terribilis* (3), Dr. Hans-Günter Wagner, Taken on November 10, 2017, <https://www.flickr.com/photos/145400091@N04/38502444430/>, preuzeto 16.02.2021.
 68. Kolibri *Ramphodon naevius*. <https://www.flickr.com/photos/81124164@N00/3888111139>, preuzeto 16.02.2021.
 69. Deforestacija Amazonije. FILE - The Amazon rainforest (L), bordered by deforested land prepared for the planting of soybeans, is pictured in this aerial photo taken over Mato Grosso state in western Brazil, Oct. 4, 2015., <https://learningenglish.voanews.com/a/amazon-deforestation-rising-under-brazil-bolsonaro/4947317.html>, preuzeto 16.02.2021.
 70. Distribucija tropskog zonobioma. Modifikovana Walter -ova podjela zonobioma iz Osnovi ekologije, D. Lakušić.
 71. Klimadijagrami vlažne i sušne tropske ljeti kišne klime, a) Kalkuta, b) Serengeti. Mean monthly temperature and precipitation values for

- Calcutta, India, preuzeto sa <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7v.html>;
- Serengeti Climatogram, preuzeto sa <https://unese.campusquotient.org/african-savanna-climate-chart/> 17.02.2021., preuredila Manojlović.
72. Tropska listopadna šuma. The deciduous forests of Sonora, Mexico in Nature & Culture's Monte Mojino Reserve. <https://natureandculture.org/ecosystems/tropical-deciduous-forests/>, preuzeto 17.02.2021.
73. Orhideja. This photo of Kodagu (Coorg) is courtesy of Tripadvisor https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g503697-i19770831-Kodagu_Coorg_Karnataka.html preuzeto 17.02.2021.
74. Ravnica Serengeti, Afrika. Serengeti Plain. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/savanna#/media/1/525656/194333>, preuzeto 17.02.2021.
75. Stablo baobaba, Kenija. Baobab. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/baobab-tree-genus#/media/1/661325/190486> preuzeto 17.02.2021.
76. Migracija gnouva. Common wildebeest. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/savanna#/media/1/525656/157729>, preuzeto 17.02.2021.
77. Požar u Australijskoj savani. Fire in Australian savanna, FEBRUARY 21, 2016 1070 × 700, Posted in: Tim Flannery and Megafaunal Extinction Shuffle-puck, <http://www.mikepole.com/2016/02/21/tim-flannery-and-megafaunal-extinction-shuffle-puck/fire-198-05-2/>, preuzeto 17.02.2021.
78. Degradirano zemljište. Degraded land in Senegal – 2011. G. Gray Tappan, U.S. Geological Survey Earth Resources Observation and Science Center. Public domain. <https://www.usgs.gov/media/images/degraded-land-senegal-2011>, preuzeto 17.02.2021.
79. Distribucija zonobioma subtropskih pustinja. Modifikovana Volterova podjela zonobioma iz Osnovi ekologije, D. Lakušić.
80. Klimadijagram Sahare. A climate graph for the Sahara Desert. <https://www.internetgeography.net/topics/what-are-climate-graphs/>, preuzeto 18.02.2021., prilagodila Manojlović
81. Tipovi pustinja a) kamenita pustinja Red rocky desert landscape near Eilat in Israel, <https://www.dreamstime.com/stock-photo-rocky-desert->

- [landscape-near-eilat-israel-image10717280#res26615551](https://www.gettyimages.com/detail/stock-photo/landscape-near-eilat-israel-image10717280#res26615551), b)
 šljunkovita pustinja
<http://www.onegeology.org/extra/kids/earthprocesses/sandlessDesert.s.html>, c) pjeskovita pustinja. Sand dunes in the Sahara, Morocco. Encyclopædia Britannica.
<https://www.britannica.com/science/desert/Biota#/media/1/158992/108282>, d) oaza Oasis in the Libyan Desert, Libya. Rolf Langohr/Fotolia. Encyclopædia Britannica.
<https://www.britannica.com/science/desert/Biota#/media/1/158992/167779>, preuzeto 18.02.2021.
82. Seguaro kaktus, Arizona. Saguaro (*Carnegiea gigantea*). Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/Cereus-plant-genus#/media/1/691192/206223>, preuzeto 18.02.2021.
83. Profil pustinjske vegetacije. Vegetation profile of a desert. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/desert/Biota#/media/1/158992/53>, preuzeto 18.02.2021.
84. Voluminoznost sukulente (<https://www.stockfreeimages.com/4487990/Wild-Aloe-Vera-2.html>) i mikrofilija drveća (<https://www.pinterest.com/pin/553450241679298896/>), preuzeto 18.02.2021.
85. Kenguri <https://www.bushheritage.org.au/species/kangaroos>, preuzeto 18.02.2021.
86. Pustinjska lisica (*Fennecus zerda*). Fennec (*Fennecus zerda*). Anthony Mercieca—The National Audubon Society Collection/Photo Researchers. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/fennec#/media/1/204284/5457>, preuzeto 19.02.2021.
87. Jednogrbe kamile (*Camelus dromedarius*). Arabian, or dromedary, camel (*Camelus dromedarius*). Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/desert#/media/1/158992/160265>, preuzeto 19.02.2021.
88. Medonosni mravi (*Camponotus inflatus*). <https://br.pinterest.com/pin/413838653231259850/>, preuzeto 19.02.2021.
89. Adaks antilopa (*Addax nasomaculatus*), Sahara. The addax (*Addax nasomaculatus*) is found in Mauritania, Niger, and Chad.

- Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/addax-antelope#/media/1/5378/245492>, preuzeto 19.02.2021.
90. Springbok antilope (*Antidorcas marsupialis*), Kalahari. Springbok (*Antidorcas marsupialis*) in the Kalahari. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/springbok-mammal#/media/1/561368/97625>, preuzeto 19.02.2021.
91. Zapadna dijamantna zvečarka (*Crotalus atrox*). Western diamondback rattlesnake (*Crotalus atrox*). Arizona-Sonora Desert Museum. <https://www.desertmuseum.org/kids/oz/long-fact-sheets/Diamondback%20Rattlesnake.php>, preuzeto 19.02.2021.
92. Pustinjski lav (*Panthera leo*), Namibija. Rare desert lions known as 'five musketeers' poisoned in Namibia. BY DAVID MOSCATO AUGUST 19 2016., <https://www.earthtouchnews.com/conservation/human-impact/rare-desert-lions-known-as-five-musketeers-poisoned-in-namibia/>, preuzeto 19.02.2021.
93. Distribucija mediteranskog zonobioma. Mediterranean forests, woodlands, and scrub. https://www.researchgate.net/publication/236335929_The_Extraordinary_Nature_of_the_Great_Western_Woodlands/figures?lo=1, preuzeto 18.04.2021.
94. Klimadijagram mediteranske klime (ostrvo Rab), <https://en.climate-data.org/europe/croatia/rab/rab-14833/>, preuzeto 19.02.2021.
95. Profil vegetacije mediteranskog žbunja. Vegetation profile of a scrubland. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/scrubland#/media/1/530112/51>, preuzeto 20.02.2021.
96. Oporavak čaparala nakon požara. Chaparral rapidly recovering four years after the 2009 Station Fire. Photo of the Condor Peak Proposed Wilderness Area from Rocky Point with Upper Fox Creek in foreground and Condor Peak the high point on the distant ridgeline. Photo by John Monsen. https://angeles.sierraclub.org/conservation_news/blog/2019/10/you_cant_see_the_forest_for_the_chaparral, preuzeto 20.02.2021.
97. Stablo masline (*Olea europea*). Plants of wild olive tree - *Olea europaea* *sylvestris*. <https://theoriginalgarden.com/p/plants/outdoor/trees/olea-europaea-var-sylvestris-olive-tree>, preuzeto 20.02.2021.
98. Hrast crnika (*Quercus ilex*). *Quercus ilex* Tree. <https://www.gardenersdream.co.uk/quercus-ilex-tree-p4022>, preuzeto 20.02.2021.

99. Rogač (*Ceratonia siliqua*). <https://geopark-vis.com/rogac-ceratonia-siliqua>, preuzeto 20.02.2021.
100. Šakal (*Canis aureus*) <https://www.nedjelja.ba/hr/duhovnost/tragom-biblije/cagalj-sakal-canis-aureus-l/782>, preuzeto 20.02.2021.
101. Bjeloglavi sup (*Gyps fulvus*). Ptice u prirodi /Bjeloglavi sup/ Pokretač teme Lorena, Početni datum 27-04-2014. <http://www.ptice.info/teme/7/>, preuzeto 20.02.2021.
102. Distribucija toplog umjerenog zonobioma. Modifikovana Volterova podjela zonobioma iz Osnovi ekologije, D. Lakušić.
103. Klimadijagram suve (Novi Zeland) i vlažne (Južna Koreja) umjerene tople klime. <https://en.climate-data.org/asia/south-korea-23/>, preuzeto 20.02.2021.
104. Pacifički rododendron (*Rhododendron macrophyllum*). Pacific Rhododendron, *Rhododendron macrophyllum*. <http://nativeplantspnw.com/pacific-rhododendron-rhododendron-macrophyllum/>, preuzeto 21.02.2021.
105. Stabla sekvoje (*Sequoiadendron giganteum*) u Sekvoja nacionalnom parku, Kalifornija. Hiker in Sequoia National Park in the Sierra Nevada, east-central California. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Sequoia-National-Park#/media/1/535241/121166>, preuzeto 21.02.2021.
106. Kojot (*Canis latrans*) u šumi sekvoje. <https://animals.net/coyote/>, preuzeto 24.02.2021.
107. Prugasti tvor (*Mephitis mephitis*). <https://www.pinterest.com/pin/520939881868797555/>, preuzeto 24.02.2021.
108. Distribucija tipičnog umjerenog zonobioma. Modifikovana Volterova podjela zonobioma iz Osnovi ekologije, D. Lakušić.
109. Klimadijagram tipične umjerene klime (Halifax, Nova Škotska). <https://en.climate-data.org/north-america/canada/nova-scotia/halifax-129/>, preuzeto 21.02.2021.
110. Vertikalna stratifikacija tipične listopadne šume. Vegetation profile of a temperate deciduous forest. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/temperate-deciduous-forest#/media/1/586548/45>, preuzeto 21.02.2021.
111. Šumska sova (*Strix aluco*). Tawny Owl *Strix aluco*. <https://soundapproach.co.uk/species/tawny-owl/>, preuzeto 22.02.2021.

112. Jelenak (*Lucanus cervus*) [https://stetnici.sumins.hr/SumskiStetnici/jelenak_\(lucanus_cervus\)](https://stetnici.sumins.hr/SumskiStetnici/jelenak_(lucanus_cervus)), preuzeto 24.02.2021.
113. Gubar (*Lymantria dispar*). <https://alchetron.com/Lymantria-dispar-dispar>, preuzeto 24.02.2021.
114. Kuna zlatica (*Martes martes*). Marta: Un mamífero mustélido familia del hurón, el visón y la garduña. <https://www.hogarmania.com/mascotas/marta-mamifero-mustelido.html>, preuzeto 24.02.2021.
115. Lasica (*Mustela nivalis*). *Mustela nivalis* 4, Wezel, Saxifraga-Piet Munsterman. <http://www.freenatureimages.eu/animals/mammalia,%20zoogdieren,%20mammals/Mustela%20nivalis/index.html#Mustela%2520nivalis%25204%252C%2520Wezel%252C%2520Saxifraga-Piet%2520Munsterman.jpg>, preuzeto 24.02.2021.
116. Distribucija sušnog umjerenog zonobioma. Modifikovana Volterova podjela zonobioma iz Osnovi ekologije, D. Lakušić.
117. Klimadijagrami polusušne i sušne umjerene klime. <https://www.falingepark.com/wp-content/uploads/2020/05/Y8-Geography-of-China-booklet.pdf>, <https://temperategrasslandsbiomes.weebly.com/climatogram.html> preuzeto 23.02.2021.
118. Stepa, Nebraska, SAD. Nebraska grasslands. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Great-Plains/The-people-and-economy#/media/1/243562/116049>, preuzeto 23.02.2021.
119. Vitoroga antilopa (*Antilocapra americana*). Pronghorn (*Antilocapra americana*). Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Great-Plains/The-people-and-economy#/media/1/243562/116598>, preuzeto 23.02.2021.
120. Sajga antilopa (*Saiga tatarica*). Fig. (2). Wild male Saiga antelope (*Saiga tatarica*) on the morning steppe. Federal nature reserve Mekletinskii, Kalmykia, Russia. Copyright Victortyakht | Dreamstime.com http://www.dreamstime.com/victortyakht_info, preuzeto 23.02.2021.
121. Dvogrba kamila (*Camelus bactrianus*). *Camelus bactrianus*, Bactrian camel, two-hump camel. http://tolweb.org/Camelus_bactrianus/30350, preuzeto 23.02.2021.
122. Dugouhi jež (*Hemiechinus auritus*). Long-eared hedgehog *Hemiechinus auritus*. <https://pixels.com/featured/long-eared->

- [hedgehog-hemiechinus-auritus-m2-eyal-bartov.html](#), preuzeto 23.02.2021.
123. Distribucija hladnog umjerenog zonobioma. Modifikovana Volterova podjela zonobioma iz Osnovi ekologije, D. Lakušić.
124. Klimadijagram borealne klime (Jakutsk, Sibir). <https://en.climate-data.org/asia/russian-federation/sakha-republic/yakutsk-1806/>, preuzeto 23.02.2021.
125. Sibirski ariš (*Larix sibirica*). Siberian Larch, *Larix sibirica*. http://search.schultesgreenhouse.com/12070008/Plant/239/Siberian_Larch/, preuzeto 23.02.2021.
126. Vertikalna struktura tajge. Boreal forest vegetation profile. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/taiga/Insects#/media/1/74016/57>, preuzeto 24.02.2021.
127. Brusnica (*Vaccinium vitis-idea*). Fruits: *Vaccinium vitis-idaea*. By Donald Cameron. Copyright © 2021 (No permission needed for noncommercial use). <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/vaccinium/vitis-idaea/>, preuzeto 24.02.2021.
128. Borovnica (*Vaccinium myrtillus*). Wild blueberry (*Vaccinium myrtillus*) with ripe fruits. License Typ RM, Recording Date 20.08.2020, Credit mauritius images / Julia Thymia. No permission needed. https://www.mauritius-images.com/en/asset/ME-PI-11823207_mauritius_images_image_number_12880725_wild-blueberry-vaccinium-myrtillus-with-ripe-fruit, preuzeto 24.02.2021.
129. Los (*Alces alces*). A bull moose (*Alces alces*) standing in water. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/moose-mammal#/media/1/391631/119643>, preuzeto 24.02.2021.
130. Sob, karibu (*Rangifer tarandus*). Caribou, or reindeer (*Rangifer tarandus*). Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/reindeer#/media/1/496558/116574>, preuzeto 24.02.2021.
131. Istočni smrekov pupoljak, gusjenica (*Choristoneura fumiferana*) Spruce budworm from Natural Resources Canada, https://tidcf.nrcan.gc.ca/images_web/imfc/insectes/moyen/choristoneura_fumiferana_3.jpg, preuzeto 24.02.2021.
132. Smrekova zlatica, adult (*Dendroctonus rufipennis*). Spruce Beetle from Colorado State Forest Service, <https://csfs.colostate.edu/forest-management/common-forest-insects-diseases/spruce-bark-beetle/>, preuzeto 24.02.2021.

133. Distribucija arktičkog i antarktičkog zonobioma. <https://earthobservatory.nasa.gov/biome/biotundra.php>, preuzeto 24.02.2021.
134. Klimadijagram arktičke klime (arktička tundra). Arctic Tundra Climadiagram. <https://5arctictundra.weebly.com/climatograph.html>, preuzeto 24.02.2021.
135. Tundra pred zimu, Aljaska. Alaskan mountain and tundra vegetation in the fall. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/tundra/Animal-life#/media/1/608909/149124>, preuzeto 24.02.2021.
136. Arktička vjeverica (*Spermophilus parryii*). https://www.efratnakash.com/galleries_pages/asia/russia_kamchatka_nature/31-00184_e.asp, preuzeto 24.02.2021.
137. Snježna sova (*Bubo scandiacus*). Snowy owl (*Bubo scandiacus*) in flight. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/science/tundra/Animal-life#/media/1/608909/158034>, preuzeto 24.02.2021.

INDEX POJMOVA:

A

Abies · 139, 153
Abies sibirica · 153, 180
Acarina · 161
Accipiter gentilis · 155
Accipiter striatus · 155
Acer · 138, 139
Acer carpinifolium · 139
 Adaptivna radijacija sisara · 38, 169
Addax nasomaculatus · 123
Adenostoma fasciculatum · 128
 adventivni korjenovi · 96
Aedes nigripes · 161
 afilija · 120
 Agavaceae · 119
 Aizoaceae · 119
 akacija · 110, 120
 aklimatizacija · 82
 albedo · 60, 70, 71
 Alee · 89
 Alekander von Humboldt · 8
 Aleksandar Ivanc · 13
 Alexander Oparin
 Oparin · 25
 Alfred J. Lotka · 9
 Alfred Lotka · 10
 Amazonija · 104, 174
 Amniotsko jaje · 35
 anizofilija · 96
Anoplura · 161
Antidorcas marsupialis · 123
Antilocapra americana · 148, 179
 Antoni van Leeuwenhoek · 8
Aquila nipalensis orientalis · 147
Araucarial · 133
Arbutus · 128
Architeuthis · 32
Arctostaphylos · 128
 Areaceae · 98
 arenosoli · 145

Aristotel · 22
Asparagus · 120
 aspektivnost · 147
 Atlantske vrištine · 138
 Atmosferska cirkulacija · 62, 63
 August Thienemann · 10

B

baobab · 110, 175
 Bergmanovo pravilo · 147
Betula pendula · 152
Betula populifolia · 152
 BIG BANG · 22
 biocenoza · 15, 16
 Biom · 15, 88
 Biosfera · 15, 52, 53, 81
Bison bison · 148
 Borealna šuma · 86
 Boro Pavlović · 13
 Bromeliaceae · 98
Brontosaurus · 36
Bubo scandiacus · 161, 181
Burgess Shales · 31
Burhinus aedincnemus · 149

C

Cactaceae · 119
 CAM metabolizam · 121
Camelus bactrianus · 149, 179
Camelus dromedarius · 123, 176
Camponotus inflatus · 123, 176
Canis aureus · 130
Canis latrans · 135, 178
Canis lupus · 142, 154, 161
Capreolus capreolus · 141
 Carolus Linnaeus · 8
Carpinus · 137
Carya · 139

Castor canadensis · 155
Ceanothus · 128
Ceratonia siliqua · 128
 černozem · 91, 143, 144
Cervus elaphus · 141
 chaco · 127
 Chancey Juday · 11
 chaparral · 127
 Charles Darwin · 9
 Charles Elton · 10
Choristoneura fumiferana · 156, 180
 ciklični kalamitet · 130
Citellus citellus · 147, 148
 Clements · 9
 Cochones · 116
Collembola · 161
 Coriolis-ov efekat · 65
Corvula frugilegus · 147
Corvus corax · 155
 Covles · 9
Cricetus cricetus · 147, 148
Cricetus crictus · 141
Crotalus atrox · 124
 crveni podzoli · 91, 131, 133
Cynomys sp.) · 148

D

Death Valley · 117
Dendrocopus major · 155
Dendroctonus rufipennis · 156, 180
 Devon · 30
 Dinerstein · 90, 164, 173
Diptera · 161
Dipterocarpaceae · 98, 174
Dryobates major · 142
Dryobates medius · 142
Dryobates minor · 142
Dryomus nitedula · 141
 Dubravka Šoljan · 13
 Dvodihalice (Dipnoa) · 18

E

Edvard A. Birge · 9
 Edvard Forbes · 8
 Edward Birge · 11
 Edwin Hubble · 22
 efemere · 121, 149
 efemeroide · 83, 121, 149
 Einstein · 22
 ekološka (adaptivna) radijacija · 37
 ekoregioni · 90
 ekosistem · 10, 15, 52, 104
 ekscentricitet · 72
 Ekscentricitet Zemljine orbite · 42
 El Niño · 75, 76, 77, 172
Empetrum nigrum · 153
Energetski balans Zemlje · 56, 170
 ENSO ciklusi · 76
 EOARHAIK · 30
 epifiti · 99, 100
 Epifitske vrste · 88
Epilobium angustifolium · 153
Equus hemionus · 149
Equus przewalskii · 147
 erg · 119
 Erica · 128
Ericaceae · 139
Erinaceus europaeus · 142
 Ernest Haeckel · 9, 168
 Ernst Haeckel · 9
Eucalyptus · 133
 Eugene Odum · 11
Euphorbiaceae · 119
 euritermne · 82

F

Fabaceae · 119
Fagus · 137, 139
Fagus crenata · 139
Fagus grandifolia · 139
Fagus japonica · 139
 fanerofite · 95, 107, 129, 130, 134,
 138, 145, 152, 159

Fanerozoik · 29
Fennecus zerda · 122, 176
Fenologija · 111, 121, 146
feraliti · 106, 126
Ferrell-ova ćelija · 64
Ficus · 100, 174
fiziologija · 18
Fraxinus · 137, 139
Frederic Clements · 9
frigana · 129

G

Gaia hipoteza · 54
Galerida cristata · 147
Galileo Galilei · 22
Gamblian · 44
garige · 129
Garrya · 128
GASNA HIPOTEZA · 23
Gazella subguturossa · 149
Genetika · 18
George Evelin Hutchinson · 11
George Perkins Marsh · 14
Glacijacija · 39
glejizacija · 158
glejosoli · 158
Glis glis · 141
GLOBULARNA KONTRAKCIONA
HIPOTEZA · 24
Günz · 44
Gyps fulvus · 130

H

HADEAN · 30
Hadley-eva ćelija · 64
Haemodoraceae · 119
haloklina · 66, 163
hamada · 118
hamefitame · 110, 152
hamefite · 159
hekistoterme · 82
Hemiechinus · 149, 179

Hemiechinus auritus · 149
hemiepifiti · 100
hemikriptofite · 110, 134, 138, 145,
152, 159
Henri D. Thoreau · 9
Henry C. Cowles · 9
Heteromeles · 128
hidrofita · 82
higrofite · 83
HIPOTEZA JEZGRINE REAKCIJE · 24
HIPOTEZA SUNČEVOG BLIZANCA ·
24
Holdridge · 89
holocen · 51
homeoreza · 17, 168
homeostaza · 17
Homeostaza · 17, 168
Homo erectus · 48
Homo habilis · 48
Homo neanderthalensis · 48
Homo sapiens · 48, 49
horizont A₀ · 133, 151
horizont A₁ · 133, 137, 151, 158
horizont A₂ · 133, 151
horizont B · 133, 137, 144
horizont C · 133, 137, 151, 158
Howard Odum · 11

I

Ichthyostega · 32, 33, 169
Ichtyosaurus · 37
Illinoian · 44
interglacijal · 39
ITCZ · 65, 85

J

J. D. Ovington · 11
Johannes Kepler · 22
Josif Pančić · 11
Juglans · 139
Jura · 30

K

Kageran · 44
 Kalahari · 119, 120, 123, 177
 Kamasian · 44
 Kambrij, Kambrijum · 29, · 30
 kamenite pustinje · 118
 kamenjari · 129, 138
 Kanjeran · 44
 Kansas · 44
 Karbon · 30
 Katpana · 148
 kauliflorija · 97, 103
 Kenguri · 122, 176
 koacervat · 26
 koncentracija CO₂ · 16
 koncentracije CO₂ · 41
 Konrad Lorenz · 10
 kserofite · 82, 83
 KT izumiranje · 37
 kvartar · 43
 Kvartar · 29, 42, 169
 Kyzyl Kum · 148

L

Ladakh · 148
Lagurus lagurus · 147
Larix · 152, 153, 180
Larix gmelinii · 153
Larix sibirica · 152, 153, 180
Larix sukaczewii · 152
 lateriti · 93, 106
 Lauraceae · 133
Lemmus lemmus · 160
Lemus lemus · 148
Lepis arcticus · 160
Lepus europaeus · 141
 Liquidambar · 139
 Liriodendron · 133
 litosol · 145
 Ljubomir Berberović · 13
 Lovelock · 54
Lucanus cervus · 141

Lymantria dispar · 141, 179
Lynx lynx · 142, 155

M

Magnolia · 133
 Majka Zemlja · 54
 makija · 128, 129
Mallophaga · 161
Mamuthus primigenius · 47, 169
 Marjanska brazda · 52
Marmota bobac · 147
Marmota bobak · 148
Martes americana · 155
Martes martes · 142, 179
 matorral · 127
 Mediteranska klima · 91, 125
 Mediteranski zonobiom · 91, 125
 megaterme · 82
Meles meles · 142
Mephitis mephitis · 135, 178
 MEZOARHAIK · 30
 mezofite · 83
 MEZOPROTEROZOIK · 30
 mezosfera · 62
 mikorize · 98
 mikrofilija · 108, 111, 120, 159, 176
 mikroterme · 82
 Miller – Urey · 27, 28, 168
 Milorad M. Janković · 13
 Milutin Milanković · 41, 42, 169
 mimoza · 110
 Mindel · 44
 monodominantne · 128, 133, 137,
 145, 152, 159
 morene · 40, 169
 Mrka glinovita tla · 94
Mustela erminea · 142
Mustela nivalis · 142, 179
Mustela putorius · 142
Myodes glareolus · 141
Myscardinus avellanarius · 141

N

Nagibni ugao ekliptike · 42
Naja naja · 147
 Namib · 117, 119, 124
 NAO · 77
 Neandertalci · 48
 Nebrascan · 44
 NEBULARNA ili Kant-Laplasova
 HIPOTEZA · 23
 NEOARHAİK · 30
 NEOPROTEROZOİK · 30
Neovison vison · 155
 Nevenka Pavlović · 13
 Nicolaus Copernicus · 22
 Nikolaas Tinbergen · 10
Nothofagus · 133, 140

O

oaza · 119
 Okeanska cirkulacija · 67
 Okeanske struje · 66
Olea · 128, 177
 oligodominantne · 110, 128, 133,
 137, 145, 152, 159
 Olson · 90, 164
Ondatra zibethica · 155
Ophisaurus apodus · 147
 Ordovicij · 30
 orobiom · 90, 92
Otis tarda · 147
 oueds · 119
Ovibos moschatus · 160

P

PALEOARHAİK · 30
 PALEOPROTEROZOİK · 30
 pampas · 146
Panthera leo · 124
*Paradipus ctenodactylus
Parus · 155
 Pelykosauria · 34*

pepeljuše · 151
 perhumidna · 105
 perhumidni · 93
 Perm · 30
 permafrost · 158
Phyllobates terbilis · 101, 102, 174
Picea abies · 152
Picea obovata · 153
Picoides tridactylus · 155
Picus martius · 142
Picus viridis · 142
 piknoklina · 66, 164
Pinus · 128, 152, 153
Pinus hallapensis · 128
Pinus maritima · 128
Pinus pinea · 128
Pinus sibirica · 153
Pistacia · 128
 pjeskovite pustinje · 119
 PLANETEZIMALNA HIPOTEZA · 23
 pleistocen · 44, 47, 48, 50, 51
 PNA · 77
 Poaceae · 145
Podocarpus · 133
 podzoli · 133, 150, 151
 Polarna ćelija · 64
 polidominantne · 95
 populacija · 10, 15, 16, 21, 48, 69
 precesija · 42, 72
 predio · 15
 prerije · 146
 protobiont · 26
 PROTOPLANETARNA HIPOTEZA · 24
Protopterus annectens · 18, 168
Prunus · 133
Pseudotsuga · 152
Pterocles orientalis · 149
Pterosaurus · 37
 pustinje · 71, 83, 86, 88, 115, 116,
 118, 120, 121, 123, 129, 144, 145,
 148, 149

Q

Quercus · 128, 129, 137, 139, 177

Quercus ilex · 128, 129, 177
Quercus crispula · 139
Quercus coccifera · 128
Quercus suber · 128

R

Rachel Carson · 14
 Radomir Lakušić · 13
Rafflesia · 100, 174
Ramphodon naevius · 103
Rangifer tarandus · 155, 160, 180
 Raymond L. Lindeman · 11
 Raymond Pearl · 9
 reg · 119
 regosol · 145
Rhododendron · 133, 178
Rhus · 128
 Richard Bradley · 8
 Riss · 44
 Robert G. Bailey · 89
 Robert MacArthur · 11
Rubus chamaemorus · 153

S

S. A. Forbes · 9
 Sahara · 117, 119
Saiga tatarica · 147, 148, 179
 savane · 86, 105, 106, 107, 109, 110,
 111, 112, 113
 SCHMIDT-OVA TEORIJA · 24
Sciurus vulgaris · 141
Sequoia · 133, 134, 178
Serengeti · 106, 109, 174, 175
 serir · 119
 Silent Spring · 14
 Silur · 30
 Siniša Stanković · 12
Siphonoptera · 161
 Sir Arthur Tansley · 10
 Sirozem · 91, 117, 144
 sirzem · 115
 sklerofilija · 96, 130

šljunkovite pustinje · 119
 Smilja Mučibabić · 12, 13, 168
Smilodon sp. · 48, 170
 soliflukcija · 158
Spalax leucodon · 148
Spermophilus parryi · 160, 161, 181
 stenotermne · 82
 stepa · 46, 143, 145, 146, 147
 stratosfera · 61
Strix aluco · 140
 stropopauza · 62
 sukulente · 83, 120, 121, 176
 Sulejman Redžić · 13
 suptropska pustinjska klima · 115
 suptropska pustinjska vegetacija ·
 115
Sus scrofa · 141
 suve dolinske pustinje · 119

T

tajga · 86, 91, 92, 152
 Takla Makan · 148, 149
Talpa europaea · 142
 TEORIJA EVOLUTIVNOG NASTANKA
 ŽIVOTA · 25
 TEORIJA KREACIONIZMA · 25
 TEORIJA PANSPERMIJE · 25
 TEORIJA SPONTANE GENERACIJE ·
 25
 tercijar · 39, 42, 43
 termofilne · 46, 82
 termohalina cirkulacija · 68
 Termoklina · 66
 termosfera · 62
 terofite · 110, 119, 129, 145, 152, 159
 terra rosa · 126
 Theophrastus · 8
 Thomas Malthus · 9
 Tihomir Vuković · 13
Tilia · 138, 139
 tiliti · 40
 Tonko Šoljan · 13
 Trijas · 30
 Trilobiti · 31, 168

TERESTRIČNA EKOLOGIJA

tropopauza · 61
troposfera · 61, 62
Tropska crvena glinovita zemljišta ·
91, 106
Tropska listopadna šuma · 91, 92,
107, 108, 175
Tropske kišne šume · 93, 95, 102, 103
Tropske suve šume · 86
tropske vlažne šume · 85
Tsuga · 152
tundra · 46, 71, 86, 88, 89, 91, 92,
157, 158, 159, 162, 164, 165, 181
Tyranosaurus · 36

U

Umjerene šume · 86
Umjerene vlažne šume · 86
UPRAVLJANA PANSPERMIJA · 25
Ursus arctos · 142
Ursus maritimus · 161
Ursus spaeleus · 48, 169

V

Vaccinium myrtillus · 153, 154, 180

Vaccinium vitis-idaea · 153, 154, 180
Varanus griseus · 149
Velikog praska · 22
Vero Wynne-Edwards · 10
Vipera lebetina · 149
Vito Volterra · 9, 10
Vormela peregusna · 147
Vulpes vulpes · 142

W

wadis · 119
Walter · 89
Whittaker · 89
Wisconsin · 44
Würm · 44
WWF · 90, 166

Z

zonobiom · 90, 92, 93, 94, 95, 98,
101, 105, 106, 115, 125, 126, 131,
134, 135, 136, 138, 139, 143, 150,
151, 157, 158, 159, 173, 174, 175,
177, 178, 179, 180
zonoekotoni · 91

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

502.211(075.8)(0.034.2)

591.5(075.8)(0.034.2)

574.9(075.8)(0.034.2)

МАНОЈЛОВИЋ, Маја

Terestrična ekologija [Електронски извор] / Маја Manojlović. -
Onlajn izd. - El. knjiga. - Banja Luka : Prirodno-matematički fakultet,
2021

Sistemska zahtjevi: Nisu navedeni. - Način pristupa (URL):
<https://pmf.unibl.org/teresticna-ekologija/>. - El. publikacija u PDF
formatu opsega 190 str. - Nasl. sa nasl. ekrana. - Opis izvora dana
12.5.2021. - Bibliografija: str. 164-168. - Registar.

ISBN 978-99955-21-89-9

COBISS.RS-ID 132488961

ISBN 978-99955-21-89-9



9 789995 521899