



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO – MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



ZNAČAJ BIOMARKERA U ASTROBIOLOGIJI

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Prof. dr Zorica Svirčev

Kandidat:
Jasna Tolmač 387/04

Novi Sad, 2012. god.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. ZNAČAJ EKSTREMOFILEA U ASTROBIOLOGIJI.....	3
Ekstremne temperature.....	5
Visoke temperature.....	5
Niske temperature.....	5
Sredina visokog saliniteta.....	5
Kisele i alkalne sredine.....	6
Sredine pod visokim pritiskom.....	6
Ekstremofili i vanzemaljski život.....	6
3. CIJANOBAKTERIJE KAO EKSTREMOFILE.....	8
Modrozelene bakterije.....	8
Modeli taloženja Zemaljskog lesa.....	10
Površine sa biološkom pokoricom (PBP).....	13
Biološka lesna pokorica i proces stvaranja lesa.....	18
4. ŠTA SU BIOMARKERI.....	21
Biomarkeri i paleorekonstrukcija okoline. Potraga za cijanobakterijskim, algalnim i bakterijskim biomarkerima u lesu.....	21
Fotosintetički pigmenti – Fikobiliproteini.....	24
Fikobilini.....	24
Fikoeritrin.....	26
Fikocijanin.....	27
Alofikocijanin.....	28
Fikoeritrocijanin.....	28
Hopanoidi.....	28
Hopanoidi – Hemija i Pojava.....	29
Geohopanoidi.....	31
Hopanoidi – Biohemija i Funkcija.....	31
Mikosporin.....	32
Scitonemin.....	33
5. ULOGA BIOMARKERA U PALEOKLIMATSKOJ REKONSTRUKCIJI.....	34
6. PRIMENA BIOMARKERA U ASTROBIOLOGIJI.....	36
Vanzemaljski kandidati za formiranje lesa.....	36
7. ZAKLJUČAK.....	40
8. LITERATURA.....	42

1. UVOD

Astrobiologija proučava poreklo, evoluciju, raspodelu i budućnost života u Univerzumu. Astrobiologija je multidisciplinarna i donosi zajedničku biološku perspektivu različitim oblastima, kao što su astronomija, astrofizika, biohemija, hemija, ekologija, ekstremofila, geologija, molekularna biologija, mikrobiologija, paleontologija, fiziologija, planetarne nauke, istraživanje svemira i tehnologija, bez izostavljanja prava i filozofije (Javaux, 2006).

Jedan od istaknutih ciljeva astrobiologije je da otkrije život ili znake života na planetama izvan Zemlje. Da bi se približilo tom cilju bilo bi korisno da se znaju fizička i hemijska ograničenja za život na Zemlji i da se razumeju osnovne biofizičke karakteristike života koji je postavio te granice (Trent, 2000).

Postoji mnogo definicija života, ali ni jedna nije opšte prihvaćena. To je zato što je postalo očigledno da postoji postepeni prelaz između abiotičkih struktura i nespornih oblika života, da bilo koja granica povučena između njih mora biti zasnovana na kriterijumu koji je diskutabilan. Mnogi biolozi pridržavaju se stava da je prisustvo DNK ili najmanje RNK pogodan kriterijum za život (Van Loon, 2005).

U cilju otkrivanja života van naše planete mogu se koristiti i metode analize različitih biomarkera (Han et al., 1968; Gelpi et al., 1970; Shiea et al., 1990; Summons and Walter, 1990; Summons, 1993; Brassel, 1994; Wdowiak et al., 1995; Kenig et al., 1995; Damste et al., 1997; Huseby and Ocampo, 1997; Vorobyova et al., 1997; McKay, 1997; Leavitt et al., 1997; Cockell, 1998; Dachs et al., 1998; Edwards et al., 1998; Doran et al., 1998; Koster et al., 1999; Cabrol et al., 1999; Hold et al., 1999; Wynn-Williams et al., 1999; Israel et al., 1999; Summons et al., 1999; Dillon and Castenholz, 1999; Cockell and Knowland, 1999; Kenig, 2000; Wynn-Williams and Edwards 2000; Wynn-Williams et al., 2000; Dembitsky et al., 2001; Audino et al., 2001; Xie et al., 2002; Treado, 2003; Brocks et al., 2003; Simoneit, 2004; Edwards et al., 2005; Talbot et al., 2007; Aubrey, 2008; Zhang et al., 2008; Smalley et al., 2010) koji potiču od ekstremofilnih mikroorganizama.

Cilj ovog rada je da se sagleda mogućnost upotrebe biomarkera u otkrivanju tragova života jedne veoma široko rasprostranjene i stare grupe mikroorganizama, a to su cijanobakterije (Whitton and Potts, 2000). Pre nego što se sagledaju aspekti i mogućnosti njihovog nalaženja van naše planete, cilj ovog rada je da se pokuša sagledati i objasniti mogućnost nalaženja ovih biomarkera u veoma starim sedimentima Zemljine površine, odnosno da se sagleda njihova moguća uloga u paleoklimatskoj rekonstrukciji.

2. ZNAČAJ EKSTREMOFILA U ASTROBIOLOGIJI

Kada biolozi postavljaju pitanje „Šta je život?“ oni su ograničeni opsegom oblika života na Zemlji. Međutim, kada astrobiolog postavlja isto pitanje sve granice su uklonjene. Mašta je jedino ograničenje mislima astrobiologa. U tom slučaju, ekstremofili su samo jedna od mogućnosti u ljudskoj zamisli o početku, evoluciji i distribuciji života u Univerzumu (Stojanović et al., 2008).

Specijalni mikroorganizami koji su u stanju da nastanjuju ekofiziološke teške uslove nazivaju se „ekstremofili“. Sa naše antropocentrične tačke gledišta ova staništa se smatraju „ekstremnim“, iako su mikroorganizmima ta mesta ustvari „oaze“ (Seckbach and Chela-Flores, 2001).

Ekstremofili opstaju na ivicama temperature, hipersaliniteta, pH vrednosti, pritiska, isušenja. Sve tri oblasti života (arheje, bakterije i eukariote) su među ekstremofilima (Seckbach and Chela-Flores, 2001). Dva od ovih domena su prokariote, odnosno bakterije i arheje. Ekstremofili su pronađeni u širokom spektru okruženja na Zemlji, gde god postoji tečna voda. Ekstremofili postoje na 3 km dubine ispod površine, u hidrotermalnim izvorima i vrelima, u kiselim rekama (Rio Tinto reka u Španiji), u oblastima visoke koncentracije teških metala, u halitnim kristalima, u polarnom ledu i jezerima i u vakuumu i pod anaerobnim uslovima. Takođe su pronađeni u suvim dolinama Antarktika i u Atakama pustinji u Čileu (Javaux, 2006). Klasifikacija i primeri ekstremofila su dati u Tabeli 1.

Tabela 1. Klasifikacija i primeri ekstremofila (Gross, 1998)

	Tip	Definicija	Primeri
Temperatura	hipertermofili termofili mezofili psihrofili	rast $> 80^{\circ}\text{C}$ rast $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$ $15\text{--}60^{\circ}\text{C}$ $< 15^{\circ}\text{C}$	<i>Pyrolobus fumarii</i> , 113°C <i>Synechococcus lividis</i> <i>Homo sapiens</i> <i>Psychrobacter</i> , neki insekti
Zračenje			<i>Deinococcus radiodurans</i>
Pritisak	barofili pizofili	skloni opstanku u dubokim podzemnim lokacijama ispod kontinetalne kore i na dnu okeana skloni opstanku pod pritiskom	Nepoznato Za mikrobe, 130 MPa
Vakuum		tolerišu vakuum (prostor lišen materije)	tardigrade, insekti, mikrobi, semenje
Sušenje	kserofili	anhidrobiotik	<i>Artemia salina</i> ; valjkasti crvi, mikrobi, gljive, lišajevi
Salinitet	halofili	skloni opstanku u slanim sredinama ($2\text{--}5 \text{ M NaCl}$)	<i>Halobacteriacea</i> , <i>Dunaliella salina</i>
pH	alkalofili acidofili	pH > 9 skloni opstanku na niskoj pH vrednosti	<i>Natronobacterium</i> , <i>Bacillus firmus</i> OF4, <i>Spirulina</i> spp. (pH 10.5) <i>Cyanidium caldarium</i> , <i>Ferroplasma</i> sp. (pH 0)
Tolerancija kiseonika	anaerobno mikroaerofilno aerobno	ne tolerišu prisustvo O_2 tolerišu prisustvo nešto O_2 zahtevaju prisustvo O_2	<i>Methanococcus jannaschii</i> <i>Clostridium</i> <i>Homo sapiens</i>
Hemijski ekstremi	Gasovi Metalni	Mogu da tolerišu visoke koncentracije metala (metalotoleranti)	<i>Cyanidium caldarium</i> (čist CO_2) <i>Ferroplasma acidarmanus</i> (Cu, As, Cd, Zn); <i>Ralstonia</i> sp. CH34 (Zn, Co, Cd, Hg, Pb)

Ekstremne temperature

Život na Zemlji zasniva se na hemiji ugljenika u vodi. Temperaturne granice su, u skladu sa postojanjem života, nametnute od strane bitnih osobina hemijskih veza na kojima se zasniva ova vrsta hemije na različitim temperaturama. Dva zahteva su obavezujuća. Prvo, kovalentne veze između ugljenika i drugih atoma koji su uključeni u strukturu bioloških molekula trebalo bi da budu dovoljno stabilne da bi se obezbedilo postojanje velikih makromolekula sa informacionim, katalitičkim svojstvima ili sa oboje. Drugo, nekovalentne veze (jonske i vodonične veze) treba da budu labilne. Ovo je veoma važno, jer samo slabe veze mogu omogućiti konkretne, brze i reverzibilne interakcije bioloških molekula i makromolekula. Ova hemijska ograničenja će u velikoj meri odrediti gornju i donju temperaturnu granicu za život. Poznato je da zemaljski organizmi mogu da žive u temperaturnom opsegu od -12°C do 113°C (ESA, 1999).

Visoke temperature

Termofili i hipertermofili su mikroorganizmi koji žive u uslovima visokih temperatura. Termofili se nalaze u toplim vodama, geotermalnim oblastima i Suncem zagrejanom tlu. U toplim izvorima Jeloustoun nacinalnog parka nekoliko vrsta, uključujući i bakteriju *Thermus aquaticus*, rastu na temperaturama višim od 70°C . Hipertermofilne arheje i bakterije mogu da opstanu na temperaturi do 110°C (Seckbah, 2000). *Pyrolobus fumarii* može da živi na temperaturi preko 100°C , a ima najvišu temperaturnu toleranciju od svih oblika života, oko 113°C (Blöch et al., 1997). Arhejske ćelije je utvrđeno da rastu na 250°C na 265 atmosfera. Interesantno je napomenuti da većina duboko ukorenjenih organizma su termofili, kako bakterije tako i arheje, što sugerise da su najraniji zajednički preci bili termofilni mikroorganizmi (Horneck, 2000).

Niske temperature

Život je izuzetno raznolik u okeanu na temperaturi od 2°C . Živi organizami, naročito mikroorganizmi, takođe su prisutni u zamrznutom zemljištu arktičkog i alpskog okruženja (Russel, 1992). Ipak, njihove optimalane temperature rasta su obično znatno iznad temperature mesta izolacije. Ovi organizmi sa optimalnom temperaturom rasta ispod 15°C i minimalnom temperaturom rasta ispod 0°C su psihrofili (kriofili). A oni koji su u stanju da rastu na 0°C , ali sa optimalnom temperaturom rasta iznad 15°C , su psihrotrofi. Psihrotrofi obično nadmašuju psihofile u datom biotopu, jer mogu imati više koristi od efemernih „toplih“ uslova (ESA, 1999; Cavicchioli, 2006).

Sredina visokog saliniteta

Grupa dobro proučenih ekstremofila su organizmi koji vole soli poznati kao ekstremni halofili (Galinski & Tyndall, 1992). Monovalentne i dvovalentne soli su od suštinskog značaja za zemaljski život (K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Zn^{++} , Fe^{++} , Mn^{++}), jer su potrebne kao katalizatori u mnogim enzimskim aktivnostima. Svi organizmi su zavisni od soli, u tom smislu. Ali, tolerisane koncentracije soli su obično veoma niske (< 0,5%), zato što visoke koncentracije soli ometaju mreže jonskih interakcija koje oblikuju makromolekule i drže zajedno kompleksne makromolekule. Ekstremni halofili, uspeli su da napreduju u biotopima hipersaliniteta (slani

izvori, slana jezera) do 250-300 g/l NaCl. Oni su toliko zavisni od tako visoke koncentracije soli da ne mogu da rastu na koncentracijama ispod 10% NaCl (ESA, 1999). Halofili su takođe primećeni u podzemnim naslagama soli. Mnoga od ovih okruženja sadrže mikroorganizme koji su možda preživeli milione godina u stanju hibernacije (Seckbach, 2000; Roberts, 2005).

Kisele i alkalne sredine

Hemija života na Zemlji je optimizovana za neutralanu vrednost pH. Neki mikroorganizmi su bili u stanju da se prilagode ekstremnim uslovima pH vrednosti, od pH 0 (izuzetno kisele) do pH 12,5 (izuzetno alkalne), iako održavaju unutar ćelija pH vrednost između pH 4 i 9 (ESA, 1999). Acidofilni mikroorganizmi se nalaze u sve tri oblasti života. Ovi organizmi rastu na pH nivou od 0 do 4. Među acidofilima su sumporna bakterija, arheje i fototropski hot spring protest kao što su termoacidofilne alge *Cyanidium caldarium*, *Dunaliella acidophilum* i diatomi (silikatne alge). Hipertermofilni arhejski *Pyrolobus fumari* živi u opsegu pH od 4 do 6,5 (Blöch et al., 1997; Madigan and Oren, 1999). Mnoge bakterije i nekoliko arheja, žive u drugim ekstremnim pH vrednostima, od pH 9 do pH vrednosti 12, oni se nazivaju alkalofili (Grant and Horikoshi, 1992). Oni su prisutni svuda na Zemlji. Neki od njih, koji su otkriveni u sodnim jezerima koja su bogata karbonatima, takođe su halofili (haloalkalofili). Najveći broj alkalofila su mezofili ili srednji termofili, ali postoje i hipertermofilni alkalofili, kao *Thermococcus alkaliphilus* (Keller et al., 1995).

Sredine pod visokim pritiskom

Barofilne arheje i bakterije su prisutne u dubokim podzemnim lokacijama čak 4 km ispod kontinentalne kore i na dnu okeana (pritisak 1100 bara) (Seckbach, 2000). Granica ekstremnog pritisaka za život na Zemlji je nepoznata, okruženja iznad 1100 bara nisu istraživana. Mada, može biti veoma visoka, jer makromolekuli i ćelijski sastojci očigledno samo počinju da se denaturišu na pritisku od 4-5000 bara (ESA, 1999). Nedavno svemirsko putovanje na Mesec i nazad na Zemlju je pokazalo da bakterije dugo tolerišu vakuum (najmanje 2,5 godine). Ova zapažanja potvrđuju stepen raznovrsnosti mikroorganizama (Seckbach, 2000).

Ekstemofili i vanzemaljski život

Među ranim mikroorganizmima, cijanobakterije su igrale glavnu ulogu, vršeći kiseoničnu fotosintezu i izazivajući najdublje promene u istoriji naše planete. Pre nekoliko decenija Sagan (1961) je predložio ekstravagantan plan planetarnog inženjeringu. On je predložio setvu atmosfere nepodobnih planeta sa cijanobakterijama radi činjenja ovih planeta pogodnih za život. Friedmann and Ocampo – Friedmann (1995), pratili su tu ideju Sagana i takođe predložili širenje cijanobakterija na Marsu radi formiranja vanzemaljskog života (Seckbach, 2000). Svirčev (2005) definiše praktičnu upotrebu cijanobakterija u astrobiologiji, pojmom „astrobiotehnologija“ (Stojanović et al., 2008).

Jedini kriterijum koji je potreban, bez izuzetka za svaku ekološku nišu koja podržava život je prisustvo vode u tečnom obliku za neki deo godine. Mars je okruženje bogato solju. Bilo koja voda danas bi verovatno bila zasićen slani rastvor, sa nižim pritiskom pare i nižom temperaturom topljenja od čiste vode (Landis, 2001). Uslovi za život na Marsu danas ne postoje, ali je moguće da halobakterije još uvek mogu biti preuzete iz slanih naslaga na Marsu i uzbunjane

u pogodnom medijumu za rast. Potvrđeno je da bakterije na Zemlji mogu preživeti u naslagama soli koje su stare preko 650 miliona godina. Razumno je pretpostaviti da je moguće da bakterija preživi u naslagama soli više od milijardu godina. Ako bi to bilo istinito, onda bakterije mogu biti preuzete i kultivisane iz doba kada je Mars imao toplu klimu sa vodom u tečnom stanju, pre otprilike 3,5 milijardi godina (Landis, 2001). Iako broj ekstremnih uslova na Marsu prevazilazi sve prirodne kombinacije ekstremnih uslova na Zemlji, može se izvući paralela između, u ovom slučaju, zemljišta bogata solju na Zemlji i sredine na Marsu, koja je takođe bogata solju (Stojanović et al., 2008).

3. CIJANOBAKTERIJE KAO EKSTREMOFILI

Modrozelene bakterije

Prokariotske ćelije su male, jednostavne građe, opkoljene ćelijskim zidom i membranom, a nemaju jedro niti ćelijske organele, osim ribozoma. Prokariotskim organizmima pripadaju bakterije i modrozelene alge (cijanofite), dok su svi ostali organizmi, bilo jednoćelijski, bilo višećelijski, eukarioti (<http://sr.wikipedia.org/wiki/Prokariote>).

Eukariote (*Eucaryota*) su jednoćelijski i višećelijski organizmi sa eukariotskim tipom građe ćelije svrstani u carstvo *Eucarya*. Izvršena je makroklasifikacija živih organizama na tri velika carstva:

1. Archaea
2. Bacteria
3. Eucaria

Današnjim eukariotama pripadaju svi jednoćelijski i višećelijski organizmi, osim organizama koji pripadaju prokariotama (bakterija i modrozelenih algi) (<http://sr.wikipedia.org/wiki/Eukariote>).

Modrozelene bakterije, cijanobakterije, ili modrozelene alge su najstarija i jedna od najvažnijih grupa organizama na Zemlji. Modrozelene alge predstavljaju grupu fotoautotrofnih bakterija. Zapravo, one su najstarija grupa fotoautotrofnih organizama na Zemlji, postoje već 3 milijarde godina. Za sve to vreme zadržale su niz primitivnih karakteristika: prokariotski tip ćelije, vegetativni i bespolni način razmnožavanja i nepostojanje pokretnih stadijuma (oblika) u ciklusu razvića (nema flagela). Za razliku od bakterija, cijanobakterije prilikom fotosinteze oslobođaju kiseonik (http://sr.wikipedia.org/wiki/Modrozelene_bakterije).

Morfološka raznovrsnost modrozelenih bakterija je veoma velika: postoje jednoćelijski, kolonijalni (sastavljeni od okruglih, štapičastih ili pločastih formacija) i trihalni (za njih se kaže da su nitasti, končasti, lančasti ili filamentozni) organizmi. Mnoge vrste stvaraju sluzavi omotač koji ih štiti od isušivanja i pomaže u kretanju. Modrozelene alge ili cijanobakterije su prelazni oblik između pravih bakterija i algi, a starije ime cijanofita odražava njihove algalne karakteristike, kao što su njihova sposobnost fotosinteze i sličnost sa struktukrom hloroplasta kod pravih algi (http://www.akvarij.net/index.php?option=com_content&view=article&id=188:novela-o-algama-cijanobakterije&catid=45:anci&Itemid=147).

Postoji 150 rodova sa 2000 vrsta. To su prvi fotoautotrofni organizmi, što znači da oslobođaju kiseonik i zbog toga su to aerobni organizmi. Osim sposobnosti da uzimaju hranu fotoautotrofnim putem, cijanobakterije su takođe sposobne da se ishranjuju i fotoheterotrofno, autoheterotrofno, heteroautotrofno i heterotrofno. Vrlo su osetljive na kvalitativne promene vode, pa su zbog toga značajni indikatori stupnja zagađenosti (<http://hirc.botanic.hr/botanika/Predavanja/BOTANIKA-MB-02-%20Cyanobacteria%20i%20Prochlorobacteria.pdf>).

S obzirom na tip ishrane, mogu da opstanu u uslovima koji su nepovoljni za druge fotoautotrofne organizme. Cijanobakterije nastanjuju slatke i slane vode, vlažna zemljišta, mračne pećine i pustinje. Takođe ih nalazimo na krovovima i stablima. Žive u termalnim vrelima na +70° C (Yellowstone), a takođe mogu opstati na snegu i ledu (Antarktiku T = - 83° C) (http://sr.wikipedia.org/wiki/Modrozelene_bakterije).

Oko 2000 vrsta cijanobakterija većinom živi u slatkim vodama (eutrofnim - zagađenim, a samo neke vrste i u oligotrofnim - čistim). Cijanobakterije, zavisno od vrste, izlučuju više ili manje sluzi, pa ih zovemo i sluzave alge. Spoljašnji faktori (promena biotopa) utiču u znatnoj meri ne samo na oblik, već i na boju cijanobakterije. Fotosintetski pigmenti: hlorofil a (zeleni), fikocijan (plavi), fikoeritrin (crveni) i ostali fikobiliproteini smešteni su u tilakoidima koji slobodno plivaju u citoplazmi. Modrozelene alge umesto hloroplasta imaju samo tilakoidne pločice koje slobodno plivaju u citoplazmi. Cijanobakterije su uglavnom modrozelene do ljubičaste, ali kako su količinski odnosi pigmenata delimično labilni, boje su ponekad crvene ili zelene, a mogu biti i (zlatno) smeđe

(http://www.akvarij.net/index.php?option=com_content&view=article&id=188:novela-o-algama-cijanobakterije&catid=45:anci&Itemid=147).

Zemljишne cijanobakterije pripadaju grupi organizama pod nazivom "ekstremofili", zahvaljujući sposobnosti da opstaju u staništima sa ekstremnim uslovima sredine. Dosadašnja istraživanja su pokazala da ovi organizmi imaju velik kapacitet produkcije biološki aktivnih materija (BAM) (Drobac-Čik et al., 2007).

Cijanobakterije predstavljaju vrlo raznovrsnu grupu prokariotskih fotosintetskih mikroorganizama koji se odliku specifičnim ekološkim, fiziološkim i biohemijskim karakteristikama, što im daje mogućnost da prirodnim putem produkuju širok spektar sekundarnih metabolita malih molekulskih težina – biloške aktivne materije (BAM) koje mogu biti: netoksične, potencijalno toksične i toksične

(<http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2009/Cijanotoksini%20u%20vodi%20za%20vodosnabdevanje-WW09%20I%20deo.pdf>).

Sluzavi omotač ih štiti od isušivanja i od jake Sunčeve radijacije, što je značajno za vrste koje žive na kopnu i na antarktičkom snegu. Mali broj vrsta živi u morima. Mnoge vrste cijanobakterija su azotofiksatori. One su jedini fotoautotrofni organizmi koji mogu da fiksiraju azot. Neke vrste u vodi izazivaju cvetanje vode. Takođe u slatkim i slanim vodama imaju značajnu ulogu u formiranju stena. Izvesne vrste ulaze u simbiotske odnose sa drugim organizmima. Sa gljivama grade lišajeve. Neke vrste su bioindikatori, jer su veoma osjetljive na zagađenje (http://sr.wikipedia.org/wiki/Modrozelene_bakterije).

Modeli taloženja Zemaljskog lesa

Les je rasprostranjen širom sveta kao jedan homogeni, tipično bez slojeva, porozan, trošan, blago koherentan, krečnjački, fino-granuliran, muljevit, bledožut ili uglačani, vetrom nošeni (eolski) sediment. Osnovne komponente za taloženje lesa su: materijal (prašina), atmosferska cirkulacija (vetar) i odgovarajući površinski uslovi koji se tiču pretvaranja nataloženog eolskog materijala u strukturu naslaga lesa. Neke nedavne studije stavljaju u prvi plan potencijalni značaj biološke zemljишne pokorice za formiranje lesa. Ove visoko specijalizovane zajednice ekstremofila igraju važnu ulogu u vezivanju atmosferske prašine i sprečavanju erozije. Formiranje zemaljske prašine se pre svega može dovesti u vezu sa toplim i hladnim pustinjama i mrvljenjem lednika. Taloženje prašine i stvaranje lesa takođe je povezano sa nepovoljnim periglacijalnim i polusuvim ledničkim okruženjima (Svirčev et al., 2011).

Neke planete i sateliti u Sunčevom sistemu odlikuju se uslovima relativno sličnim onima u okruženju naše planete koji se tiču stvaranja lesa. Ova studija otvara sledeća pitanja:

- 1) da li je (i gde) moguće stvaranje naslaga sličnih lesu izvan Zemlje i
- 2) ako postoji vanzemaljski les da li se on stabilizuje na način isti ili sličan onima na Zemlji, putem aktivnosti vanzemaljskih ekvivalenta biološke lesne pokorice (BLP)?

U svetu astrobioloških istraživanja podaci o postojanju vanzemaljskog lesa mogu ukazivati na pojavu vanzemaljskih životnih oblika povezanih sa stvaranjem lesa. Na bazi komparativne analize astrofizičkih uslova na sedam nebeskih tela Sunčevog sistema (udarnih kratera, tektonske aktivnosti, vulkana, atmosfere, prisustva vode ili njenog ekvivalenta, erozije, vetrova, gravitacije) zaključeno je da su Mars i Titan ona tela koja treba uzeti u razmatranje u vezi taloženja lesa i prisustva mogućih oblika života (Svirčev et al., 2011).

Život, najtajnastvenija činjenica u Svetu, za sada je poznat samo na planeti Zemlji. Jedan od najvećih izazova za ljude je da pronađu oblike života izvan Zemljine atmosfere. Pošto je teško zamisliti mogućnost da se do drugih Solarnih sistema stigne u doglednoj budućnosti, polazna tačka u tom zahtevnom zadatku bio je naš Sunčev sistem (Svirčev et al., 2011).

Imajući u vidu to da se do sada najoptimalniji uslovi za razvoj života nalaze na planeti Zemlji, može se očekivati da je život, ako uopšte postoji na drugim nebeskim telima, u svom najjednostavnijem obliku, u formi pionirskih vrsta (Freissinet et al., 2010). Najstariji fosili, poreklom iz Australije, stari su 3,47 milijardi godina i verovatno pripadaju cijanobakterijama (Schopf, 1993). Na bazi ovih nalaza evolutivno istraživanje ukazuje na to da su se prvi organizmi pojavili na Zemlji pre 3,8 milijardi godina i da su bili slični cijanobakterijama (Whitton et al., 2003). Mnogi istraživači postavili su hipotezu da neka nebeska tela možda sadrže fosilni ili postojeći život mikroba u okruženjima sličnim Zemaljskim, gde možda voda sada omogućuje život ili ga je omogućavala u prošlosti (Mahaney et al., 2005). U slučaju panspermije, život bi se mogao stvoriti na više nebeskih tela i mogli bi postojati i neki sadašnji znaci koji bi ukazivali na njegovo postojanje (Tepfer, 2008). Potraga za životom van Zemlje nastoji da odredi markere koji će pokazati prisustvo živih organizama da bi se olakšalo uzimanje uzoraka i povećale šanse za pozitivnim rezultatima (Xie et al., 2002).

Prateći najnovija dostignuća u razumevanju modela taloženja zemaljskog lesa, predlaže se jedan novi smer za potragu za dokazima o vanzemaljskom životu. Smalley et al. (2011) je uputio na to da biološke zemljišne pokorice (BZP) mogu imati značajnu ulogu u formiranju lesa i naročito u njegovom očuvanju. Iznete činjenice ukazuju na mogućnost da bi živi organizmi mogli da imaju značajnu ulogu u stvaranju sedimentoloških struktura sličnih lesu na drugim nebeskim telima Sunčevog sistema. Osnovni cilj je da se pronađu odgovarajuće naslage i mesta koja bi mogla omogućiti postojeći život ili su ga možda omogućavala u prošlosti (Svirčev et al., 2011).

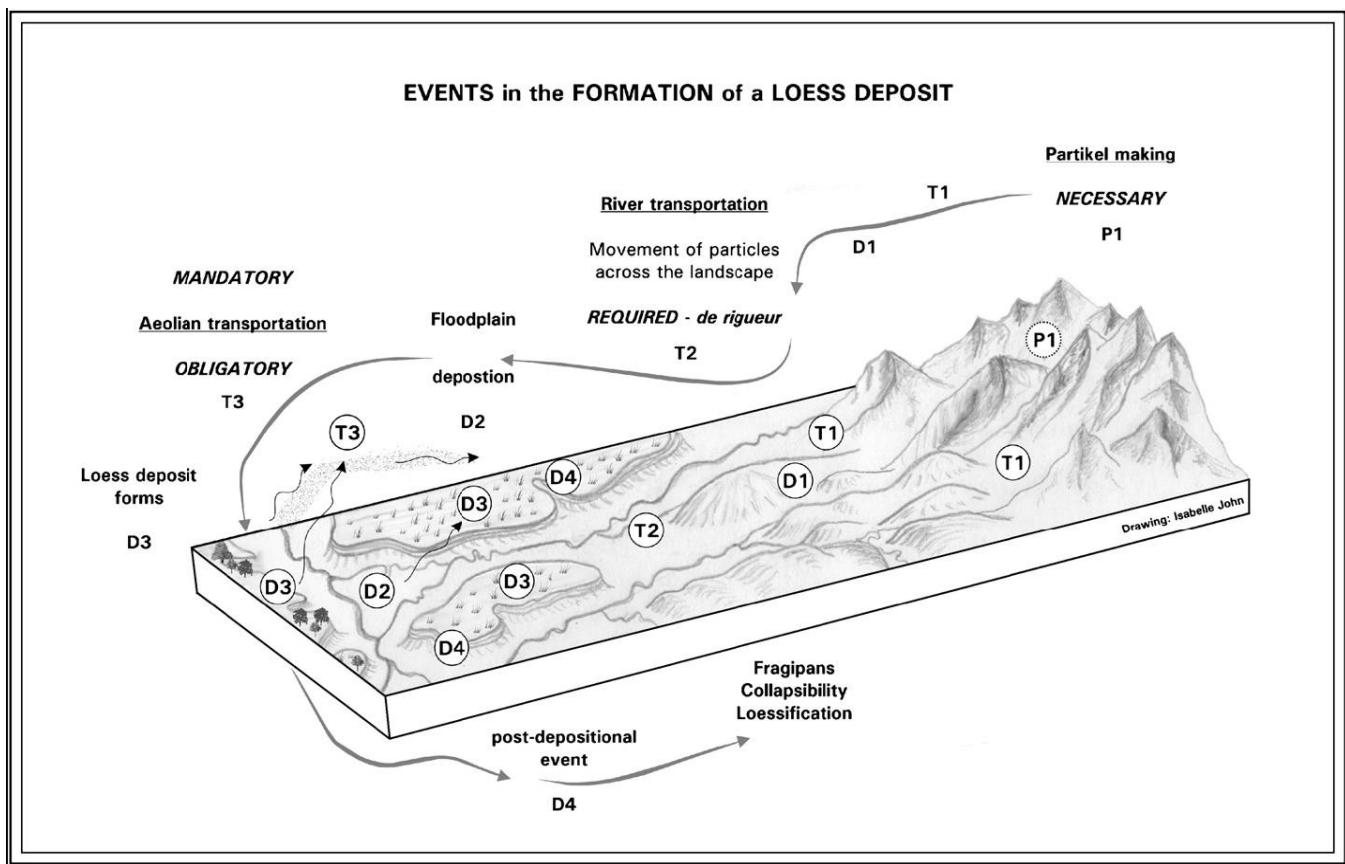
Osim toga, zna se da cijanobakterije, koje se javljaju u Zemljinoj kori, sadrže vančelijske pigmente za zaštitu od Sunca i aminokiseline nalik mikosporinima odnosno aminokiseline koje u sebi sadrže mikosporin (MAAs), i razne hopane, koji se mogu utvrditi u fosilnim tragovima (Cockell, 1998; Cockell and Knowland, 1999; Brocks et al., 2003; Simoneit, 2004; Edwards et al., 2005).

Ime „les“ potiče od nemačke reči „löss“, što bi u prevodu značilo – „labav“. Les je sedimentna, lako porozna, laporovita ili glinovita stena. Javlja se u slojevima značajne debljine, od nekoliko do 100-200 metara. Karakterističan je za stepske predele Evrope. Les je nastao navejavanjem za vreme pleistocena. Prostire se najviše u Srbiji, Mađarskoj, Ukrajini i Rusiji, kao i u Kini. Osim za vreme pleistocena, nastajao je i kasnije, od vulkanske aktivnosti (Ekvador) u pustinjama i od gipsa (Španija) (<http://sr.wikipedia.org/wiki/Les>).

Les se razvio u predelima umerenokontinentalne klime, sa vlažnim prolećima, suvim letima i oštrijim zimama. Les je pogodan za razvoj veoma plodnog zemljišta poput černozema (<http://sr.wikipedia.org/wiki/Les>).

Les pretežno sadrži grubi mulj (10–50 µm) koji se relativno dobro sortira i blago dijagenitizuje, a mulj čini 40-70% težine lesa (Pecsi, 1995). Les se uglavnom sastoji iz kvarcnih čestica reda veličine 15-75 µm (Smalley, 1995; Pecsi, 1990; Smalley et al., 2011). Osim preovlađujućih granula kvarca (40–80%; u proseku 60–70%) on sadrži feldspat, kalcit i dolomit u manjim količinama. Po suvom vremenu, čak i strmi lesni zidovi su stabilni, kada je natopljen vodom lako se raspada. Lako erodira usled površinskih vodotokova, sklon stvaranju podzemnih šupljina. (Pecsi, 1995).

Gruba granularna materija lesa kao rezultat kohezije i cementacije granula takođe je veoma karakteristična (Pecsi, 1995). On se generalno javlja kao rasprostranjeni pokrivač naslaga, koji pokriva površine od stotina kvadratnih kilometara i koji je debeo nekoliko dm. Ukupno les i sedimenti nalik njemu pokrivaju oko 10% Zemljine kopnene površine (Pecsi, 1990; Smalley et al., 2011). Stvaranje naslaga lesa predstavlja jedan složeni proces, ili čak i složeni niz procesa. Osnovni zahtevi za stvaranje naslaga lesa prikazani su u tzv. „Putu mulja“ na Slici 1. (Smalley et al., 2009).



Slika 1: Faze u stvaranju naslaga lesa¹⁾

Na Slici 1, prikazan je niz faza koji dovodi do taloženja lesa: ovo je „Put mulja“ – putanja koja treba da sadrži sve značajne faze povezujući stvaranje čestica (P1) sa stvaranjem naslaga lesa i naknadnim promenama. Faza prenošenja rekom (T2) je kritična/obavezna u ovoj putanji, T2 obezbeđuje raspodelu lesnog materijala u prirodi (Smalley et al., 2009).

¹⁾ Značenja na Slici 1:

partikel making – stvaranje čestica

river transportation – prenos rekom

movement of particles across the landscape – kretanje čestica kroz prirodu

floodplain deposition – taloženje u poplavnim područjima

aeolian transportation – prenošenje vetrom

loess deposit forms – formiraju se naslage lesa

post-depositional event – faza nakon taloženja

fragipans collapsibility loessification – lesifikacija (taloženje lesa) usled kolapsibilnosti fragipana

fragipans – fragipani – dijagnostički horizont koji predstavlja izmenjene naslage soli ispod površine tla, koje ograničavaju protok vode i zaustavljaju rast korenja (<http://en.wikipedia.org/wiki/Fragipan>).

U nacrtu na Slici 1. prikazane su tri glavne faze: stvaranje čestica, raspodela materijala u prirodi putem dejstva reke i prenošenja vетrom koje dovodi do naslaga sa zapaženim setom lesnih osobina. Stvaranje čestica nije jednostavna faza i još uvek se javljaju poneke diskusije na ovu temu. Reke snabdevaju geografske regije lesnim materijalom (a kasnije prenošenje vетrom i taloženje će ovom materijalu dati lesne osobine). Prenošenje rekom je obavezna faza u nizu koji dovodi do stvaranja naslaga lesa (Smalley et al., 2009).

Eolska faza ima centralnu ulogu u stvaranju naslaga lesa. Shvatanje značaja ove faze bilo je najznačajni momenat u istoriji istraživanja lesa (Smalley et al., 2011).

Međutim, Pecsi (1990) je istakao da u stvaranju lesa ima još nečega sem proste činjenice taloženja vетrom. Pojam lesifikacija integrisao je čitav proces nakon taloženja koji se odnosi na pretvaranje vетrom nošenog muljevitog materijala u dobrosortiranu otvorenu strukturu sa klasičnim svojstvima lesa (Smalley et al., 2011).

Lesifikacija je pretežno jedan sklop abiotičkih procesa, ali u dinamičnim ledničkim okruženjima vетar takođe može da bude glavna erozivna sila i da izazove probleme oko stabilnosti. Stabilizacija nataložene eolske prašine tokom ledničkih perioda i pojava vegetacionog pokrivača mogu da imaju važnu ulogu u smanjivanju dalje erozije vетrom i vodom. Međutim, tokom nepovoljnih ledničkih klimatskih uslova vegetacija može biti prilično smanjena i može predstavljati ekstremne životne uslove, poput lesne tundre (Lozek, 1982; Moine et al., 2008) ili suvih slaborazvijenih lesnih pašnjaka (Marković et al., 2006, 2007, 2008).

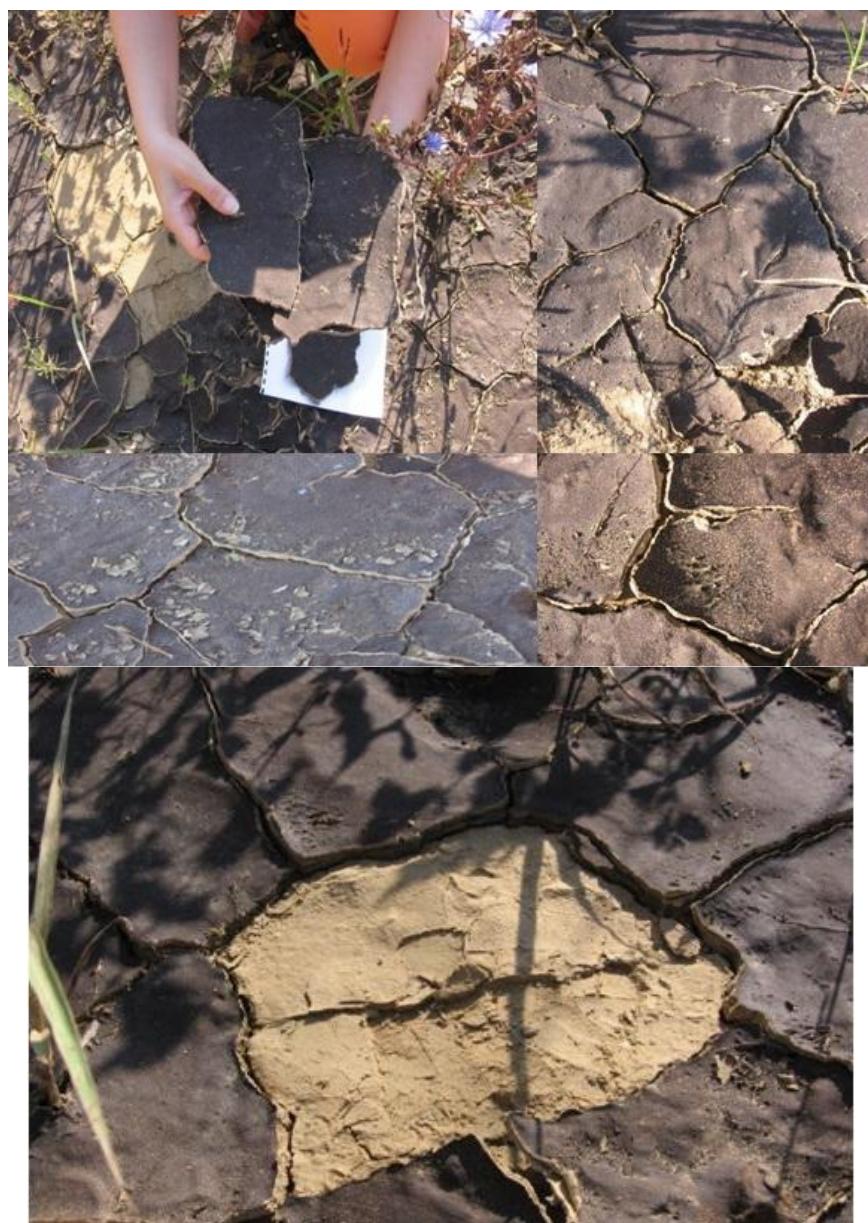
Generalno, les ima nekih „za život povoljnih“ karakteristika sličnih zemljištu, poput: plodnosti (fiziološki raspoloživa mešavina različitih mineralnih hranljivih sastojaka usled svog eolskog porekla) i poroznosti. To je razlog zbog kojega se supstrat lesa pod povoljnim klimatskim i uslovima životne sredine može naglo transformisati u zemljište. U skladu sa ovim zapažanjima les se može smatrati za pedoregolit koji pruža mnoge raznovrsne uslove za životna utočišta čak i u nepovoljnim uslovima prirodne sredine (Smalley et al., 2009).

Površine sa biološkom pokoricom (PBP)

Površine sa biološkom pokoricom su veoma specifični biotopi sa različitim zajednicama vrsta, uglavnom utvrđenih od strane kvaliteta i kvantiteta podloge. Najčešće se ove biocenoze pojavljuju kao biološke zemljišne pokorice (BZP), koje su veoma dobro poznate i opisane (Belnap and Lange, 2001; Belnap, 2006). Ali, one su takođe rasprostranjene na različitim površinama u prirodi, veoma često kao pionirske vrste (Whitton, 2003). U vezi sa ovim značajem, mreža životne sredine bilo kog organizma koji formira površinu, trebalo bi da bude imenovana kao površina sa biološkom pokoricom (PBP) (Svirčev et al., 2011).

Biološke zemljišne pokorice (BZP) se nalaze u svim toplim, hladnim, hladno-suvim i polu-suvim regionima i drugim ekstremnim životnim sredinama poput strmih lesnih stena (Starks, 1981; Büdel, 2002, Metcalf et al., 2012). Njih formiraju živi organizmi i njihovi nusproizvodi, stvarajući podlogu od čestica zemlje koje su povezane organskim materijalima (Belnap et al., 2001). Ekološke funkcije biološke zemljišne pokorice (BZP) uključuju: povećanje stabilnosti zemljišta, sprečavanje erozije veta i vode, atmosfersku fiksaciju azota, doprinos hranljivih materija biljkama, odnose zemljište-biljka-voda, itd. (Belnap, 2006).

Biološke zemljišne pokorice (BZP) su visoko specijalizovane zajednice vrsta kojima pripadaju cijanobakterije, zelene alge, lišajevi, mahovine, mikrogljive i bakterije (Belnap et al., 2001, Belnap and Phillips, 2001; Ullman and Budel, 2001; Tirkey and Adhikary, 2005). One mogu biti veoma specifične na lesnim površinama u obliku biološke lesne pokorice (BLP) (Smalley et al., 2011). Preliminarni rezultati iz uzoraka lesa iz Srbije su istakli da biološke lesne pokorice (BLP) sadrže oko 90% biomase cijanobakterija (*Nostoc*, *Phormidium*, *Gleocapsa*, *Stigonema*, *Oscillatoria*) i 10% ostalih organizama biološke lesne pokorice (BLP), uglavnom bakterija (Slika 2) (Büdel, 2002).



Slika 2: Biološka lesna pokorica lesa iz Srbije (ciglana u Rumi) (Büdel, 2002)

Eko-fiziološka aktivnost mikroorganizama poput cijanobakterija, lišajeva, mahovina i gljiva potencijalno mogu igrati glavnu ulogu u pretvaranju nelesnog u lesno zemljište (Smalley et al., 2011). Ovi organizmi obično formiraju površinu sa biološkom pokoricom (PBP) (Slika 3) (Starks, 1981; Büdel, 2002; Metcalf et al., 2012).



Slika 3: Površina sa biološkom pokoricom u Vojvodini (Severna Srbija) (Büdel, 2002)

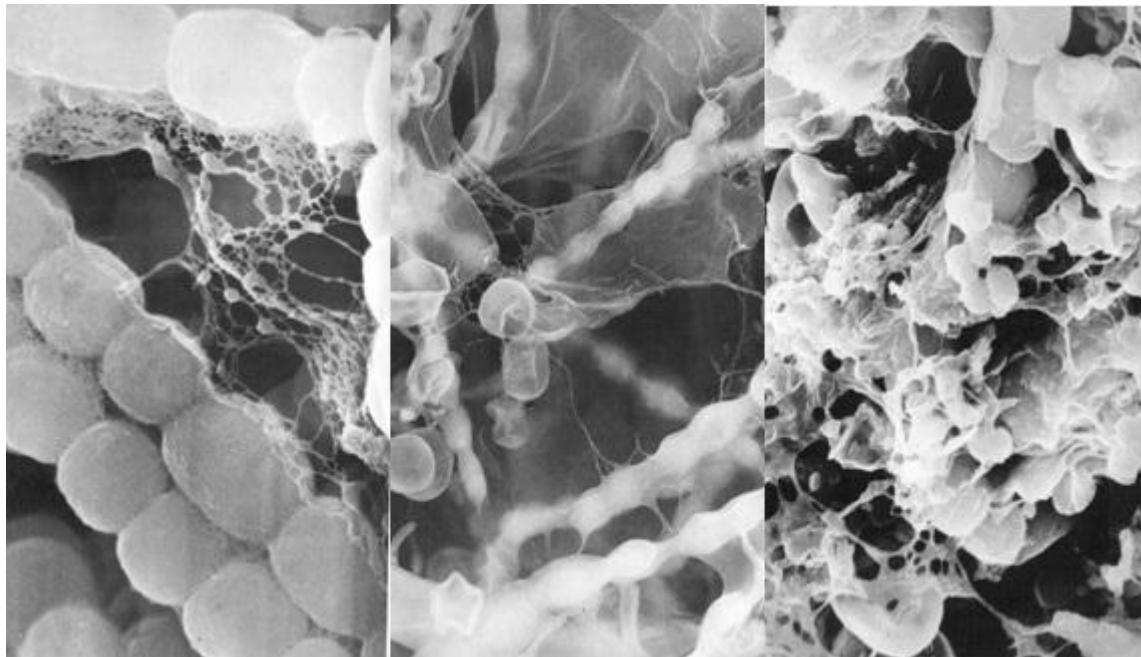
Cijanobakterijski sojevi izolovani iz lesa ispoljavaju određene morfološke i ekofiziološke karakteristike koje igraju ključnu ulogu u formiranju lesa. Slika 4. prikazuje površinu sa biološkom pokoricom u eksperimentalnim uslovima (cijanobakterijske sojeve izolovane iz biloške lesne pokorice nastale na pesku) (Büdel, 2002).



Slika 4: Površina sa biološkom pokoricom u eksperimentalnim uslovima (cijanobakterijski sojevi izolovani iz biloške lesne pokorice nastale na pesku) (Büdel, 2002)

Kod nekih cijanobakterija, rehidratacija, a ne sušenje je u stvari fatalan događaj. Da bi se zaštitile ćelije tokom rehidratacije, vodeni pritisak proteina i velike količine šećera trehaloze se sintetišu radi stabilizacije fosfolipidnih dvoslojnih ćelijskih membrana (Potts, 1996, 1999; Qiu et al., 2004).

Lepljivi omotači polisaharida izlučeni oko ćelija cijanobakterija pomažu u agregaciji lesa hvatanjem i cementiranjem čestica (Slika 5). Biofilm koji izlučuju cijanobakterije i zelene alge, u kombinaciji sa rizomima lišajeva i mahovina, hvata i vezuje sedimentne čestice, povećavajući veličinu nagomilanih čestica (Smalley et al., 2010). Kako se nagomilane čestice uvećavaju, one postaju teže, imaju relativno manju površinu i teže ih pomeraju vetar ili voda (Danin and Yaalon, 1980; Danin et al., 1989). Eolski procesi često raznose čestice za pustinjska zemljишta (Danin and Yaalon, 1982).



Slika 5: Sloj polisaharida rasprostranjen od strane cijanobakterija biološke lesne pokorice (Smalley, 2010)

Belnap (2001) je sumirao rezultate mnogih studija o biološkoj zemljišnoj pokorici (BZP) i ustanovio da vazduhom nošeni mulj i glina mogu da budu zarobljeni u lepljivim cijanobakterijskim omotačima, u površinama koje je nabacao mraz i u isturenim stabljikama mahovine i talusima lišajeva. Prikupljanje čestica mulja iz vazduha, predstavlja deo životne strategije organizama zemljišne pokorice. Zarobljene čestice mulja povećavaju kapacitet zadržavanja vode i obezbeđuju potrebne minerale za dalji rast biološke lesne pokorice (BLP) odnosno za dalje povećanje plodnosti zemljišta. Istovremeno, biološke lesne pokorice sprečavaju deflaciјu deponovane prašine. Zajedno sa zarobljenim česticama mulja, prisustvo služi cijanobakterija u pokorici smanjuje propustljivost zemljišta ili lesa. Na primer, cijanobakterijske komponente biološke zemljišne pokorice (BZP) brzo nabreknu, i do 13 puta više u odnosu na svoju suvu zapreminu (Shields and Durrell, 1964; Campbell, 1977), potencijalno zatvarajući protoke kroz površinu zemljišta (Smalley, 2009).

Poznato je da na Zemlji više padavina omogućava da se stvori više biomase biološke površine i od onda je ova biomasa glavni činilac stope erozije tla (Belnap et al., 2006). Ovo pitanje u vezi sa postojanjem vode "jeste pitanje koje povezuje" les i oblike života u vanzemaljskim sredinama, pa čak će i život biti potvrđen, voda neće morati da bude obavezna vrsta "padavine". Što se tiče činjenica da je formiranje lesa i sedimenata poput lesa najverovatnije povezano sa površinskim organizmima, neke metodološki inovirane tačke mogu biti uvedene. Ovo bi povećalo naše šanse da postavimo dobra naučna pitanja kada imamo priliku da koristimo vanzemaljske naseljenike: Gde bi trebalo da se naseljenici nasele? Ako znamo gde (les i naslage poput lesa) da istražimo potencijalne biološke dokaze, dalja pitanja su: šta i kako da tražimo i istražujemo? (Svirčev et al., 2011).

Biološka lesna pokorica i proces stvaranja lesa

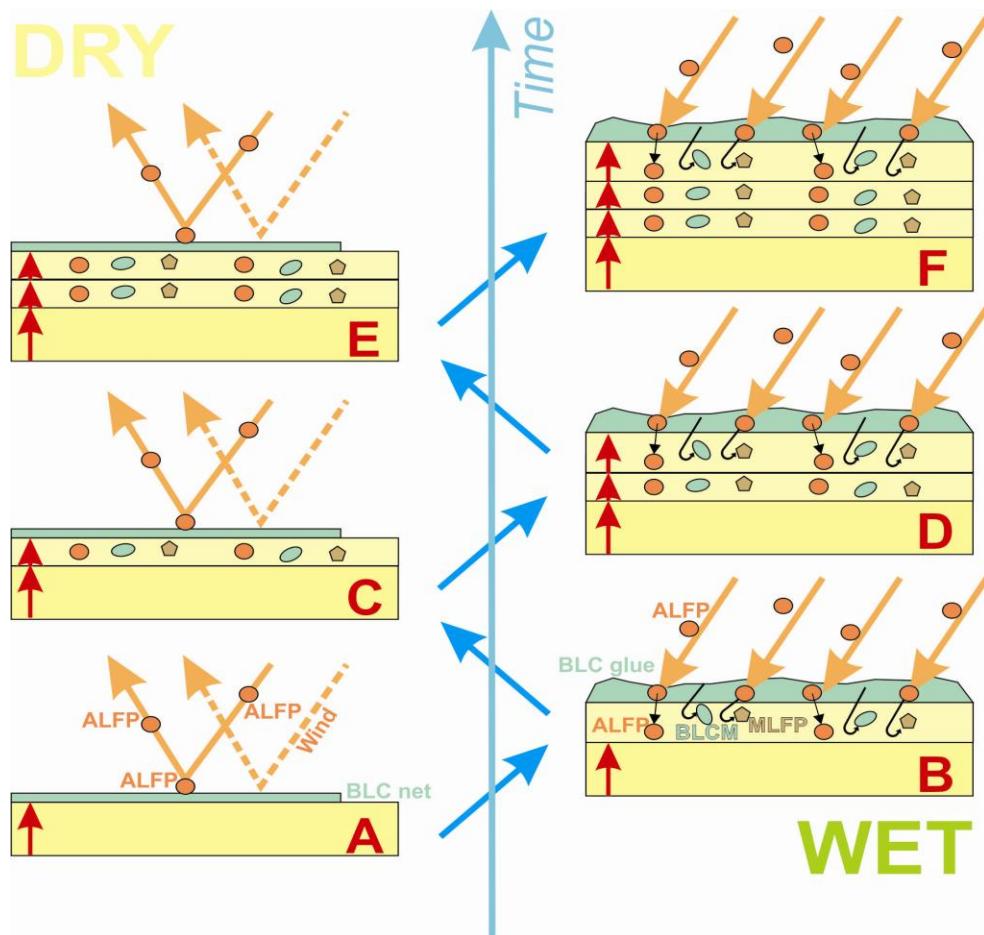
Biološka lesna pokorica (BLP), kao jedan od tipova površine sa biološkom pokoricom (PBP) može imati veoma važnu ulogu u vezivanju (izbor veličine zrna), akumulaciji (za vreme mokre faze), u dugogodišnjoj eroziji vetra i zaštiti akumulacije (u trajanju suve faze). Istraga biološke lesne pokorice može biti povezana sa veličinom lesnog zrna, lesnom distribucijom, lesnom debljinom i paleoklimatskom rekonstrukcijom. Zavisnost stvaranja lesa od biološke lesne pokorice izgleda da je najefikasnija, ali bilo koji drugi vid lesnih kora takođe može napraviti sličan mokro-suvi scenario stvaranja lesa sa efikasnošću koja se odnosi na viskoznost površine kore (Smalley et al., 2010).

Proces stvaranja lesa je pod velikim uticajem metaboličke aktivnosti mikroorganizama biološke lesne pokorice uglavnom preko polisaharida biološke lesne pokorice (Slika 6). Lepljivi polisaharidni lepak na topografskoj površini, koji uglavnom izluče cijanobakterije, može da zarobi čestice mulja koje se nalaze u prašnjavoj atmosferi (Slika 6: B,D,F-BLC lepak). Ovo sakupljanje čestica iz vazduha koje formiraju les (ALFP) je deo životne strategije organizama u kori u onoj meri u kojoj im to pruža neophodne minerale za dalji rast biološke lesne pokorice, što zauzvrat obezbeđuje zaštitu od isušivanja tokom sušnih perioda. Istovremeno, polisaharidi koje izlučuju organizmi kore, vezuju čestice unutar zone biološke lesne pokorice, formirajući kohezivnu koru koja je otporna na eroziju vetra i vode tokom sušnih perioda (Slika 6: A,C,E-BLC mreža). Metabolisane čestice (Slika 6: MLFP), zajedno sa metabolitima (Slika 6: BLCM) i neiskorišćenim česticama iz vazduha (Slika 6: ALFP) postaju gornji lesni sediment prekriven biološkom lesnom pokoricom (Slika 6: C,E). Tokom vlažnih perioda (Slika 6), nagomilavanje prašine i čestica koje formiraju les veoma je intenzivno (Slika 6: B,D,F). Tokom sušnih faza (Slika 6), biološka lesna pokorica postaje veoma stabilna i razvija otpornu površinu koja sprečava eroziju vetra i vode (Slika 6: A,C,E). Period isušivanja podstiče stvaranje polisaharida cijanobakterija, koji služe kao zaštitni molekuli od vodenog pritiska. U prisustvu vode tokom vlažne faze, polisaharidi proizvedeni u tranziciji od mokre do suve faze i akumulirani tokom suve faze postaju novi lepljivi sloj za akumulaciju prašine i pokreću novi ciklus stvaranja lesa (Slika 6: B,D,F) (Smalley et al., 2010).

Ovaj model sugerije da je formiranje lesa blisko povezano sa biološkom lesnom pokoricom i cijanobakterijskom aktivnosti po mogućству u kombinaciji sa suvim i vlažnim smenama uslova. Ovaj scenario dalje zahteva detaljnju studiju kako bi ga dodali na listu mogućih značajnih mehanizama stvaranja lesa koji bi možda opisali ne samo stvaranje čestica, prilagođavanje, transport i taloženje tokom stvaranja lesa, već bi moglo i da stavi akcenat na lesnu granulometriju, debljinu, propustljivost, geografski zonalitet, prilagođavanje na predeo i na njegovu podložnost promenama pod uticajem ljudskog faktora. Pošto biološka lesna pokorica može biti veoma pod uticajem lokalnih izmena mineralnih i organskih jedinjenja, kao i vlage i temperature, ovo zapažanje takođe postavlja pitanja o značaju lokalnih ekoloških uslova na lesno taloženje (Smalley et al., 2010).

S obzirom da je biološka lesna pokorica uobičajena na trenutnim lesnim površinama koje čine prve faze vegetacije i takođe igra ključnu ulogu u sprečavanju erozije veta i vode na tlu na kom se nalazi, predloženi scenario o zavisnosti stvaranja lesa od biološke lesne pokorice bi stoga trebalo da se ozbiljno razmotri kao jedan od osnova za formiranje lesa u polu-sušnim područjima (Smalley et al., 2010).

Na slici 7 prikazani su suvi uzorci BLC sa odgovarajućim vlažnim fazama (Smalley et al., 2010).



Slika 6. Mogući model uticaja biološke lesne pokorice na lesno formiranje: A. Početak suve sezone - mreža biološke lesne pokorice sprečava akumulaciju (puna linija) i smanjenje (ispredidana linija); B. Početak sezone vlage - polisaharidni lepak hvata prašinu iz vazduha; C i E. Sledеće sušne sezone - očuvanje nagomilanih slojeva iz ranijih vlažnih sezona, odnosno, nema smanjivanja, D i F. Sledеće vlažne sezone - formiranje novog polisaharidnog lepka povezanog sa prikupljanjem prašine iz vazduha i transformacijom starijih slojeva nagomilane prašine na protolesne naslage. BLC - biološka lesna pokorica; BLC lepak - lepljivi polisaharidi proizvedeni od strane BLC organizama; ALFP - čestice iz vazduha koje formiraju les; BLCM - metaboliti, biomarkeri; MLFP - metabolisane čestice koje formiraju les; (Smalley et al., 2010)



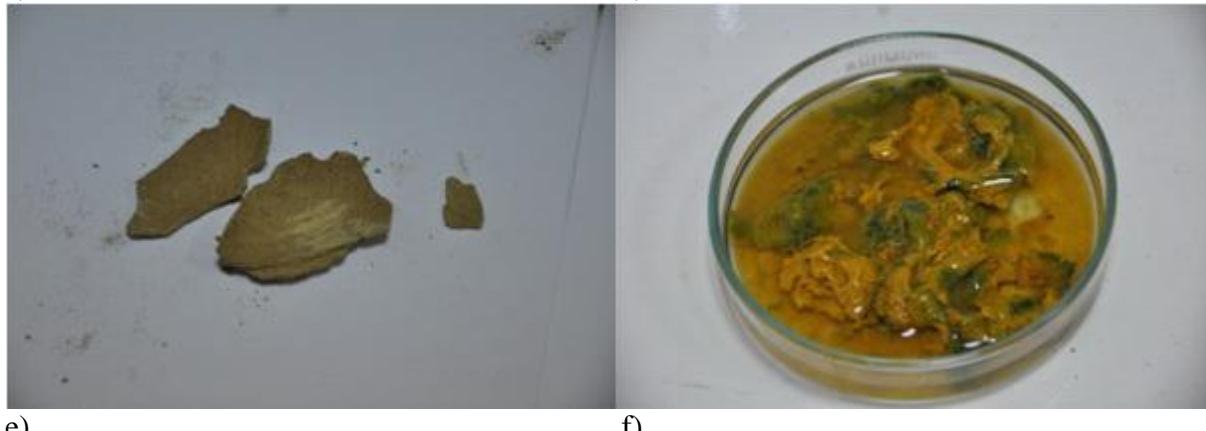
a)

b)



c)

d)



e)

f)

Slika 7: Suvi uzorci BLC (a, c, e) sa odgovarajućim vlažnim fazama (b, d, f)
(Smalley et al., 2010)

4. ŠTA SU BIOMARKERI

Biomarker je jedinjenje koje bi moglo da ukaže na biološko poreklo organskih materija. Kada su molekularna struktura i izotopski sastav identifikovani, izvor biomarkera, njihov kompozicioni karakter i raspodela bi se mogli proučiti čak i do nivoa vrste. Molekularni fosili su primenjeni u studijama o paleoekološkim i paleoklimatskim promenama u lesnom paleolitskom nastajanju (Xie et al., 2002; Zhang et al., 2008). Različiti postojeći oblici drevnih cijanobakterija su pokazali da sadrže odnos ugljovodonika sličan onoj u sedimentima (Gelpi et al., 1970; Summons, 1993; Brassel, 1994).

Biomarkeri i paleorekonstrukcija okoline. Potraga za cijanobakterijskim, algalnim i bakterijskim biomarkerima u lesu

Opstankom u biološkoj lesnoj pokorici, cijanobakterije i neki drugi mikroorganizmi ostavljaju svoje metaboličke proizvode (ispušetni metaboliti, Slika 6: BLCM) u vidu različitih molekula. Neki od njih su otporni na degradaciju i mogu poslužiti kao vrsta markera. Ako su ti metaboliti vrste ili specifična grupa, mogu se koristiti kao veoma dobri biomarkeri u pogledu paleoklimatskih i paleoekoloških uslova (Smalley et al., 2010).

Razgranati alkani i druga nepolarna jedinjenja koja proizvode cijanobakterije su uključena u paleoklimatsku rekonstrukciju i istraživanje ekstremnih sredina (Dembitsky et al., 2001).

Neki ugljovodonici kratkog lanca (C16-C21), amino kiseline nalik mikosporinima (MAAs) i dimetilalkani (DMAAs) su identifikovani u cijanobakterijskim kulturama (Han et al., 1968; Gelpi et al., 1970; Koster et al., 1999; Dembitsky et al., 2001).

Neki drugi biomarkeri cijanobakterija su takođe pronađeni: karotenoidi (Damste et al., 1997), porfirini (Huseby and Ocampo, 1997), razni hopanoidi (Summons et al., 1999) i scitonemin, ekstracelularni pigment za zaštitu od Sunca koji se akumulira u cijanobakterijskim omotačima i apsorbuje neke od jakih sunčevih zraka u bliskoj ultraljubičastoj oblasti (370-384 nm) (Leavitt et al., 1997; Dillon and Castenholz, 1999).

Svi ovi biomarkeri mogu se utvrditi u fosilnim zapisima (Cockell, 1998; Cockell and Knowland, 1999; Brocks et al., 2003; Simoneit, 2004; Edwards et al., 2005). Stoga, kada se nalaze u geološkim uzorcima, ova jedinjenja služe kao biomarkeri za cijanobakterije (Dachs et al., 1998). Deamer (1997) stavlja poreklo i sudbinu porfirina u astrobiološki kontekst (Svirčev et al., 2011).

Biološke kore, u kojima se javljaju cijanobakterije, su takođe često snažno povezane sa nebiološkim (fizičkim) korama poput onih uzrokovanih kišom, erozijskim i taložnim ili hemijskim korama (Valentin and Bresson, 1992).

Edwards et al. (2005) prijavili su rezultate eksperimenata na postojećim antarktičkim ekstremofilnim cijanobakterijama koristeći niz Raman ekscitacionih talasnih dužina za detekciju molekularnih spektralnih biopotpisa, koji se mogu smatrati kao odgovarajuća baza podataka za prepoznavanje bioorganske modifikacije geoloških slojeva. Neki procesi unutar zemlje definišu tip biološke lesne pokorice, a tip biološke lesne pokorice zatim definiše strukturu površine.

Najbitnija akumulacija lesa:

- 1) Postoji nekoliko različitih tipova cijanobakterijskih kora. Kako funkcioniše njihov uticaj strukture na lesno formiranje i lesne osobine?
- 2) Da li cijanobakterijski polisaharid čini selektivno nagomilavanje čestica?
- 3) Da li mokro-suva smena utiče na debljinu lesne naslage? (Edwards et al., 2005)

Cijanobakterije u biološkoj lesnoj pokorici proizvode lepljivi biofilm koji uglavnom sadrži različite polisaharide, uključujući različite ugljovodonike kratkog lanca (C7-C14) i ugljovodonike dugog lanca (C15-C30), kao i različite ciklopentane i cikloheksane (Gelpi et al., 1970; Grimalt et al., 1992; Dembitsky et al., 1999). Neki monometilalkani (MMAs) i dimetilalkani (DMAs) kratkog lanca (C16-C21) su uobičajeni u geološkim uzorcima. Ova jedinjenja su identifikovana u modernim i Holocenim mikrobiološkim uzorcima (Shiea et al., 1990; Kenig et al., 1995; Kenig, 2000), drevnim sedimentima (Summons, 1987; Summons et al., 1988a,b; Summons and Walter, 1990; Hold et al., 1999; Audino et al., 2001) i sirovoj nafti (Fowler and Douglas, 1987; Kissin, 1987; Warton et al., 1997). Nasuprot tome, poreklo homologne serije dugo-lančanih monometilalkana (> C22) nije dobro definisano, čak i ako su bakterijski kandidati favorizovani (van Kaam-Peters and Sinninghe Damsté, 1997; Logan et al., 1999; Kenig, 2000).

Takođe, poznati biomarkeri su različiti lipidi. Neke cijanobakterije i bakterije proizvode različite hopanoide (bakteriohopanpolioli (BHP) (Rohmer et al., 1984; Simonin et al., 1996). Jedinstveni biomarkeri za cijanobakterijsku kiseoničnu fotosintezu jesu 2-metilhopani (Summons et al., 1999).

Od 58 sojeva kultivisanih sa različitim ekološkim lokaliteta (jezerskih sedimenata, bakterijskog dna jezera, hidrotermalnih izvora, topnih i hladnih pustinja, endolita, hipolita i stromatolitske strukture) 49 proizvode BHPs, a 21 proizvede C-2 metilisane BHPs (2-metilhopane). n-alkani su hemijski i biološki otporni i često se nalaze u sedimentima u količinama dovoljnim za analizu i zbog toga, oni su takođe uobičajeni biomarkeri (Talbot et al., 2007).

Ne postoje naučni radovi koji koriste biomarkere za pronalaženje tragova bioloških zemljišnih pokorica u lesnim naslagama. Istraživanje se usmerava na razvoj i prilagođavanje raspoloživih metoda i integraciju drugih lesnih istraživanja u cilju boljeg razumevanja uloge biološke zemljišne pokorice u evoluciji zemljišta i paleoklimatskoj rekonstrukciji (Büdel, 2002).

Veoma ekstremni faktori sredine na vanzemaljskim solarnim telima bi zahtevali sintezu biomolekularnih protektanata za moguće organizme u ekstremnim staništima (Edwards et al., 1998; Wynn-Williams and Edwards 2000). Suvo-hladni uslovi su važni za očuvanje biomolekula, kao što postoji primer standardnog očuvanja mikroorganizama liofilizacijom i skladištenja biohemikalija zamrzavanjem. Proces sušenja je deo uspešne fosilizacije organizama i očuvanja njihovih organskih derivata. Pustinje Antarktika su stoga dobro mesto za procenu dugovečnosti takvih molekula pod ekstremnim uticajima UV zraka i veoma niskih temperatura. Uticaj UV zraka je možda imao uticaj na ranu evoluciju života mikroba na Zemlji i mogući razvoj i opstanak života na drugim ranim nebeskim telima (Vorobyova et al., 1997; Wynn-Williams et al., 2000).

Treća Epoha McKay-evog hidrološkog modela za Mars uključuje potencijalni opstanak fotosintetskog sumpora i ne-sumpornih bakterija i cijanobakterija u hladno-suvom staništu, uključujući stromatolite u paleolitskim koritima jezera, korice od evaporata i endolitske zajednice u providnim stenama (McKay, 1997). Iskusni u detekciji ekološki značajnih cijanobakterijskih pigmenata u polarnom regionu, Wynn-Williams et al. (1999) postavljaju sledeće pitanje: da li je moguće otkriti dokaze o ranijem fotosintetskom životu mikroba na površini solarnih tela korišćenjem neinvazivnih daljinskih tehnika (npr. laserska tehnologija) da bi se ispitali specifični vanzemaljski biotopi kao profili regolita, raniji stromatolitski ili endolitski slojevi mikroba paleolitskog korita jezera. Lesni sedimenti i oni poput lesa trebalo bi da budu dodati na ovu listu specifičnih vanzemaljskih biotopa. Ramanova spektroskopija, koristeći obližnje IC talasne dužine da smanji autofluorescentnost, bila bi pogodna tehnika planetarnih istraživanja (Wdowiak et al., 1995; Israel et al., 1999; Wynn-Williams and Edwards 2000; Treado 2003).

Ramanova spektrometrija bi mogla da bude deo paketa analitičkih instrumenata na površini nekih solarnih tela i ključna tehnologija za vanzemaljske sredine pogodne za formiranje lesa. Trenutni pristupi obuhvataju analizu meteorita, ispitivanje navodnih marsovskih zemaljskih analogija regolita i staništa ekstremofila na Antarktiku (Edwards et al., 2005).

Ramanovom spektroskopijom lesni sedimenti i oni poput lesa, mogu se smatrati pogodnim modelom za prepoznavanje bioorganskih modifikacija geoloških slojeva. Ramanovi spektri izoprenoida i cijanobakterijskih hopanoida, pronađeni u vrhovima rožnaca starih 3,5 milijardi godina (Summons et al., 1999) mogu biti ključni činioci za buduće misije na Marsu sa opremom za bušenje koja slojevito skenira. Pogodni slojevi se mogu očekivati u paleolitskim koritima jezera (Doran et al., 1998; Cabrol et al., 1999) koja su preostala od vodenih površina Marsove Hesperijske epohe (McKay, 1997), ali se takođe predlažu lesni slojevi za mlađe fosile ili čak žive organizme (Svirčev et al., 2011).

Osim Ramanove spektrometrije, racemizacija aminokiselina (AAR) je takođe obećavajuća metoda. Aminokiseline su u osnovi zemaljske biohemije, prisutne svuda u zemaljskom životu, i lako se detektuju preko visoko naprednih instrumenata sa osetljivošću izraženom u delovima triliona što ih čini idealnom biomolekularnom klasom tokom planetarnih istraživanja (Aubrey, 2008). Osim toga, hiralnost aminokiselina dozvoljava diskriminaciju između jedinjenja proizvedenih abiotički i onih koji su formirani biološkim procesima, i ove mere mogu da obezbede nedvosmislen dokaz o nestalom ili postojećem životu. Stepen očuvanja aminokiselina iz izumrle biote će biti mnogo veći u blizini površine Marsa zbog karakteristično niskih temperatura i suve klime. Ekstrapolacije zemaljskih modela stabilnosti aminokiselina pokazuju mogućnost za očuvanje u okviru sulfatnih minerala tokom milijardi godina na Marsu (Aubrey, 2008). Najbolja šansa da se otkrije dokaz o vanzemaljskom životu je fokusiranje na glavne zemaljske biomolekularne klase, kao što su aminokiseline koje su već pronađene kao glavne mete u potrazi za biološkim entitetima u nekim lesnim sedimentima na Zemlji (Svirčev et al., 2011).

Fotosintetički pigmenti – Fikobiliproteini

Fotosintetički aparat sadrži oko 30 pigmenta. Pomoćni pigmenti su: pigment iz grupe hlorofila - hlorofil a, karotenoidni pigmenti u tilakoidu i **fikobiliproteini**: fikoeritrin, fikocijanin i alofikocijanin. Kod cijanobakterija i crvenih algi (Rhodophyta) fikobiliproteini zajedno povezani formiraju fikobilizome koji su pričvršćeni na površini tilakoida. Fikobiliproteini imaju modru, zelenu, žutu, crvenu ili smeđu boju

(http://www2.dbe.pmf.uns.ac.rs/PDF/bag/3.BAG-Cyanophyta_2009_10.pdf).

Fikobiliproteini su kao i karotenoidi, pomoćni fotosintetički pigmenti koji upijaju svetlost koju hlorofil ne prima, menjaju joj talasnu dužinu i usmeravaju je nakon toga na hlorofil (<http://sr.wikipedia.org/wiki/Fikobilini>).

Fikobiliproteini su proteini rastvorljivi u vodi prisutni u cijanobakterijama i nekim algama (npr. Rodophyta) koje upijaju svetlosnu energiju, a koja se zatim prenosi na hlorofile tokom fotosinteze. Fikobiliproteini su formirani od kompleksa proteina i kovalentno vezanih fikobilina koji deluju kao hromofori (deo koji upija svetlost). Oni su najvažniji činioци fikobilizoma (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobiliprotein>).

Fikobilini

Fikobilini (iz grčkog: *phycos* što znači "alge", i iz latinskog: *bilis* što značie "žuč") su hromofori (molekuli koji vezuju svetlost) koji se nalaze u cijanobakterijama i u hloroplastima crvenih algi. Oni su jedinstveni među fotosintetičkim pigmentima po tome što su vezani za određene proteine koji su rastvorljivi u vodi, poznati kao fikobiliproteini. Fikobiliproteini dalje prenose svetlosnu energiju do hlorofila za fotosintezu. Fikobilini su posebno efikasni u apsorbovanju crvene, narandžaste, žute i zelene svetlosti, talasne dužine koje nisu dobro apsorbowane od strane hlorofila a. Organizmi koji rastu u plitkim vodama imaju tendenciju da sadrže fikobiline koji mogu da apsorbuju žuto-crvenu svetlost, dok oni na većoj dubini često sadrže više fikobilina koji mogu da apsorbuju zelenu svetlost, koji je relativno više zastupljen tamo. Fikobilini vrše fluorescenciju na određenoj talasnoj dužini i stoga se često koriste u istraživanjima kao hemijski indikatori, na primer, vezujući fikobiliproteine za antitela u tehničkoj poznavao kao imunofluorescencija (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilin>).

Postoje četiri tipa fikobilina:

1. Fikoeritobilin, koji je crven
2. Fikourobilin, koji je narandžast
3. Fikoviolobilin (poznat i kao fikobiliviolin) nalazi se u fikoeritrocijaninu
4. Fikocijanobilin (poznat i kao fikobiliverdin), koji je plav

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilin>)

Fikocijanobilin je plavi fikobilin, odnosno, tetrapirolski hromofor nađen u cijanobakterijama i u hloroplastu crvenih algi. Fikocijanobilin je prisutan samo u fikobiliproteinima alofikocijaninu i fikocijaninu, kod kojih je on krajnji prijemnik energije. Kovalentno je vezan sa ovim fikobiliproteinima tioetarskom vezom (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycocyanobilin>).

Fikobilini se mogu naći u različitim kombinacijama uz fikobiliproteine čime se postižu specifična spektroskopska svojstva (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilin>).

Strukturni odnos prema drugim molekulima:

U hemijskom smislu, fikobilini se sastoje od otvorenog lanca četiri pirolna prstena (*tetraapirol*) i strukturno su slični pigmentu žuči, bilirubinu, što objašnjava samo ime. (Konformacija bilirubina je takođe pod uticajem svetlosti.) Fikobilini su takođe blisko povezani sa hromoforima biljnog pigmenta fitohroma za detekciju svetlosti, koji takođe sadrže otvoreni lanac četiri pirola. Hlorofili su takođe sačinjeni od četiri pirola, ali su kod njih piroli povezani u prsten i sadrže atom metala u centru (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilin>).

Šta su fikobilizomi

Fikobilizomi su antene za prijem svetlosti kod cijanobakterija i crvenih algi (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilisome>).

Opšta struktura fikobilizoma:

Fikobilizomi su proteinski kompleksi (sadrže do 600 polipeptida) koji su pričvršćeni za tilakoidne membrane. Sačinjeni su od mnoštva hromoforiranih proteina, fikobiliproteina, i njihovih povezanih lanaca polipeptida. Svaki fikobilizom se satoji od jezgra koje je sačinjeno od alofikocijanina, od kojih je nekoliko spoljno orijentisanih nizova sačinjeno od mnoštva diskova fikocijanina i fikoeritrina ili fikoeritrocijanina. Spektralna svojstva fikobiliproteina su uglavnom uslovljena njihovim graditeljskim grupama, linearnim tetraapirolima kao što su fikobilini uključujući fikocijanobilin, fikoeritrobilin, fikourobilin i fikobiliviolin. Spektralne osobine pomenutih fikobilina su pod uticajem njihove proteinske okoline (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilisome>).

Funkcionalnost:

Svaki fikobiliprotein ima specifičnu absorpciju i emisioni maksimum fluorescencije u okviru vidljivog dela spektra svestnosti. Stoga, njihovo prisustvo i određeni raspored unutar fikobilizoma omogućava absorpciju i jednosmerni transfer svetlosne energije do hlorofila *a*. Na ovaj način ćelije primaju dostupne talasne dužine svetlosti (u opsegu 500-600 nm), koja je nedostupna za hlorofil, i koriste energiju za fotosintezu. Ovo je posebno prednost u dubljim vodenim prostranstvima, gde se svetlost veće talasne dužine teže prenosi i stoga je manje dostupna direktno za hlorofil. Geometrijski raspored fikobilizoma je veoma elegantan i rezultira u efikasnosti energetskog transfera od 95% (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilisome>).

Evolucija i raznolikost:

Postoji mnogo varijacija na osnovnoj strukturi fikobilizoma. Njihov oblik može biti hemidiskoidal (u cijanobakterijama) ili hemielipsoid (u crvenih algi). Sami fikobiliproteini pokazuju mali niz evolucije zbog njihove veoma ograničene funkcionalnosti (apsorpcija i transfer specifičnih talasnih dužina). Kod nekih vrsta cijanobakterija, kada su prisutni i fikocijanin i

fikoeritrin, fikobilizomi mogu pretrpeti značajno restrukturiranje kao reakciju na boju svetlosti. Na zelenom svetu dalji delovi niza su sačinjeni od fikoeritrina crvene boje, koji bolje upija zelenu svetlost. Na crvenom svetu, ovo je zamenjeno fikocijaninom plave boje, koji bolje apsorbuje crvenu svetlost. Ovaj reverzibilni proces je poznat kao komplementarna hromatska adaptacija. Fikobilizomi imaju apsorpcioni i emisioni profil. Oni mogu biti do 200 puta svetlijii, obezbeđujući veći signal po pojedinačnom vezivanju. Ovo svojstvo omogućava otkrivanje ciljnih molekula niskog nivoa ili retkih događaja (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilisome>).

Najvažniji **fikobiliproteini** su:

- **Fikoeritrin**
- **Fikocijanin**
- **Alofikocijanin**
- **Fikoeritrocijanin**

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobiliprotein>).

Boja modrozelenih algi u masi zavisi od zastupljenosti fikobiliproteinskih pigmenata. Fikocijanin i hlorofil daju modrozelenu boju. Različiti odnosi fikocijanina i fikoeritrina daju od purpurne do crvene boje. Usled apsorpcije skoro celog vidljivog spektra od strane pigmenata, modrozelene alge imaju crnu boju. Boja takođe zavisi od uslova spoljašnje sredine (http://www2.dbe.pmf.uns.ac.rs/PDF/bag/3.BAG-Cyanophyta_2009_10.pdf).

Fikoeritrin

Fikoeritrin je crveni protein iz porodice fikobiliproteina koji upija svetlost, prisutan u cijanobakterijama i crvenim algama. Kao i svi fikobiliproteini, fikoeritrin se sastoji od proteinskog dela, organizovanog u heksametričnu strukturu alfa i beta lanaca, kovalentno vezujućih hromofora zvanih fikobilini. U porodici fikoeritrina, fikobilini su: fikeritrobilin, tipičan fikoeritrin akceptor hromofor, a ponekad fikourobilin (morski organizmi). Fikoeritri su fikobiliproteini koji vezuju najveći broj fikobilina. Apsorpcioni pikovi u vidljivom spektru svetlosti su na 495 i 545/566 nm, u zavisnosti od vezanih hromofora i posmatranih organizama. Jak emisioni pik nalazi se na 575 ± 10 nm. (tj. fikoeritrin apsorbuje plavo-zelenu/žučkastu svetlost i emituje pomalo narandžasto-žutu svetlost) (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrin>).

Fikoeritrin je dodatni pigment glavnim pigmentima hlorofila odgovornih za fotosintezu. Fikoeritrin vezuje svetlosnu energiju, a zatim je prenosi do reakcionog centra para hlorofila, u većini slučajeva preko fikobiliproteina fikocijanina i alofikocijanina. R-Fikoeritrin je koristan u laboratoriji kao indikator zasnovan na fluorescenciji za detekciju prisustva cijanobakterija i za obeležavanje antitela u tehnici zvanoj imunofluorescencija, a ima i drugih upotreba. Postoje i druge vrste fikoeritrina, kao što su B-Fikoeritrin, koji ima neznatno drugačije spektralne osobine. B-Fikoeritrin snažno apsorbuje na oko 545 nm (blago žučkasto-zelena), a emituje snažno na 572 nm (žuta), i mogao bi biti prikladniji za neke instrumente. B-Fikoeritrin takođe može biti manje "lepljiv" od R-Fikoeritrina i manje doprinosi ambijentalnom signalu zbog neodređenog vezivanja u specifičnim aplikacijama. R-Fikoeritrin i B-Fikoeritrin su među najsjajnijim fluorescentnim bojama ikada identifikovanih (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrin>).

Fikoeritrobilin je crveni fikobilin, odnosno otvoreni tetrafiolski hromofor pronađen u cijanobakterijama i u hloroplastima crvenih algi. Fikoeritrobilin je prisutan u fikobiliproteinu fikoeritrinu, u kojima je terminalni akceptor energije. Količina fikoeritrobilina u fikoeritrinima veoma varira u zavisnosti od posmatranog organizma. U nekim Rodofitama i okeanskim cijanobakterijama, fikoeritrobilin je takođe prisutan u fikocijaninu, kasnije nazvanim R-Fikocijanin. Kao i svi fikobilini, fikoeritrobilin je kovalentno povezan sa ovim fikobiliproteinima tioetarskom vezom (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrobilin>).

Fikourobilin je tetrafiolski narandžasti molekul uključen u fotosintezu cijanobakterija i crvenih algi. Ovaj hromofor je vezan za fikobiliprotein fikoeritrin, distalna komponenta sistema za upijanje svetlosti cijanobakterija i crvenih algi (fikobilizomi) (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycourobilin>).

Kada je vezan za fikoeritrin, fikourobilin pokazuje apsorcioni maksimum oko 495 nm. Ovaj hromofor je uvek hromofor donator fikoeritrina, jer je hromofor akceptor uvek fikoeritrobilin. Takođe se može povezati sa polipeptidima fikobilizoma, u kojima njegova precizna uloga ostaje nejasna (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycourobilin>).

Fikourobilin se može naći u morskim organizmima koji sadrže fikobilizome, koji im omogućava da efikasno apsorbuju plavo-zelenu svetlost. U sveprisutnoj morskoj cijanobakteriji *Synechococcus*-u, količina fikourobilina u fikobilizomima povezana je sa ekološkim delovima koje ćelije naseljavaju: u blizini obale *Synechococcus* je prilično bogat fikourobilinom, dok obalni *Synechococcus* sadrži vrlo malo ili nimalo fikourobilina. Ovo predstavlja značajno prilagođavanje sistema upijanja svetlosti kod cijanobakterija, jer su okeanske vode relativno bogatije plavom svetlošću nego kopnene vode (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycourobilin>).

Fikocijanin

Fikocijanin je pigmentsko proteinski kompleks iz porodice fikobiliproteina koji upija svetlost, zajedno sa alofikocijaninom i fikoeritrinom. To je dodatni pigment hlorofilu. Svi fikobiliproteini su rastvorljivi u vodi i zbog toga ne mogu postojati unutar membrane kao karotenoidi, već se spajaju formirajući klasteri koji se pridržavaju za membranu i zovu se fikobilizomi. Fikocijanin je karakteristično svetlo plave boje, apsorbuje narandžastu i crvenu svetlost, naročito blizu 620 nm (zavisno od toga koji je tip), a emituje fluorescenciju na oko 650 nm (takođe u zavisnosti od toga koji je tip) (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycocyanin>).

Fikocijanini se nalaze u cijanobakterijama (ranije pod nazivom plavo-zelene alge). Fikobiliproteini imaju fluorescentna svojstva koja se koriste u opremi za imunotest. Naziv fikocijanin je porekлом iz grčkog jezika, *phycos* znači "alge", a *cyanin* potiče od engleske reči "cyan" (tirkizna), što konvencionalno znači nijansu plavo-zelene (blizu "aqua"), a potiče od grčke reči *kyanos*, što znači nešto drugačiju boju: "tamno plava". Fikobiliproteini su sačinjeni od podjedinica koje imaju proteinsku rešetku na koju su linearno vezani tetrafiolski hromofori (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycocyanin>).

Alofikocijanin

Alofikocijanin (iz grčkog: *allos* što znači "drugi", *phycos* što znači "alge", i *kyanos* što znači "plavo") je protein iz fikobiliproteinske porodice koja ima mogućnost upijanja svetlosti, zajedno sa fikocijaninom, fikoeritrinom i fikoeritrocijaninom. To je dodatni pigment hlorofilu. Svi alofikocijanini su rastvorljivi u vodi i zbog toga ne mogu postojati unutar membrane kao karotenoidi, već se spajaju formirajući klastere koji se pridržavaju za membranu i zovu se fikobilizomi. Alofikocijanin apsorbuje i emituje na većim talasnim dužinama nego Fikocijanin C ili Fikocijanin R. Alofikocijanin apsorbuje i emituje crvenu svetlost (650 i 660 nm max, respektivno), i lako se nalazi u cijanobakterijama (takođe zvane plavo-zelene alge) i u crvenim algama (<http://en.wikipedia.org/wiki/Allophycocyanin>).

Fikoeritrocijanin

Fikoeritrocijanin je vrsta fikobiliproteina, ružičasti hromoprotein uključen u fotosintezu nekih cijanobakterija. Ovaj hromoprotein se sastoji od alfa i beta podjedinica, obično sažetih kao heksamer. Alfa-fikoeritrocijanin sadrži fikoviobilin, ljubičasti bilin, a beta-fikoeritrocijanin sadrži dva fikocijanobilina, plave biline. Fikoeritrocijanin je sličan fikocijaninu, važnoj komponenti kompleksa vezivanja svetlosti (fikobilizom) cijanobakterija i crvenih algi. Kako je samo fikocijanobilin kovalentno vezan sa fikocijaninom, što dovodi do apsorpcionog maksimuma oko 620 nm, fikoeritrocijanin sadrži i fikoviobilin i fikocijanobilin, što dovodi do apsorpcionog maksimuma oko 575 nm. Pošto i fikoeritrocijanin i fikocijanin imaju fikocijanobilin koji ima ulogu krajnjeg prijemnika energetskog transfera, oni vrše fluorescenciju na oko 635 nm, što se apsorbuje od strane alofikocijanina koji imaju maksimalnu apsorpciju oko 650 nm i maksimalnu fluorescenciju oko 670 nm. Konačno, svetlosna energija apsorbovana od strane fikoeritrocijanina prenosi se do fotosintetskog reakcionog centra (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrocyanin>).

Hopanoidi

Hopanoidi su pentaciklična jedinjenja (sadrže 5 prstenova) čija je primarna funkcija da se poboljša snaga plazme membrane i čvrstina u bakteriji. Kod eukariota (uključujući čoveka) holesterol služi za sličnu funkciju. Ovaj odnos između biohemijske strukture i ćelijske funkcije se može videti u sličnosti osnovnih struktura diploptina, hopanoidno jedinjenje nađeno u nekim prokariotskim ćelijskim membranama, i holesterola, sterol jedinjenje nađeno u eukariotskim membranama (<http://en.wikipedia.org/wiki/Hopanoids>).

Organske materije okarakterisane su specifičnim biomarkerima: hopanoidi (pentaciklični triterpani) – iz membranskih lipida prokariota (bakterija), gde pridonose čvrstoći – biomarkeri hopani(http://geol.pmf.hr/~jsremac/predavanja/primijenjena_paeontologija/17_moderne%20metode_pal.pdf).

U mnogim bakterijama, hopanoidi mogu da igraju važnu ulogu u pragođavanju propustljivosti ćelijske membrane i adaptacije u ekstremnim uslovima okoline. Oni su formirani u anteni hife – noseća struktura spore – u prokariotskim zemljišnim bakterijama *Streptomyces*, gde se smanjuje gubitak vode kroz membranu u vazduhu. Ovo je fiziološka adaptacija, ne sa kojima se suočava

većina bakterija koje žive u vodi, već slična adaptacijama koje su potrebne eukariotskim gljivicama koje proizvode vazdušaste spore koje imaju hife (<http://en.wikipedia.org/wiki/Hopanoids>).

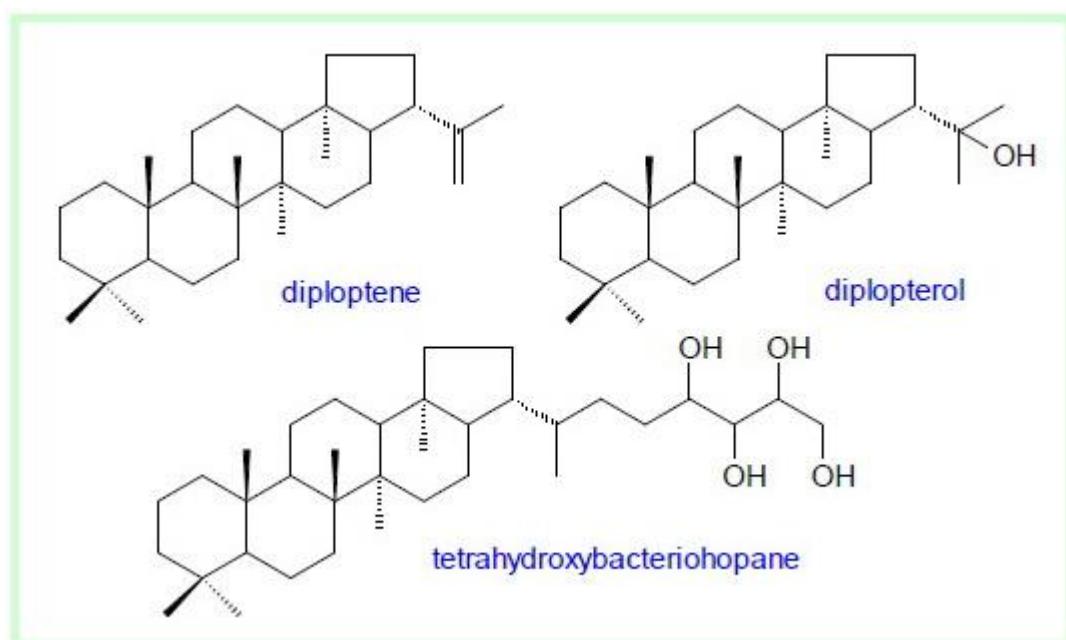
U etanol fermentaciji bakterije *Zymomonas mobilis*, hopanoidi mogu imati ulogu u adaptaciji ćelijske membrane u etanol akumulaciji i u temperaturnim promenama koje utiču na funkcije membrane. Niz hopanoida je pronađen u naftnim rezervoarima, gde su upotrebljeni kao biološki markeri (<http://en.wikipedia.org/wiki/Hopanoids>).

Hopanoidi – Hemija i Pojava

Bakterije i drugi prokariotski organizmi kao što su plavo-zelene alge uopšte ne sadrže ni jedan od konvencionalnih sterola pronađenih u biljkama i životinjama, već mnoge vrste imaju povezane molekule, tj. pentaciclični triterpenoid, baziran na hopan skeletu sa ciklopentan E-prstenom i nazvani su „hopanoidi“ (iz biljke koja pripada rodu *Hopea* iz koje su bili izolovani kao komponente smole tj. prirodne smole). Hopanoidi su ustvari lipidi i oni su prvi put otkriveni 1973. godine, kao jedinjenja odgovorna za usklađivanje (poravnanje) celuloznih mikrovlakana koje luči *Acetobacter xylinum* (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).

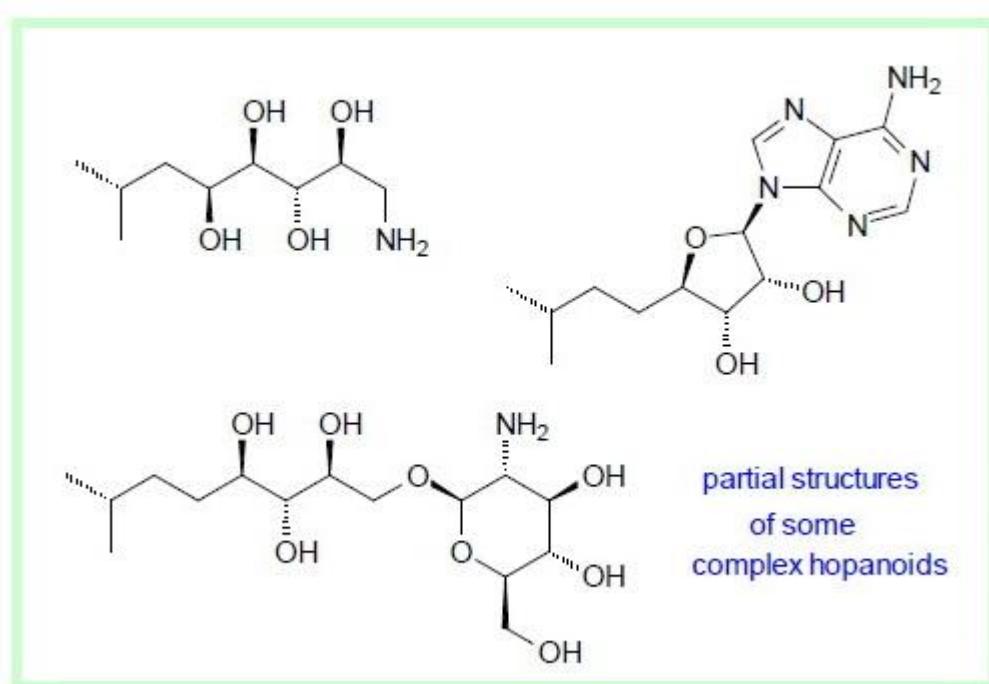
Strukture rezultujućeg prstena hopanoida su planarne, čvrste i hidrofobne sa dužinom koja odgovara polovini debljine dvoslojne membrane. Molekuli hopanoida moduliraju fluidnost i propustljivost fosfolipidnih membrana (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).

Hopanoidi su strukturalno veoma raznovrsni. Najjednostavniji C-30 hopanoid je diplopten i on se obično nalazi sa diplopterolom (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).



Slika 8: Struktura hopanoida: diploptena, diplopterola i tetra-hidroksi-bakterio-hopana (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>)

Možda je najzastupljeniji hopanoid u živim organizmima tetra-hidroksi-bakterio-hopan (bakterio-hopan-tetrol), tj. sa karakterističnim pet-ugljenim završnim (terminalnim) bočnim lancima, povezani ugljenično-ugljeničnom vezom u izopropil grupu hopanskog okvira i sa četiri hidroksilne grupe. Na Slici 8. prikazani su hopanoidi: diplopten, diplopterol i tetra-hidroksi-bakterio-hopan. Mnogi oblici ovoga su poznati, u kojima je terminal hidroksil (C35) grupa zamjenjena, na primer sa glikozidnom eter vezom za glugozamin, adenozin ili robozu. Neki hopanoidi su tako čvrsto vezani u organizme da oni nisu lako izdvojeni za strukturne analize, tako da je verovatno da će još mnogo tipova na kraju biti okarakterisani (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).



Slika 9: Parcijalne strukture nekih složenih hopanoida
(<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>)

Hopanoidi su najzastupljeni u aerobnim bakterijama (metanotrofi, heterotrofi i cijanobakterije), ali se oni takođe javljaju u nekim anaerobnim bakterijama, ali ne i u arhebakterijama i eukariotama. Posebno se javljaju kod velikog broja azotofiksirajućih bakterija (vrše fiksaciju-vezivanje atmosferskog azota). Međutim, nema čistih taksonomskih uzoraka koji su se još pojavili. U većini slučajeva, sastav hopanoida prokariotskih ćelija se može uporediti sa onim sterolima u eukariotskim ćelijama. Na Slici 9 prikazane su parcijalne strukture nekih složenih hopanoida (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).

Geohopanoidi

Kao pentaciklični prsten, struktura hopanoida je veoma stabilna i nije lako degradirana, geohemičari imaju tendenciju da gledaju na njih kao molekularne fosile („geohopanoidi“ ili „homohopanoidi“) koji služe kao biološki markeri za pojedine organizme u geološkim formacijama iz skorašnjih sedimenata do nalazišta nafte i stena. Različiti bakterijski rodovi poseduju karakteristične raspodele hoapnoida. Na primer, 2α -metilhopan koji je karakterističan za fotosintetičke cijanobakterije, pronađen je u 2,7 milijardi godina starim škriljcima u Australiji, tj. iz perioda mnogo pre nego što je atmosfera bila oksidaciona (ovo tumačenje je sporno) (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).

Iako su otporni, oni nisu imuni na promene u geološkoj sredini tokom miliona godina, i stereomutacije i pojavе drugih reakcija, na primer, proizvode hopanole i hopanoične kiseline. Uzorak različitih produkata može imati indikatavan značaj u istraživanju nafte, tako da su njihove analize od velikog praktičnog značaja. Hopanoidi se ponekad navode da su najzastupljeniji lipidi na Zemlji, iako su slične tvrdnje napisane za druge mikrobiološke lipide i za biljne voskove. (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>)

Hopanoidi – Biohemija i Funkcija

Smatra se da C-30 hopanoidi imaju veoma slične funkcije onim sterolima u membranama životinja i biljaka u kojima oni moduliraju fluidnost membrana u interakciji sa svojim složenim lipidnim komponentama, da bi se povećao stepen reda ili čvrstina. Oni su važni u prilagođavanju propustljivosti membrane, uključujući difuziju kiseonika, i u prilagođavanju ekstremnim uslovima. Hopanoidi su pronađeni u plazmi membrane i spoljašnjim membranama Gram-negativnih bakterija, i u spoljašnjoj membrani i tilakoidnoj membrani cijanobakterija. Očigledno je da su hopanoidi neophodni za rast u mnogim, ako ne i u svim organizmima koji prizvode hopanoide, dok inhibicija biosinteze hopanoida može ograničiti njihov rast značajno i selektivno u poređenju sa drugim bakterijama. Međutim, neke vrste izgleda da rastu kada je sinteza hopanoida inhibirana, iako su oni mnogo manje otporni na ekološke izazove (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>).

Analiza:

Hopanoidi i oni izolovani iz bakterio-hopan-tetrola, posebno zahtevaju specijalne ekstrakcione metode zbog njihove visoke polarnosti. Neki su zaista veoma čvrsto vezani da se njihovo prisustvo u mnogim organizmima možda neće ni otkriti. Jednom prilikom su molekularne strukture bile pojednostavljene otklanjanjem dela bočnog lanca hemijskim sredstvima da olakša analizu, tako da su mnoge informacije bile izgubljene. Ovo nije više neophodno da se čini, i HPLC (Tečna hromatografija visokih performansi) zajedno sa savremenim masenim spektrometrijskim metodama koje uključuju atmosferski pritisak hemijske jonizacije, izgleda da može biti korak napred. (<http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>)

Mikosporin

Jedinjenja slična mikosporinima, koja se sastoje od mikosporina i amino kiselina nalik mikosporinima (MAAs) pružaju UV-zaštitu za sekundarne metabolite u organizmima kao što su gljive, alge, cijanobakterije ili životinje. Kod lišajeva su takva jedinjenja slabo do sada istraživana. Analizama je otkriveno prisustvo pet već opisanih jedinjenja nalik mikosporinima u ispitivanim vrstama, uključujući mikosporin serinol, mikosporin glutamikol i mikosporin hidroksi glutamikol. Optimizovan analitički protokol dozvolio je karakterizaciju jedinjenja nalik mikosporinima u malim količinama materijala i potvrdio potencijal cijanolišajeva kao izvor mikosporinskih jedinjenja. Takođe, analizu je moguće primeniti za istraživanje vrsti lišajeva sa fotobiontima zelenih algi za jedinjenja nalik mikosporinima (Roullier et al., 2011).

Lišajevi su simbolički organizmi, koji se uglavnom nalaze u zajednici između gljiva i algi. Gljiva igra ulogu u vodenom i mineralnom snabdevanju i mehaničkoj zaštiti organizma. Alga realizuje proces fotosinteze i obezbeđuje da organska jedinjenja budu metabolisana od strane gljivičnog partnera. Kod 10% vrsta, zelena alga je zamjenjena ili praćena cijanobakterijom, koja daje organizmu sposobnost da apsorbuje atmosferski azot preko posebnih cijanobakterijskih struktura koje se nazivaju heterociste (Rai, 1990).

Simbioza dovodi do proizvodnje tipičnih sekundarnih metabolita. Većina njih su polifenolična jedinjenja (Huneck and Yoshimura, 1996).

Poznato je da ove supstance igraju važnu ulogu u zaštiti organizma od UV zračenja i uglavnom su izolovani iz lišajeva koji sadrže fotobiont zelene alge. Cijanobakterijski lišajevi, međutim, čini se da su siromašni u tim polifenoličnim jedinjenjima koja grade lišajeve. Takvi cijanolišajevi se uglavnom koriste za akumulaciju polisaharida i drugih polarnih jedinjenja, uključujući jedinjenja slična mikosporinima kao što su mikosporini i amino kiseline nalik miosporinima (MAAs), koja su rastvorljiva u vodi i niske molekularne mase. U ovoj studiji, fraza "jedinjenja poput mikosporina" je poželjnija u odnosu na mikosporine i MAAs pošto ovi izrazi upućuju na poznavanje porekla molekula. Mikosporini se odnose sa gljivične organizme i MAAs na alge i druge. Za sada, ova jedinjenja su prijavljena u veoma ograničenom broju lišajeva koji sadrže cijanobakterijski fotobiont. Do sada je samo mikosporin glicin primećen u nekim vrstama lišajeva (Budel et al., 1997), a zatim i glikozilirani mikosporin, zajedno sa mikosporin serinolom su izolovani iz nekih vrsta lišajeva (Torres et al., 2004; Roullier et al., 2009). Ova dva jedinjenja su proučavana i opisani kao potencijalni UV blokatori (Torres et al., 2004). Njihov potencijal u ovom domenu je istaknut njihovim UV profilom, koji delimično apsorbuje u UVA opsegu, gde dostupni UV blokatori nisu u potpunosti zadovoljavajući, u kombinaciji sa obećavajućim antioksidantskim aktivnostima (Bandaranayake, 1998; De La Coba Luque et al., 2007) i dobrom fotostabilnošću (Whitehead and Hedges, 2005).

Osim toga, mikosporini i MAAs su akumulirani kao sekundarni metaboliti od strane širokog spektra prokariotskih i eukariotskih mikroorganizama, morskih algi, korala i drugih morskih oblika života. Njihova preventivna uloga od oštećenja izazvanih UV zračenjem je sada dobro ustanovljena, jer je njihova koncentracija usko povezana sa fluktuacijama UV zračenja (Garcia-Pichel et al., 1993; Volkmann et al., 2003; Yakovleva and Hidaka, 2004).

Cijanobakterije su sposobne da vezuju atmosferski azot. Mikosporini su jedinjenja već izolovana iz gljiva, cijanobakterija, pa čak i zelenih algi (Sinha et al., 2007). Do sada, cijanobakterije izgleda da se uključuju u prisustvu takvih jedinjenja u lišajevima, jer one mogu da apsorbuju atmosferski azot i ugrade ga u svoj metabolizam. Jedinjenja nalik mikosporinima su mikosporin serinol, mikosporin glutamikol i mikosporin hidroksiglutamikol. Cijanolisajevi su značajni zbog toga što u sebi sadrže rezervoare mikosporina. (Roullier et al., 2011).

Scitonemin

Ispitana je biosinteza i akumulacija cijanobakterijskog pigmenta za zaštitu od sunca, scitonemina, u međutalasnim zajednicama mikrobskih slojeva koristeći kombinaciju hemijskih, molekularnih i filogenetskih pristupa. I laminarne (slojevite) i nelaminarne formacije sadrže scitonemin, sa morfološki različitim slojevima u kojima su različite cijanobakterijske zajednice. U okviru laminiranog mikrobnog sloja, regioni sa i bez scitonemina imali su različite dominantne kiseonične fototrofe, sa oblastima gde se stvara scitonemin, koji se uglavnom sastoje od oblasti sa nedostatkom scitonemina gde dominiraju eukariotske alge. Nelaminarni sloj je bio naseljen od strane različitih grupa cijanobakterija i nije sadržao alge (Balskus et al., 2011).

UV-A i UV-B zračenja su štetna za žive sisteme, izazivajući direktna i indirektna oštećenja važnih makromolekula. UV je posebno ozbiljna pretnja fototrofnim organizmima, jer zahtevaju izlaganje vidljivoj svetlosti radi stvaranja goriva za svoj rast i metabolizam. Cijanobakterije su fotosintetički mikroorganizmi sa potencijalno drevnim korenima koji su razvili više metoda za rešavanje posledica nakon izlaganja UV zracima. Ove strategije obuhvataju ekspresiju enzima za popravku DNK (Levin and Thiel, 1987), stvaranje antioksidantnih enzima (Shibata et al., 1991), UV izbegavanje (Bebout and Garcia-Pichel, 1995), kao i sintezu i akumulaciju sitnih molekula za zaštitu od Sunca (Cockell and Knowland, 1999). Ove strategije su posebno važne za opstanak cijanobakterija u okruženjima sa visokim nivoima solarnog zračenja, kao što su pustinje, stene i plitke morske međutalasne oblasti (Balskus et al., 2011).

Scitonemin je sitno molekularna zaštita od Sunca koja je široko rasprostranjena među cijanobakterijama iz različitih staništa. To je lipofilni, žuto-braon pigment sa jedinstvenim, veoma konjugovanim heterocikličnim skeletom (Proteau et al., 1993). Scitonemin je sintetizovan da odgovori na izlaganje UV-A zracima i akumulira se unutar ekstracelularne zaštite ili sluzi koju stvara organizam, formirajući stabilan, zaštitni sloj koji apsorbuje čak 90% štetnog zračenja ($\lambda = 370\text{--}384\text{ nm}$) (Garcia-Pichel and Castenholz, 1991). Pigment može predstavljati i do 5% suve materije cijanobakterija u kultivisanim organizmima i može se akumulirati u visokim nivoima u prirodnim vrstama (Karsten et al., 1998). Scitonemin se često nalazi u gornjim površinama mikrobioloških slojeva, koje su guste zajednice mikroorganizama koji se razvijaju u oblastima koje su slabo izložene svetlosti i često se mogu pronaći u ekstremnim uslovima (Balskus et al., 2011).

5. ULOGA BIOMARKERA U PALEOKLIMATSKOJ REKONSTRUKCIJI

Pod biomarkerima u paleoklimatskoj rekonstrukciji se podrazumevaju supstance poput fikocijanina i fikoeritrina koji mogu biti detektovani kao pokazatelji prisustva cijanobakterija (modrozelene bakterije, modrozelene alge) u nekom vremenskom davnom periodu (Mahowald et al., 1999). To je značajno zato što one učestvuju u stvaranju lesa, a potvrđeno je da lesa ima na Marsu (Edwards et al., 2005). Za cijanobakterije su karakteristični hopani ugljovodonici (Brocks et al., 2003). Sve ove materije bi mogle da se istražuju na vanzemaljskim telima, na kojima se pretpostavlja da postoje uslovi za njihov opstanak. Smatra se da cijanobakterije dominiraju u biološkoj zemljišnoj pokorici (BZP), a pomoću njih nastaje les (Smalley et al., 2010). Dakle, ako ima lesa, postoji velika mogucnost da ima i cijanobakterija.

Marton Pecsi (1990) je napisao čuveni rad pod nazivom „Les nije samo akumulacija prašine“ u kom tvrdi da je formiranje lesnih naslaga relativno složen proces i ne može se jednostavno predstaviti kao akumulacija eolske prašine. Postoji mogućnost da je eolsko taloženje presudno u određivanju važnih odlika lesa. Pecsi se dotakao problema različitih vizija lesa od strane geologa, inženjera, geomorfologa i naučnika koji se bave proučavanjem zemljišta, a uzimajući u obzir višegodišnje pitanje: da li je les sediment ili zemljište? Kako treba da ga vidimo: kao stenu ili tlo ili jednostavno kao zrnasti materijal, prirodnu česticu? Međutim, bez eolskog taloženja ne može biti lesa, neki kasniji procesi se mogu javiti, a neki ne - verovatno je nemoguće utvrditi proces koji sledi nakon eolskog taloženja koji je apsolutno presudan za formiranje lesnih naslaga (Smalley et al., 2011).

1. Raznošenje lesa

Les je jedan od najrasprostranjenijih formacija ledenog doba. Ima nagoveštaja da pokriva verovatno 10% kontinentalne površine (Pecsi, 1990).

Povećane brzine vetra, smanjena efikasnost hidrološkog ciklusa, širenje izvora prašine i fiziološki efekti niskog atmosferskog CO₂ na produktivnost kopnenih biljaka faktori su kojima se obično pribegava u objašnjavanju pojačanih glacijalnih izlivanja prašine (Mahowald et al., 1999; Harrison et al., 2001; Tegen, 2003) što dovodi do taloženja lesa u celom svetu (Pecsi, 1990), za razliku od samo nekoliko regiona sa taloženjem lesa tokom holocena (Sayago et al., 2001; Jacobs and Mason, 2004; Muhs et al., 2004).

2. Stav o lesu

Na vrlo opšti i pojednostavljen način možemo razmotriti stav „nauke o zemljištu“ o lesu i „sedimentološki“ stav o lesu. Stav je veoma važan u raspravama o lesu i neusaglašeni stavovi doveli su do određenih zabuna do kojih je došlo u dugoj istoriji proučavanja lesa. Postoji stratigrafski stav prema lesu, i geotehnički stav, ali oni predstavljaju korak dalje od osnovnog problema prirode i stvaranja lesa, ključnog problema oko kojeg se nesporazumi javljaju u područjima gde se nauka o zemljištu i sedimentološki pristup susreću (Smalley et al., 2011).

Sedimentologija lesa je relativno složena, to je razlog zbog kojeg se još uvek o njemu raspravlja toliki niz godina nakon što je pokrenuto naučno istraživanje lesa u devetnaestom veku. Najadekvatniji način proučavanja sedimentologije lesnih naslaga jeste predvideti niz događaja koji zajedno stvaraju krajnje naslage. Lesni materijal mora biti posledica prirodnih procesa (koje

treba definisati i objasniti), koji se mora preneti (na duže i kraće razdaljine) i na kraju biti smešten, a može doći i do procesa nakon taloženja. U okviru niza događanja postoji jedan ključan, karakterističan događaj koji les čini lesom. To je eolski prenos lesnog materijala usled čega dolazi do stvaranja metastabilne naslage otvorene strukture koja obavija predeo na vrlo karakterističan način. Važni procesi se javljaju pre i posle eolskog procesa, ali je upravo eolski proces taj koji stavlja svoj krajnji pečat na sistem (Smalley et al., 2011).

Pristup nauke o zemljištu zahteva posebnu sredinu taloženja i posebne procese dijageneze, verovatno uključujući karbonate (Smalley et al., 2011).

Biološke zemljišne pokorice se često nalaze na mladim lesnim liticama, ili na svežim lesnim površinama u ciglanama u Vojvodini, području na severu Srbije. Ove biološke pokorice se izučavaju poslednjih nekoliko godina u Laboratoriji za Rekonstrukciju Paleosredina na Univerzitetu u Novom Sadu. Početni rezultati ukazuju da postoje neke specifične morfološke i ekofiziološke karakteristike izolovanih slojeva cijanobakterija koje sugerisu usvajanje novog termina „biološka lesna pokorica (BLP)“. Moguća analogija sa glacijalnim uslovima može biti razumna. Mreža lepljivih polisaharida BLP na topografskoj površini može uhvatiti veliki broj muljevitih čestica koje se nalaze (zarobljene) u prašnjavoj atmosferi. Zarobljene muljevite čestice utiču na poboljšanje režima vode i obezbeđuju potrebne minerale za dalji rast BLP. Istovremeno, BLP sprečava deflaciјu nataloženog muljevitog materijala (Smalley et al., 2011).

6. PRIMENA BIOMARKERA U ASTROBIOLOGIJI

Vanzemaljski kandidati za formiranje lesa

Nekoliko nebeskih tela u Sunčevom sistemu karakterišu neki geofizički elementi koji mogu pružiti eventualne uslove za sprovođenje modela taloženja koji je sličan formiranju Zemaljskog lesa. Na primer čestice (lesa) veličine mulja mogu se stvoriti na Marsu putem nekoliko različitih mehanizama: fragmentacija udarom, piroklastične vulkanske erupcije, hemijsko atmosfersko dejstvo, i sami eolski procesi (O' Hara-Dhand et al., 2010).

Sporadične informacije o tome da se neki oblici naslaga sličnih lesu mogu naći i van naše planete ukazuju na sledeća pitanja:

- 1) da li je to sigurno les – postoje li uslovi za formiranje lesa van Zemlje i
- 2) ako postoji vanzemaljski les, da li je on stabilizovan na isti ili sličan način kao onaj na Zemlji (aktivnošću biološke lesne pokorice BLP)? (Svirčev et al., 2011).

Da bismo procenili relativnu verovatnoću stvaranja lesa na drugim nebeskim telima u Sunčevom sistemu mi kao prvi svoj kriterijum uzimamo ona nebeska tela koja imaju atmosferu, pošto je upravo njena uloga najznačajnija pri stvaranju lesa na Zemljii. U Tabeli 2, uzimamo one geofizičke faktore koji mogu da doprinesu stvaranju lesa na Zemljii na bazi „Puta mulja“ (atmosfera/sposobnost da se ona veže gravitaciono, vetrovi, prašina, tektonska aktivnost, erozija, vulkanska/kriovulkanska aktivnost, krateri, fluvijalna aktivnost, dine) i označi efekat izobilja tih faktora na moguće stvaranje lesa na određenim nebeskim telima u poređenju sa Zemljom. Stavljamo „poene“ od 0 do 5 da bismo procenili izobilje/efekat datog faktora, pri čemu bi faktori na Zemljii trebali da imaju najveću vrednost. Međutim, neki faktori su na nekim telima intenzivniji nego na Zemljii, pa će za te faktore biti i veći broj poena da bi se postigla veća realističnost. Takođe se predlaže i vreme mogućeg stvaranja lesa. Poene saberemo u „Rezultatu“ i izračunamo verovatnoću stvaranja lesa u odnosu na Zemljiju (Svirčev et al., 2011).

Tabela 2. Postojanje faktora koji bi mogli doprineti formiranju lesa na određenim telima Sunčevog sistema (Svirčev et al., 2011):

	Venera	Zemlja	Mars	Evropa	Io	Titan	Encelada
a. Atmosfera/sposobnost da se atmosfera veže gravitaciono	5	5	4	0	2	5	1
b. Vetrovi	2	5	6	0	0	5	0
c. Prašina	4	5	6	1	4	4	1
d. Tektonska aktivnost	1	5	2	0	0	2	0
e. Erozija	1	5	3	0	0	5	0
f. Vulkanska/kriovulkanska aktivnost	1	5	3	2	6	1	3
g. Krateri	2	5	6	3	4	4	3
h. Fluvijalna aktivnost	0	5	4	0	2	5	0
i. Dine	0	5	6	0	0	5	0
Rezultat (a+b+c+d+e+f+g+h+i)	16	45	40	6	18	36	8
Verovatnoća stvaranja lesa =Rezultat/45	0.36	1.00	0.89	0.13	0.40	0.80	0.18
Vreme stvaranja lesa	Ranije	ranije i skoro	ranije i skoro	-	skoro	skoro	-
Ako je moguće, treba očekivati da se život pojavi u formi	baro-endohipertermofila, acidofila		endolita, kriofila	-	acidofila, endolita, kriofila koji se hrane sumporom	endolita, kriofila	-

Velika nebeska tela sa magnetnim poljima poput Zemlje i Venere imaju veću sposobnost da imaju relativno masivnu atmosferu i da sprečavaju da čestice napuštaju površinu. Na nekim nebeskim telima poput Encelade i Ia atmosfera može da se generiše vulknizmom/kriovulkanizmom. Najjači se vetrovi, sezonskog i globalnog karaktera, mogu naći na Marsu, kao i na Titanu. Postoje veoma snažni vetrovi u gornjoj atmosferi Venere, ali bliže površini ovi su vetrovi mnogo slabiji usled visokog pritiska – pa jedva mogu da podignu čestice sa površine. Nebeska tela sa stenovitom površinom imaju velike količine prašine, posebno ako postoje erozija i suve površine. Na Marsu i Veneri procenat površine pokrivena tečnošću ravan je nuli, prisutno je puno prašine, koja je na Veneri verovatno pokrivena lavom. Prašina takođe može da dođe i od eksplozivne vulkanske aktivnosti (kao što je slučaj na Iu). Na Evropi i Enceladi, nešto prašine može dolaziti od meteoritskih udara i može biti zarobljena u ledu usled obnavljanja njegove površine. Ne uzima se u razmatranje njegov hemijski sastav. Nedavna tektonska aktivnost samo na Zemlji, ukazuje da postoje neki dokazi da je u prošlosti bilo ove aktivnosti i na drugim stenovitim telima, ali ne tako složene kao na Zemlji. Na drugim nebeskim telima može se naći malo ili nimalo planina koje su formirane ovim geološkim procesima (Svirčev et al., 2011).

Titan poseduje erozivne procese najsličnije Zemljinim, uključujući i jedan ekvivalent fluvijalne erozije. Na Marsu ima dokaza o eroziji u prošlosti dok na drugim nebeskim telima nema erozije, osim nešto malo na Veneri. Vulkanski najaktivnije telo u Sunčevom sistemu je Io. Vulkani na Marsu i Veneri su uglavnom štitasti vulkani dok na ledenim satelitima (Evropi i Enceladi) i

moguće na Titanu postoje neki eksplozivni kriovulkani. Zbog retke atmosfere usled slabog magnetnog polja, površina Marsa je najranjivija na meteorite od svih nebeskih tela unutrašnjeg Sunčevog sistema. Zbog toga što su Io, Europa, Encelada i Titan sateliti najtežih planeta u Sunčevom sistemu, udari meteorita mogu biti veoma česti. Ranija fluvijalna aktivnost otkrivena je na Marsu, ali trenutna, fluvijalna i pluvijalna aktivnost (aktivnost kišne erozije) najsličnija onoj na Zemlji, otkrivena je na Titanu. Mars i Titan odlikuju se nedavnim intenzivnim prenosom prašine (Svirčev et al., 2011).

Uzimajući u obzir neke bitne faktore za formiranje lesa, i podatke primljene od rovera sa Marsa i Hajgens sonde sa Titana (McFadden et al., 2007; Coustenis and Taylor, 2008), moguće prisustvo lesa na ova dva nebeska tela treba dalje istražiti. Međutim, usled geoloških razlika između Zemlje i Titana i Marsa, to je i opravdano i više verovatno da se neki drukčiji oblici poput lesnih formacija kao i formacije biološke lesne pokorice (BLP) mogu naći na tim telima (Svirčev et al., 2011).

Neki od geoloških modela Marsa sugerisu da je imao aktivniju površinu u prošlosti (Horneck, 2007). Vulkanska aktivnost, površinska voda (hipoteza Marsovih okeana), erozija i atmosferska cirkulacija, samo su neki od potrebnih faktora za formiranje lesa koji je bio prisutan u istoriji Marsa. Istraživači ukazuju da je Mars mogao da ima bolje uslove za razvoj života u poređenju sa Zemljom u vreme nastanka života (Fassett and Head, 2011). Ovi nalazi direktno ukazuju na teoriju panspermije, kao i na mogućnost postojanja fosilnih ostataka na površini Marsa. U tom kontekstu nove informacije bi mogle da nam pruže više informacija o faktorima potrebnim za formiranje lesa i više informacija za dalja istraživanja i potragu za vanzemaljskim životom (Svirčev et al., 2011).

Johnson (2000) je predložio postojanje veze između lesa Aljaske i polarnog slojevitog terena Marsa ukazujući na mogućnost skorijeg formiranja nasлага poput lesa na Marsu. Nije teško zamisliti postojanje živih organizama na staništu sličnom sredini večnog leda Aljaske (Svirčev et al., 2011).

Titan bi takođe mogao biti veoma zanimljiv kandidat za formiranje lesa. Atmosfera Titana se smatra modelom prve Zemljine atmosfere, koja je bila pogodna za razvoj života. Titan ima atmosferu koja je gusta i bogata azotom (Yelle, 1991) koja sadrži mnoge vertikalno raspoređene ugljovodonike - metan, etan, ugljovodonični lanac, kao i policiklične aromatične ugljovodonike (Coustenis et al., 1991).

Sadržaj vodenog leda na površini Titana je nizak, ali postoje spekulacije o njegovom postojanju ispod površine (Clark et al., 2010). Kazini-Hajgens misija nas je upoznala sa novim, veoma interesantnim podacima, koji su nam dali nov pogled na Titan (McFadden et al., 2007). On ima raznolik reljef po celoj svojoj površini koji obuhvata planine, dine, reke, dendritske karakteristike i jezera tečnih ugljovodonika i kriovulkane (Jacovi et al., 2010; Wall et al., 2009). Postoje jaki dokazi eolske aktivnosti sa stacionarnim pravcem vetra, uglavnom sa ekvatora ka većoj geografskoj dužini (Lorenz and Radebaugh, 2009). Velika raznovrsnost reljefa takođe ukazuje na postojanje zamki od prašine. U odnosu na događaje iz njegove istorije, možemo tvrditi da hemijski sastav površine Titana dozvoljava formiranje struktura poput lesa. Međutim, malo se zna o hemijskom sastavu površine Titana, a više rezultata je potrebno za pružanje potpunije slike veličine i sastava čestica (Svirčev et al., 2011).

Uzimajući u obzir mogućnost da postoji život u čijoj je osnovi metan (McKay and Smith, 2005), kao i otkrića oblika života koja "jedu metan" kao što su *Methylobacter mesophilicum* i *M. Oxyfera* na Zemlji (Raghoebarsing et al., 2006; Ettwig et al., 2010) uz argumentaciju, otvara se mogućnost za prošlo ili sadašnje postojanje naslaga poput lesa koji su u vezi sa ekstremnim oblicima života na/ispod površine Titana (Svirčev et al., 2011).

Argumentacija ukazuje na to da kandidati koji najviše odgovaraju za prošlo i/ili sadašnje formiranje lesa i površina poput lesa jesu Mars i Titan. Dakle, sa aspekta astrobiološkog istraživanja, buduće svemirske misije bi takođe trebalo da traže tragove prisustva vanzemaljskog lesa ili oblika poput lesa, zbog svoje veze sa postojanjem života (Svirčev et al., 2011).

7. ZAKLJUČAK

U okviru ovoga rada obrađena je tema „Značaj biomarkera u astrobiologiji“. Razmatrana je aktuelna problematika vezana za: značaj ekstremofila u astrobiologiji, cijanobakterije kao ekstremofili, šta su biomarkeri, uloga biomarkera u paleoklimatskoj rekonstrukciji i primena biomarkera u astrobiologiji.

U astrobiologiji, biomarker je jedinjenje koje bi moglo da ukaže na biološko poreklo organskih materija. Biomarker može biti bilo koji molekul koji ukazuje na postojanje nekog živog organizma, kako u sadašnjosti tako i u prošlosti. To su kompleksna organska jedinjenja sastavljeni od ugljenika, vodonika i drugih elemenata.

Biomarkeri ili molekularni fosili su prirodni produkti, najčešće lipidi (hopanoidi) i pigmenti. Oni mogu pružiti mnoštvo informacija o ranim mikrobiološkim ekosistemima i procesima koji su se događali milijardama godina unazad. Biomarkeri se mogu detektovati pomoću analitičkih metoda.

Suština značaja biomarkera jeste u tome što oni mogu da ukažu na postojanje ekstremofilnih mikroorganizama na drugim nebeskim telima i ti biomarkeri mogu da se koriste u astrobiologiji. Jedni od najznačajnijih ekstremofila jesu cijanobakterije koje imaju sposobnost da vrše fotosintezu, što znači da oslobađaju kiseonik. Zahvaljujući ovim ekstremofilima svara se atmosfera pogodna za razvoj ostalih organizama. Biomarkeri cijanobakterija omogućuju da se utvrdi njihov značaj u geološkoj prošlosti. Cijanobakterije dominiraju u biološkoj zemljišnoj pokorici, a upravo pomoću njih nastaje les, što znači ako ima lesa na nekoj planeti ili satelitu, postoji verovatnoća da ima i cijanobakterija.

Poređenje Evrope i Encelade kao predstavnike svetova koji imaju vodu kao jedinu karakteristiku zajedničku sa Zemljom stavlja potragu za vanzemaljskim životom u pravcu traganja za samo vodenim životom. Osim vodenog života mogla bi postojati druga veza između nebeskih tela i Zemlje koja obuhvata više od jedne (geofizičke) karakteristike zajedničke sa Zemljom i to bi takođe mogao da bude trag vanzemaljskog života - les i strukture poput lesa. Ova veza podrazumeva mešavinu od više od jednog sastojka za životno stanište (više od vode), što naravno daje osnova za raznovrsnost hemije da bude povezana sa istim (bio)geofizičkim procesom, odnosno formiranjem lesnih struktura ili onih poput lesnih. Osim toga, extrapolacijom ideje o formiranju struktura poput lesa na drugim nebeskim telima, uvodi se mogućnost postojanja života koji je prilagođen i/ili zasnovan na drugačijoj hemiji. Zbog toga, paralelno i nezavisno od potrage za „vodenim“ životom (životom koji zavisi od prisustva vode), predlaže se još jedan pravac u potrazi za vanzemaljskim životom – potraga za lesnim životom (životom koji predlažu i potvrđuju neki biogeohemijski procesi).

Imajući u vidu relevantne parametre potrebne za razvoj i opstanak lesnih sedimenata, Mars i Titan su označeni kao najpogodniji kandidati za moguće analogije ekstremnih zemaljskih okruženja lesa. Ostala nebeska tela se mogu smatrati mestom za formiranje lesa uz ozbiljno zanemarivanje nekih faktora koji su neophodni u stvaranju lesa na našoj planeti. Pošto ne možemo da isključimo mogućnost stvaranje različitih vidova lesa van Zemlje, načini očuvanja

lesa takođe mogu biti specifični. Izgleda da su polisaharidi najčešći način očuvanja biološke lesne pokorice i lesa na Zemlji. Kakve bi supstance poput polisaharida mogle da budu proizvedene kao lepak za čestice nalik lesu negde u Svemiru? I ko bi mogli biti proizvođači?

Prema našim istraživanjima, sledeći biomarkeri bi mogli doći u obzir u ispitivanju paleoklimatske rekonstrukcije na Zemlji kao i mogućnosti prisustva života van naše planete: fikobiliproteini (fikoeritrin, fikocijanin, alofikocijanin i fikoeritrocijanin), hopanoidi, mikosporin, amino kiseline nalik mikosporinima (MAAs), scitonemin i ugljovodonici: monometilalkani (MMAs) i dimetilalkani (DMAs).

8. LITERATURA

1. Aubrey, D. Andrew. 2008. Amino Acid Biosignatures – Implications for the Detection of Extinct or Extant Microbial Communities on Mars, A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree, University Of California, San Diego.
2. Audino, M., Grice, K., Alexander, R., Kagi, R.I. 2001. Macrocyclic-alkanes: A new class of biomarker. *Organic Geochemistry* 32: 5, 759-763.
3. Bloch, E., Rachel, R., Burgraff, S., Hafenbradl, D., Jannash, H. W., Stetter, K. O. 1997. Pyrolobus fumarii, gen. and sp. nov., represents a novel group of archaea, extending the upper temperature limit for life to 113°C. *Extremophiles* 1, 14-21.
4. Brassel, S.C. 1994. Isopentenoids and Other Natural Products: Evolution and Function, Nes, W.D., Ed., Washington: American Chemical Society, ACS Symp. Series 562, ch. 1, p. 1–30.
5. Büdel, B., Karsten, U., Garcia-Pichel, F. 1997. Ultraviolet-absorbing scytonemin and mycosporine-like amino acid derivatives in exposed, rock-inhabiting cyanobacterial lichens. *Oecologia* 112, 165–172.
6. Büdel, B. 2002. Diversity and ecology of biological crusts. *Prog. Bot.* 63, 386–404.
7. Bandaranayake, W.M. 1998. Mycosporines: are they nature's sunscreens. *Nat. Prod. Rep.* 15, 159–172.
8. Bebout, B.M., & Garcia-Pichel, F. 1995. UV-B induced vertical migrations of cyanobacteria in a microbial mat. *Appl Environ Microb* 61: 4215–4222.
9. Brocks, J.J., Summons, R.E., Buick, R., Logan, G.A. 2003. Origin and significance of aromatic hydrocarbons in giant iron ore deposits of the late Archean Hamersley Basin, Western Australia. *Organic Geochemistry* 34: 8, 1161-1175.
10. Belnap, J. 2001. Comparative structure of physical and biological soil crusts, In: Belnap, J., Lange, O.I., (Eds.), Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. *Ecological Studies* 150, 177-191
11. Belnap, J. and Lange, O.I., Eds. 2001. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management, *Ecological Studies* 150, 202-215.
12. Belnap, J., Büdel, B., and Lange, O.I. 2001. Biological soil crust: Characteristics and distribution, In: Belnap, J., Lange, O.I., (Eds.), Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management. *Ecological Studies* 150, 3–30.
13. Belnap, J., Phillips, S.L. 2001. Soil biota in an ungrazed grassland: Response to annual grass (*Bromus tectorum*) invasion, *Ecological Applications* 11: 5, 1261-1275.

14. Belnap, J. 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes* 20: 15, 3159-3178.
15. Büdel, B., Darienko, T., Deutschewitz, K., Dojani, S., Friedl, T., Mohr, K.I., Salisch, M., Reisser, W., Weber, B. 2009. Southern african biological soil crusts are ubiquitous and highly diverse in drylands, being restricted by rainfall frequency. *Microbial Ecology* 57: 2, 229-247.
16. Balskus, P. Emily, Rebecca, J. Case, & Christopher, T. Walsh. 2011. The biosynthesis of cyanobacterial sunscreen scytonemin in intertidal microbial mat communities. *FEMS Microbiology Ecology* 77, 322–332.
17. Cavicchioli, R. 2006. Cold-adapted archaea. *Nat Rev Microbiol* 5: 331-43.
18. Cockell, C.S., Knowland, J. 1999. Ultraviolet radiation screening compounds. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 74: 3, 311-345.
19. Cabrol, N.A., Grin, E.A., Newsom, H.E., Landheim, R., McKay, C.P. 1999. Hydrogeologic Evolution of Gale Crater and Its Relevance to the Exobiological Exploration of Mars, *Icarus* 139: 2, 235-245.
20. Campbell, J.A. 1977. Eco-chem. *Journal of Chemical Education* 54: 7, 437-445.
21. Coustenis, A., Taylor, F. 2008. Titan - Exploring an Earthlike World. Second edition. World scientific, Singapore.
22. Coustenis, A., Bezard, B., Gautier, D., Marten, A. and Samuelson, R. 1991. Titan's atmosphere from voyager infrared observations: III. Vertical distributions of hydrocarbons and nitriles near Titan's North Pole. *Icarus* 89: 152-167.
23. Clark, R.N., Curchin, J.M., Barnes, J.W., Jaumann, R., Soderblom, L., Cruikshank, D.P., Brown, R.H., Rodriguez, S., Lunine, J., Stephan, K., Hoefen, T.M., Le Mouelic, S., Sotin, C., Baines, K.H., Buratti, B.J., Nicholson, P.D. 2010. Detection and mapping of hydrocarbon deposits on Titan. *Journal of Geophysical Research E: Planets* 115 (10), art. no. E10005.
24. Cockell, C.S. 1998. Biological effects of high ultraviolet radiation on early Earth - A theoretical evaluation. *Journal of Theoretical Biology* 193: 4, 717-729.
25. Danin, A., Yaalon, D.H., 1980. Trapping of silt and clay by lichens and bryophytes in the desert environment of the Dead Sea region. Bat Sheva Seminar on Approaches and Methods in Paleoclimatic Research with Emphasis on Aridic Areas, Jerusalem, Israel 32p.
26. Danin, A., Bor-Or, Y., Dor, I., Yisraeli, T. 1989. The role of cyanobacteria in stabilization of sand dunes in southern Israel. *Ecologia Meriterranea* 15, 55-64.

27. Danin, A., Yaalon, D.H. 1982. Silt plus clay sedimentation and decalcification during plant succession in sands of the Mediterranean coastal plain of Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* 31, 101-109.
28. Dembitsky, V.M., Shkrob, I., Dor, I. 1999. Separation and identification of hydrocarbons and other volatile compounds from cultured blue-green alga *Nostoc* sp. by gas chromatography-mass spectrometry using serially coupled capillary columns with consecutive nonpolar and semipolar stationary phases. *Journal of Chromatography* 862: 2, 221-229.
29. Dembitski et al., 2001. Translated from Bioorganicheskaya Khimiya. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* 27: 2, 110–119.
30. De La Coba Luque, F., Aguilera Arjona, J., Lopez Figueroa, F. 2007. Use of a mycosporin-type amino acid (m-gly) as an antioxidant. International Patent WO2007026036, Spain.
31. Doran, P.T., Wharton Jr., R.A., Des Marais, D.J., McKay, C.P. 1998. Antarctic paleolake sediments and the search for extinct life on Mars, *Journal of Geophysical Research E: Planets* 103 (E12): 28481-28493.
32. Deamer, D.W. 1997. The first living systems: A bioenergetic perspectives. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 61: 2, 239-261.
33. Dachs, J., Bayona, J.M., Fowler, S.W., Miquel, J.-C., Albaigés, J. 1998. Evidence for cyanobacterial inputs and heterotrophic alteration of lipids in sinking particles in the Alboran Sea (SW Mediterranean). *Marine Chemistry* 60: (3-4), 189-201.
34. Danin, A., Yaalon, D.H. 1980. Trapping of silt and clay by lichens and bryophytes in the desert environment of the Dead Sea region. Bat Sheva Seminar on Approaches and Methods in Paleoclimatic Research with Emphasis on Aridic Areas, Jerusalem, Israel 32p.
35. Danin, A., Bor-Or, Y., Dor, I., Yisraeli, T. 1989. The role of cyanobacteria in stabilization of sand dunes in southern Israel. *Ecologia Meriterranea* 15, 55-64.
36. Dillon, J.G., Castenholz, R.W. 1999. Scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment, protects against UVC radiation: Implications for early photosynthetic life. *Journal of Phycology* 35: 4, 673-681.
37. Dembitsky, V.M., Dor, I., Shkrob, I., Aki, M. 2001. Branched alkanes and other apolar compounds produced by the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus* from the Negev Desert. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* 27, 110–119.
38. Damste, J.S., Baas, M., Koopmans, M.P., Geenevasen, J.A.J. 1997. Cyclisation, aromatisation and expulsion of β -carotene during sediment diagenesis. *Tetrahedron Letters* 38: 13, 2347-2350.

39. European Space Agency Exobiology Team Study. 1999. Exobiology in the Solar System & The Search for Life on Mars. Reports from the ESA, 1997-1998.
40. Edwards, K.J., Schrenk, M.O., Hamers, R., Banfield, J.F. 1998. Microbial oxidation of pyrite: Experiments using microorganisms from an extreme acidic environment. *American Mineralogist* 83: (11-12 PART 2), 1444-1453.
41. Edwards Howell, G.M., Moody Caroline, D., Jorge Villar, Susana, E., Wynn-Williams, David D. 2005. Raman spectroscopic detection of key biomarkers of cyanobacteria and lichen symbiosis in extreme Antarctic habitats: Evaluation for Mars Lander missions. *Icarus* 174: 2, 560-571.
42. Ettwig, K.F., Butler, M.K., Le Paslier, D., Pelletier, E., Mangenot, S., Kuypers, M.M.M., Schreiber, F., Dutilh, B.E., Zedelius, J., De Beer, D., Gloerich, J., Wessels, H.J.C.T., Van Aken, T., Luesken, F., Wu, M.L., Van De Pas-Schoonen, K.T., Op Den Camp, H.J.M., Janssen-Megens, E.M., Francoijns, K.-J., Stunnenberg, H., Weissenbach, J., Jetten, M.S.M., Strous, M. 2010. Nitrite-driven anaerobic methane oxidation by oxygenic bacteria. *Nature* 464 (7288), 543–548.
43. Friedmann, E. I., and Ocampo - Friedmann, R. 1995. A primitive cyanobacterium as pioneer microorganism for terraforming Mars. *Advances in Space Research* 15: 3, 243-246.
44. Freissinet, C., Buch, A., Sternberg, R., Szopa, C., Geffroy-Rodier, C., Jelinek, C., Stambouli, M. 2010. Search for evidence of life in space: Analysis of enantiomeric organic molecules by N,N-dimethylformamide dimethylacetal derivative dependant Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1217: 5, 731-740.
45. Fassett, C.I., Head, J.W. 2011. Sequence and timing of conditions on early Mars. *Icarus* 211: 2, 1204-1214.
46. Fowler, M.G., Douglas, A.G. 1987. Saturated hydrocarbon biomarkers in oils of Late Precambrian age from Eastern Siberia. *Organic Geochemistry* 11: 3, 201-213.
47. Gross, M. 1998. Life on the Edge: Amazing Creatures Thriving in Extreme Environments. New York: Plenum.
48. Grant, W. D., Horikoshi, K. 1992. Alkaliphiles: ecology and biotechnological applications. *Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles*: 143-160.
49. Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J., Oro, J. 1970. Hydrocarbon of geochemical significance in microscopic algae. *Phytochemistry* 9, 603–612.
50. Grimalt, J.O., De Wit, R., Teixidor, P., Albaigés, J. 1992. Lipid biogeochemistry of Phormidium and Microcoleus mats. *Organic Geochemistry* 19: (4-6), 509-530.

51. Garcia-Pichel, F., Wingard, C.E., Castenholz, R.W. 1993. Evidence regarding the UV sunscreen role of a mycosporine-like compound in the cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. *Appl. Environ. Microbiol* 59, 170–176.
52. Garcia-Pichel, F., & Castenholz, R. 1991. Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *J Phycol* 27: 395–409.
53. Grimalt, J.O., De Wit, R., Teixidor, P., and Albages, J. 1992. Branched alkanes. *Organic Geochemistry* 19: 509–530.
54. Galinski, E. A. & Tyndall, B. J. 1992. Biotechnological prospects for halophiles and halotolerant microorganisms. *Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles*: 76-114.
55. Horneck, G. 2000. The Microbial World and the Case for Mars. *Planetary and Space Science* 48: 1053-1063.
56. Harrison, S.P., Kohfeld, K.E., Roelandt, C., Claquin, T. 2001. The role of dust in climate changes today, at the last glacial maximum and in the future. *Earth Science Reviews* 54: 43-80.
57. Huneck, S., Yoshimura, I. 1996. Identification of Lichen Substances. Springer-Verlag, Berlin.
58. Horneck, G. 2007. The microbial case for Mars and its implication for human expeditions to Mars, European Space Agency, (Special Publication) ESA SP (1299), 35-45.
59. Hold, I.M., Schouten, S., Jellema, J., Sinninghe Damste, J.S. 1999. Origin of free and bound mid-chain methyl alkanes in oils, bitumens and kerogens of the marine, Infracambrian Huqf Formation (Oman). *Organic Geochemistry* 30: 11, 1411-1428.
60. Han, J., Mc Carthy, E.D., Calvin, M., Benn, M.H. 1968. Hydrocarbon constituents of the blue-green algae *Nostoc muscorum*, *Anacystis nidulans*, *Phormidium luridum* and *Chlorogloea frischtii*. *Journal of the Chemical Society C: Organic*, 2785–2791.
61. Huseby, B., Ocampo, R. 1997. Evidence for porphyrins bound, via ester bonds, to the Messel oil shale kerogen by selective chemical degradation experiments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 18, 3951-3955.
62. Israel, G., Cabane, M., Coll, P., Coscia, D., Raulin, F., Niemann, H. 1999. The cassini-huygens ACP experiment and exobiological implications. *Advances in Space Research* 23: 2, 319-331.
63. Javaux, E. J. 2006. Extreme Life on Earth-Past, Present and Possibly beyond. *Research in Microbiology* 157: 37-48.
64. Jacobs, P.M., Mason, J.A. 2004. Paleopedology of soils in thick Holocene loess, Nebraska, USA. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas* 21, 54-70.

65. Jacovi, R., Laufer, D., Dimitrov, V., Bar-Nun, A. 2010. Chemical composition of simulated Titan's midatmospheric aerosols. *Journal of Geophysical Research E: Planets* 115 (7), art. no. E07006.
66. Johnson, J.B., Lorenz, R.D. 2000. Thermophysical properties of Alaskan loess: An analog material for the Martian polar layered terrain. *Geophysical Research Letters* 27: 17, 2769-2772.
67. Keller, M., Braun, F. J., Di Meier, R., Hafenbradl, D., Burggraf, S., Rachel, R., Stetter, K. O. 1995. Thermococcus alcaliphilus sp. nov. a new hyperthermophilic archaeum growing on polysulfide at alkaline pH. *Arch. Microbiol.* 164: 390-395.
68. Karsten, U., Maier, J., & Garcia-Pichel, F. 1998. Seasonality in UV-absorbing compounds of cyanobacterial mat communities from an intertidal mangrove flat. *Aquat Microb Ecol* 16: 37-44.
69. Koster, J., Volkman, J.K., Rullkötter, J., Scholz-Bottcher, B.M., Rethmeier, J., Fischer, U. 1999. Mono-di-and trimethyl-branched alkanes in cultures of the filamentous cyanobacterium *Calothrix scopolorum*. *Organic Geochemistry* 30: 11, 1367-1379.
70. Kenig, F. 2000. C16-C29 homologous series of monomethylalkanes in the pyrolysis products of a Holocene microbial mat. *Organic Geochemistry* 31: (2-3), 237-241.
71. Kenig, F., Sinninghe Damste, J.S., Frewin, N.L., Hayes, J.M., De Leeuw, J.W. 1995. Molecular indicators for palaeoenvironmental change in a Messinian evaporitic sequence (Vena del Gesso, Italy). II: High-resolution variations in abundances and ^{13}C contents of free and sulphur-bound carbon skeletons in a single marl bed. *Organic Geochemistry* 23: 6, 485-526.
72. Kissin, Y.V. 1987. Catagenesis and composition of petroleum: Origin of n-alkanes and isoalkanes in petroleum crudes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51: 9, 2445-2457.
73. Landis, G. A. 2001. Martian Water: Are There Extant Halobacteria on Mars. *Astrobiology* 1: 161-164.
74. Lorenz, R.D., Radebaugh, J. 2009. Global pattern of Titan's dunes: Radar survey from the Cassini prime mission. *Geophysical Research Letters* 36: 3, art. no. L03202.
75. Levine, E., & Thiel, T. 1987. UV-inducible DNA repair in the cyanobacteria *Anabaena* spp. *J Bacteriol* 169: 3988-3993.
76. Lozek, V. 1982. Contribution of malacology to the chronological subdivision of the Central European Holocene. *Striae* 16: 84-87.
77. Leavitt, P.R., Vinebrooke, R.D., Donald, D.B., Smol, J.P., Schindler, D.W. 1997. Past ultraviolet radiation environments in lakes derived from fossil pigments. *Nature* 388 (6641): 457-459.

78. Logan, B.A., Anchordoquy, T.J., Monson, R.K., Pan, R.S. 1999. The effect of isoprene on the properties of spinach thylakoids and phosphatidylcholine liposomes. *Plant Biology* 1: 6, 602-606.
79. Moine, O., Rousseau, D.D., Antoine, P. 2008. The impact of Dansgaard-Oeschger cycles on the loessic environment and malacofauna of Nussloch (Germany) during the Upper Weichselian. *Quaternary Research* 70: 1, 91-104.
80. Madigan, M.T., Oren, A. 1999. Thermophilic and halophilic extremophiles. *Curr. Opinion Microbiol.* 2: 265-269.
81. Mahowald, N.M., Kohfeld, K.E., Hansson, M., Balkanski, Y., Harrison, S.P., Prentice, I.C., Schultz, M., Rodhe, H. 1999. Dust sources and deposition during the Last Glacial Maximum and current climate: a comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments. *Journal of Geophysical Research* 104: 15895-15916.
82. Muhs, D.R., Mc Geehin, J.P., Beann, J., Fisher, J. 2004. Holocene loess deposition and soil formation as competing processes, Matanuska Valley, southern Alaska. *Quaternary Research* 61: 265-276.
83. McKay, C.P., Smith, H.D. 2005. Possibilities for methanogenic life in liquid methane on the surface of Titan. *Icarus* 178: 1, 274-276.
84. McKay, C.P., 1997. The search for life on Mars, *Orig. Life Evol. Biosph.* 27, 263-289.
85. Mahaney, J.E., Albers, R.W., Waggoner, J.R., Kutchai, H.C., Froehlich, J.P. 2005. Intermolecular conformational coupling and free energy exchange enhance the catalytic efficiency of cardiac muscle SERCA2a following the relief of phospholamban inhibition. *Biochemistry* 44: 21, 7713-7724.
86. McFadden, P.L., Turok, N., Steinhardt, P.J. 2007. Solution of a braneworld big crunch/big bang cosmology. *Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology* 76: 10, art. no. 104038.
87. Metcalf, J.S., Richer, R., Cox, P.A., Codd, G.A. 2012. Cyanotoxins in desert environments may present a risk to human health. *Science of the Total Environment* 421- 422: 118–123.
88. O'Hara-Dhand, K., Taylor, R., Smalley, I., Krinsley, D., Vita-Finzi, C. 2010. Loess and dust on Earth and Mars: Particle generation by impact mechanisms, *Central European Journal of Geosciences* 2: 1, 45-5.
89. Pecsi, M., 1990. Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International* 7/8, 1-21.
90. Pecsi, M. 1995. The role of principles and methods in loess-paleosol investigations. *Geo Journal* 36, 117-131.

91. Proteau, P.J., Gerwick, W.H., Garcia-Pichel, F., & Castenholz, R. 1993. The structure of scytonemin, an ultraviolet sunscreen pigment from the sheaths of cyanobacteria. *Experientia* 49: 825–829.
92. Potts, J.M. 1996. Methods for estimating common parameters in dependent regressions applied to data from the Rothamsted Park Grass Experiment. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 1: 3, 323-335.
93. Potts, M. 1999. Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria. *European Journal of Phycology* 34: 4, 319-328.
94. Qiu, X.-Y., Hurt, R.A., Wu, L.-Y., Chen, C.-H., Tiedje, J.M., Zhou, J.-Z. 2004. Detection and quantification of copper-denitrifying bacteria by quantitative competitive PCR. *Journal of Microbiological Methods* 59: 2, 199-210.
95. Russel, N. J. 1992. Physiology and molecular biology of psychophilic microorganisms. *Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles*: 203-221.
96. Roberts, M.F. 2005. Organic compatible solutes of halotolerant and halophilic microorganisms. *Saline Systems* 1: 5.
97. Roullier Catherine., Chollet-Krugler Marylene., Pferschy-Wenzig Eva-Maria., Maillard Anne, Rechberger Gerald N., Legouin-Gargadennec Beatrice, Bauer Rudolf, Boustie Joel. 2011. Characterization and identification of mycosporines-like compounds in cyanolichens. Isolation of mycosporine hydroxyglutamicol from *Nephroma laevigatum* Ach. *Phytochemistry* 72: 1348–1357.
98. Rai, A.N. 1990. CRC Handbook of Symbiotic Cyanobacteria. CRC Press, Boca Raton.
99. Roullier, C., Chollet-Krugler, M., Bernard, A., Boustie, J. 2009. Multiple dual-mode centrifugal partition chromatography as an efficient method for the purification of a mycosporine from a crude methanolic extract of *Lichina pygmaea*. *J. Chrom. B* 877, 2067–2073.
100. Rohmer, M., Bouvier-Nave, P., Ourisson, G. 1984. Distribution of hopanoid triterpenes in prokaryotes. *Journal of General Microbiology* 130: 5, 1137-1150.
101. Raghoebarsing, A.A., Pol, A., Van De Pas-Schoonen, K.T., Smolders, A.J.P., Ettwig, K.F., Rijpstra, W.I.C., Schouten, S., Sinninghe Damsté, J.S., Op Den Camp, H.J.M., Jetten, M.S.M., Strous, M. 2006. A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification. *Nature* 440 (7086): 918-921
102. Stojanović, B. Dejan, Oliver O. Fojkar, Aleksandra V. Drobac – Čik, Kristina O. Čajko, Tamara I. Dulić, Zorica B. Svirčev. 2008. Extremophiles – Link between Earth and Astrobiology. *Zbornik Matice srpske za priroden nauke / Proc. Nat. Sci. Matica Srpska Novi Sad* 114: 5-16.

103. Seckbach, J., Chela - Flores, J. 2001. Frontiers of Extremophilic Microorganisms: From Life on the Edge to Astrobiology. Proc. First European Workshop on Exo-Astro-Biology, 21-13 May, ESA SP-496: 225-260.
104. Seckbach, J. 2000. Extremophiles as Models for Extraterrestrial Life. A New Era in Bioastronomy, ASP Conference Series 213.
105. Sagan, C. 1961. The Planet Venus. *Science* 133: 849-858.
106. Svirčev, Z. 2005. Mikroalge i cijanobakterije u biotehnologiji. Priridno-matematički fakultet, Novi Sad.
107. Svirčev, Z., Marković, S., Stevens, T., Nikolić, B., Vukić, V., Smalley, I., Obreht, I., Djukić, S. 2011. Loess, a message from the Cosmos that brings life signals. *Quaternary International*, Article in Press.
108. Smalley, I. 1995. Making the material: The formation of silt sized primary mineral particles for loess deposits. *Quaternary Science Reviews* 14: (7-8), 645-651.
109. Smalley, I., O'Hara-Dhand, K., Wint, J., Machalett, B., Jarya, Z., Jefferson, I. 2009. Rivers and loess: The significance of long river transportation in the complex event-sequence approach to loess deposit formation. *Quaternary International* 198: 7–18.
110. Smalley, I.J., Markovic, S., O'Hara-Dhand, K., Wynn, P., 2010. A man from Bendery: L.S. Berg as geographer and loess scholar. *Geologos* 16: 2, 111-119.
111. Smalley I., Markovic S., Svircev Z. 2011. Loess is almost totally formed by the accumulation of dust. *Quaternary International* 240: 4 -11.
112. Sayago, J.M., Collantes, M.M., Karlson, A., Sanabria, J. 2001. Genesis and distribution of the Late Pleistocene and Holocene loess of Argentina: a regional approximation. *Quaternary International* 76/77, 211-229.
113. Summons, R.E. 1993. Organic Geochemistry: Principles and Applications, Engel, M.H. and Macko, S.A., Eds., New York: Plenum 1: 3–21.
114. Summons, R.E., Brassell, S.C., Eglinton, G., Evans, E., Horodyski, R.J., Robinson, N., Ward, D.M. 1988a. Distinctive hydrocarbon biomarkers from fossiliferous sediment of the Late Proterozoic Walcott Member, Chuar Group, Grand Canyon, Arizona. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52: 11, 2625-2637.
115. Summons, R.E., Powell, T.G., Boreham, C.J. 1988b. Petroleum geology and geochemistry of the Middle Proterozoic McArthur Basin, Northern Australia: III. Composition of extractable hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52: 7, 1747-1763.

116. Summons, R.E., Walter, M.R. 1990. Molecular fossils and microfossils of prokaryotes and protists from Proterozoic sediments. *American Journal of Science* 290 A, 212-244.
117. Summons, R.E. 1993. Organic Geochemistry: Principles and Applications, Engel, M.H. and Macko, S.A., Eds., New York: Plenum, ch. 1, 3–21.
118. Summons, R.E. 1987. Branched alkanes from ancient and modern sediments: Isomer discrimination by GC/MS with multiple reaction monitoring. *Organic Geochemistry* 11: 4, 281-289.
119. Summons, R.E., Jahnke, L.L., Hope, J.M., Logan, G.A. 1999. 2-Methylhopanoids as biomarkers for cyanobacterial oxygenic photosynthesis, *Nature* 400: 6744, 554-557.
120. Sinha, R.P., Singh, S.P., Hader, D.P. 2007. Database on mycosporines and mycosporine-like amino acids (MAAs) in fungi, cyanobacteria, macroalgae, phytoplankton and animals. *J. Photochem. Photobiol. B* 89, 29–35.
121. Shibata, H., Baba, K., & Ochiai, H. 1991. Near-UV induces shock proteins in *Anacystis nidulans* R-2: possible role of active oxygen. *Plant Cell Physiol* 32: 771–776.
122. Schopf, J.W. 1993. Microfossils of the early Archean apex chert: New evidence of the antiquity of life. *Science* 260: 5108, 640-646
123. Simoneit, B.R.T. 2004. Biomarkers (molecular fossils) as geochemical indicators of life. *Advances in Space Research* 33: 8, 1255-1261.
124. Shields, F.D., Lee, K.P. 1964. Effect of light molecules on vibrational relaxation in oxygen. *The Journal of Chemical Physics* 40: 3, 737-742.
125. Starks, T.S., Shubert, L.E., and Trainor, F.R. 1981. *Phycologia* 20: 65–80.
126. Shiea, J., Brassell, S.C., Ward, D.M. 1990. Mid-chain branched mono- and dimethyl alkanes in hot spring cyanobacterial mats: A direct biogenic source for branched alkanes in ancient sediments. *Organic Geochemistry* 15: 3, 223-231.
127. Simonin, P., Jurgens, U.J., Rohmer, M. 1996. Bacterial triterpenoids of the hopane series from the prochlorophyte *Prochlorothrix hollandica* and their intracellular localization. *European Journal of Biochemistry* 241: 3, 865-871.
128. Trent, J.D. 2000. Extremophiles in Astrobiology: Per Ardua ad Astra. *Gravitational and Space Biology Bulletin* 13 (2): 5-11.
129. Tegen, I., 2003. Modelling the aerosol dust cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews* 22, 1821-1834.

130. Tirkey, J., Adhikary, S.P. 2005. Cyanobacteria in biological soil crusts of India *Current Science* 89: 3, 515-521.
131. Torres, A., Hochberg, M., Pergament, I., Smoum, R., Niddam, V., Dembitsky, V.M., Temina, M., Dor, I., Lev, O., Srebnik, M., Enk, C.D. 2004. A new UV-B absorbing mycosporine with photo protective activity from the lichenized ascomycete *Collema cristatum*. *Eur. J. Biochem* 271, 780–784.
132. Tepfer, D. 2008. The origin of life, panspermia and a proposal to seed the Universe. *Plant Science* 175: 6, 756-760.
133. Treado, P.J., Vanni, G.S., Nelson, M.P., Gardner, C., Wolf, J., Schweitzer, R.S., Neiss, J.H. 2003. Chemical imaging microscopy for optical biothreat detection, Microscopy and Microanalysis 9 (SUPPL. 2), p. 1106-1107.
134. Tirkey, J. Adhikary, S. P. 2005. Cyanobacteria in biological soil crusts of India. *Current Science* 89 (3): 515-521.
135. Talbot, H.M., Rohmer, M., Farrimond, P. 2007. Structural characterisation of unsaturated bacterial hopanoids by atmospheric pressure chemical ionisation liquid chromatography/ion trap mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 21: 10, 1613-1622.
136. Ullmann, I. and Budel, B. 2001. Ecological determinants of species composition of biological soil crusts on landscape scale. In Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management (eds. Belnap, J. and Lange, O. L.), Springer, Berlin, p. 203–213.
137. Vanloon, A. J. 2005. The needless search for extraterrestrial fossils on Earth. *Earth-Science Reviews* 68: (3-4), 335-346.
138. Volkmann, M., Whitehead, K., Rutters, H., Rullkötter, J., Gorbushina, A.A. 2003. Mycosporine-glutamicol-glucoside: a natural UV-absorbing secondary metabolite of rock-inhabiting microcolonial fungi. *Rapid Commun. Mass Spectrom* 17, 897–902.
139. Vorobyova, E., Soina, V., Gorlenko, M., Minkovskaya, N., Zalinova, N., Mamukelashvili, A., Gilichinsky, D., Vishnivetskaya, T. 1997. The deep cold biosphere: Facts and hypothesis, *FEMS Microbiology Reviews* 20: (3-4), 277-290.
140. Valentin, C., Bresson, M. 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55, p. 225–245.
141. Van Kaam-Peters, H.M.E., Sinninghe Damste, J.S. 1997. Characterisation of an extremely organic sulphur-rich, 150 Ma old carbonaceous rock: Palaeoenvironmental implications. *Organic Geochemistry* 27: (7-8), 371-397.
142. Whitton, B. A., Potts, M. 2000. The Ecology of Cyanobacteria. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, London, Boston.

143. Wall, S.D., Lopes, R.M., Stofan, E.R., Wood, C.A., Radabaugh, J.L., Horst, S.M., Stiles, B.W., Nelson, R.M., Kamp, L.W., Janssen, M.A., Lorenz, R.D., Lunine, J.I., Farr, T.G., Mitri, G., Paillou, P., Paganelli, F. and Mitchell K.L. 2009. Cassini RADAR images at hotei arcus and western Xanadu, Titan: Evidence for geologically recent cryovolcanic activity. *Geophysical Research Letters* 36: 4, art. no. L04203.
144. Whitehead, K., Hedges, J.I., 2005. Photodegradation and photosensitization of mycosporine-like amino acids. *J. Photochem. Photobiol. B* 80, 115–121.
145. Whitton, S.R., McKenzie, E.H.C., Hyde, K.D. 2003. Microfungi on the Pandanaceae: Zygosporium, a review of the genus and two new species. *Fungal Diversity* 12: 207-222.
146. Wynn-Williams, D.D., Edwards, H.G.M., Garcia-Pichel, F. 1999. Functional biomolecules of Antarctic stromatolitic and endolithic cyanobacterial communities, *European Journal of Phycology* 34: 4, 381-391.
147. Wynn-Williams, D.D., Edwards, H.G.M. 2000. Proximal Analysis of Regolith Habitats and Protective Biomolecules in Situ by Laser Raman Spectroscopy: Overview of Terrestrial Antarctic Habitats and Mars Analogs. *Icarus* 144: 2, 486-503.
148. Wdowiak, T.J., Lee, W., Cronin, J., Beegle, L.W., Robinson, M.S. 1995. Plasma processing of interstellar PAHs into solar system kerogen. *Planetary and Space Science* 43: (10-11), 1175-1182.
149. Warton, B., Alexander, R., Kagi, R.I. 1997. Identification of some single branched alkanes in crude oils. *Organic Geochemistry* 27: (7-8), 465-476.
150. Xie, S.P., Hafner, J., Tanimoto, Y., Liu, W.T., Tokinaga, H., Xu, H. 2002. Bathymetric effect on the winter sea surface temperature and climate of the yellow and East China seas. *Geophysical Research Letters* 29: 24, 81-1.
151. Yelle, R.V. 1991. Non-LTE models of Titan's upper atmosphere. *Astrophysical Journal* 383: 380–400.
152. Yakovleva, I., Hidaka, M. 2004. Diel fluctuations of mycosporine-like amino acids in shallow-water scleractinian corals. *Mar. Biol.* 145, 863–873.
153. Zhang, W., Zhang, Y., Chen, Y. 2008. Modified brittle poly(lactic acid) by biodegradable hyperbranched poly(ester amide). *Iranian Polymer Journal (English Edition)* 17: 12, 891-898.

154. http://www.akvarij.net/index.php?option=com_content&view=article&id=188:novela-o-algama-cijanobakterije&catid=45:anci&Itemid=147

155. http://www2.dbe.pmf.uns.ac.rs/PDF/bag/3.BAG-Cyanophyta_2009_10.pdf

156. <http://hrc.botanic.hr/botanika/Predavanja/BOTANIKA-MB-02-%20Cyanobacteria%20i%20Prochlorobacteria.pdf>

157.
http://geol.pmf.hr/~jsremac/predavanja/primjenjena_paeontologija/17_moderne%20metode_pal.pdf

158.
<http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2009/Cijanotoksini%20u%20vodi%20za%20vodosnabdevanje-WW09%20I%20deo.pdf>

159. <http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/hopanoids/index.htm>

160. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hopanoids>

161. <http://sr.wikipedia.org/wiki/Les>

162. <http://en.wikipedia.org/wiki/Fragipan>

163. <http://sr.wikipedia.org/wiki/Fikobilini>

164. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobiliprotein>

165. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrin>

166. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrobilin>

167. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycourobilin>

168. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycocyanin>

169. <http://en.wikipedia.org/wiki/Allophycocyanin>

170. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycoerythrocyanin>

171. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycocyanobilin>

172. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilin>

173. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phycobilisome>



KLJUČNA DOKUMENTACIJA

Redni broj, RBR:		
Identifikacioni broj, IBR:		
Tip dokumentacije, TD:	Monografska	
Tip zapisa, TZ:	Tekstualni štampani materijal	
Vrsta rada, VR:	Diplomski rad	
Autor, AU:	Jasna Tolmač	
Mentor, MN:	Dr Zorica Svirčev	
Naslov rada, NR:	Značaj biomarkera u astrobiologiji	
Jezik publikacije, JP:	Srpski (latinica)	
Jezik izvoda, JI:	Srpski/Engleski	
Zemlja publikovanja, ZP:	Srbija	
Uže geografsko područje, UGP:	Vojvodina	
Godina, GO:	2012.	
Izdavač, IZ:	Autorski reprint	
Mesto i adresa, MA:	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 2	
Fizički opis rada, FO: (poglavlja,strana/citata/tabela/slika/grafikona/priloga)	Poglavlja (8), strana (54), lit.citata (173), tabela (2), slika (9)	
Naučna oblast, NO:	Astrofizika	
Naučna disciplina, ND:	Astrobiologija	
Predmetna odrednica/Ključne reči, PO:	Cijanobakterije, les, površina sa biološkom pokoricom (PBP) biološka zemljšna pokorica (BZP), biološka lesna pokorica (BLP), biomarker, mikosporin, scitonemin, hopanoid, fikobiliprotein	
Univerzalna decimalna klasifikacija, UDK:		
Čuva se, ČU:	PMF, Biblioteka departmana za fiziku, Novi Sad	
Važna napomena, VN:	Nema	
Izvod, IZ:	<p>U astrobiologiji biomarker je jedinjenje koje bi moglo da ukaže na biološko poreklo organskih materija. Biomarker može biti bilo koji molekul koji ukazuje na postojanje nekog živog organizma, kako u sadašnjosti tako i u prošlosti. U cilju otkrivanja života van naše planete mogu se koristiti metode analize različitih biomarkera koji potiču od ekstremofilnih mikroorganizama. Cilj ovog rada je da se sagleda mogućnost upotrebe biomarkera u otkrivanju tragova života jedne veoma široko rasprostranjene i stare grupe mikroorganizama, a to su cijanobakterije. Pre nego što se sagledaju aspekti i mogućnosti njihovog nalaženja van naše planete, cilj ovog rada je da se pokuša sagledati i objasniti mogućnost nalaženja ovih biomarkera u veoma starim sedimentima Zemljine površine, odnosno da se sagleda njihova moguća uloga u paleoklimatskoj rekonstrukciji.</p> <p>U okviru ovoga rada obrađena je tema „Značaj biomarkera u astrobiologiji“. Razmatrana je aktuelna problematika vezana za: značaj ekstremofila u astrobiologiji, cijanobakterije kao ekstremofili, šta su biomarkeri, uloga biomarkera u paleoklimatskoj rekonstrukciji i primena biomarkera u astrobiologiji.</p>	
Datum prihvatanja teme, DP:	23.05.2012.	
Datum odbrane, DO:	28.06.2012.	
Članovi komisije, KO:	Predsednik:	dr Jelica Simeunović, docent
	Član:	dr Mira Terzić, redovni profesor
	Član, mentor:	dr Zorica Svirčev, redovni profesor



KEY WORDS DOCUMENT

Accession number, ANO:		
Identification number, INO:		
Document type, DT:	Monograph type	
Type of record, TR:	Printed text	
Contents code, CC:	Bacherol thesis	
Author, AU:	Jasna Tolmač	
Mentor, MN:	Dr Zorica Svirčev	
Title, TI:	The importance of biomarkers in astrobiology	
Language of text, LT:	Serbian (latin)	
Language of abstract, LA:	Serbian/English	
Country of publication, CP:	Serbia	
Locality of publication, LP:	Vojvodina	
Publication year, PY:	2012.	
Publisher, PB:	Author's reprint	
Publication place, PP:	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 2	
Physical description, PD: (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendices)	Chapters (8), pages (54), ref. (173), tables (2), pictures (9)	
Scientific field, SF:	Astrophysics	
Scientific discipline, SD:	Astrobiology	
Subject/Key words, S/KW:	Cyanobacteria, loess, biologicaly crusted surfaces (BCS), biologicaly soil crusts (BSC), biologicaly loess crusts (BLC), biomarker, mycosporines, scytonemin, hopanoid, phycobiliprotein	
Universal decimal classification UDC:		
Holding data, HD:	The Library of Dept. of Physics, Faculty of Sciences, Novi Sad	
Note, N:	None	
Abstract, AB:	In astrobiology, biomarker is a compound that could indicate the biological origin of organic matters. A biomarker can be any kind of molecule indicating the existence, past or present, of living organisms. In order to discover life outside of our planet can use methods of analysis of different biomarkers derived from extremophile microorganisms. The aim of this paper is to discuss the possibility of using biomarkers to detect traces of life of a very old and widespread group of microorganisms, such as cyanobacteria. Before we review the aspects and possibilities to find it out of the our planet, the goal of this paper is to try to examine and explain the possibility of finding these biomarkers in very old sediments of the Earth's surface, and to analyze their possible role in the paleoclimatic reconstruction. This work deals with the topic "The importance of biomarkers in astrobiology." Discussed the current problems related to: the importance of extremophiles in astrobiology, cyanobacteria as extremophiles, what are the biomarkers, the role of biomarkers in paleoclimatic reconstruction and application of biomarkers in astrobiology.	
Accepted by the Scientific Board on, ASB:	23.05.2012.	
Defended on, DE:	28.06.2012.	
Defended Board, DB:	President:	dr Jelica Simeunović, docent
	Member:	dr Mira Terzić, full profesor
	Member, Mentor:	dr Zorica Svirčev, full professor

Želela bih da se zahvalim mentoru
prof. dr Zorici Svirčev na
pomoći tokom izrade i
konačnog uobličavanja ovog rada.