

SEDIMENTOGENEZA BIOTICA

Procese constructionale

Biosecretia minerală

Acretia algală si cimentarea biotică (încrustatia)

Bioconstructia coralgală (Formarea recifilor)

Procese geobacteriene

Procese deformationale (bioturbatia)

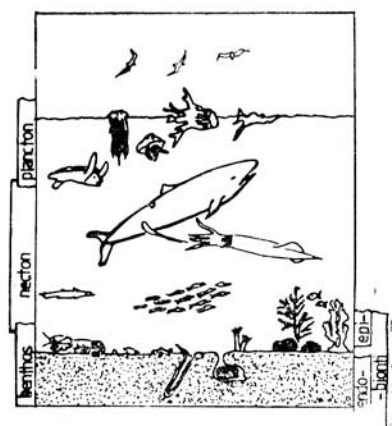
De la aparitia formelor de viață pe Pământ - în urmă cu 2,5 miliarde ani - si de la diversificarea lor în momente imediat următoare, procesele exogene de la suprafata scoartei terestre au căpătat noi valente. Activitatea biotică (vegetală si animală) a imprimat trăsături specifice mediilor de sedimentare si a constituit, pentru procesul de sedimentare în sine, o sursă constantă si variată de material. Adaptate la conditii foarte diferite de mediu, situate, practic, în toate zonele climatice si circumscrise atât ariilor continentale cât si bazinelor marine si oceanice, organismele au înregistrat în lantul lor filogenetic trăsături si mecanisme fiziologice capabile să permită plasarea lor în contextul în care au evoluat. Astfel, alături de produsele mecanice si chimice, produsele biotice vor putea servi întotdeauna la reconstituirea paleomediilor sedimentare.

În raport cu substratul pe care trăiesc si consecintele pe care acest aspect îl are în sedimentogeneză, organismele vegetale si animale pot fi *sesile* (sedentare sau fixate de substrat) si *vagile* (libere); ele își concentrează activitatea fie la suprafata unui sediment (organismele *epifaunale*), fie în interiorul acestuia (organismele *infaunale*). Vietuitoarele libere formează, la rândul lor, *populatii bentonice* adaptate la viata de fund si *populatii planctonice* (pelagice) adaptate la viata de larg (fig. 1.33).

În cadrul ariilor continentale sau bazinelor marine, activitatea biotică a contribuit, direct sau indirect, la formarea unor depozite sedimentare. În ariile continentale, dezvoltarea vegetatiei - în special - a însemnat o sursă pentru depozitele de cărbuni si, indirect, un regulator al continutului de gaz din atmosfera (O_2 , CO_2). Instalarea vegetatiei în partea superficială a scoartei de alterare si fixarea, aici, a unor procese biotice microbiene au contribuit la formarea păturii de sol.

Existenta vietii în cadrul bazinelor marine si oceanice a însemnat, însă, principala cale de diversificare a proceselor sedimentare si o conditie pentru acumularea hidrocarburilor si rocilor organogene carbonatice silicioase sau fosfatice.

Interactiunea care s-a stabilit între organisme si substratul pe care acestea si-au desfășurat activitatea - adesea un sediment - a condus la modificări structurale de anvergură, capabile să puncteze în succesiunea unor astfel de depozite momente de întrerupere a sedimentării, momente de subsidentă în aria bazinului, trăsături batimetrice ale acestora sau conditii hidrodinamice (fig. 51).



BENTOS		PLANCTON		
Substrat				
Moale		Coeziv (dur)		
Infauna (Endobionti)	Epifauna (Epibionti)			
	+ + +	+ + +		Foraminifere
		+ + +		Radiolari
		+ +		Spongieri
		+ +		Corali
		+ +		Briozoare
+ +	+ +			Brochiopode
+ +	+ +			Bivalve
+ +	+ +			Gastropode
+ +	+ +		+	Anelizi
		+	+	Ostracode
		+		Arthropode
			+	Echinoderme
		+	+	Chlorophyta
		+	+	Cyanophyta
				Rhodophyta

Fig. 1.33. Principalele grupe de organisme animale si vegetale si modul lor de viață în raport cu substratul.

Dintre activitățile biotice cu implicatii petrogenetice si sedimentogenetice distingem:

1) procese constructionale, generatoare de produse sedimentare, cum ar fi *biosecretia minerală*, *acretia algală* si *cimentarea biotică*, *bioconstructia coralgală*, *procesele geobacteriene* si

2) procese distructive, generatoare de detritus organogen, prin distrugerea scheletelor si modificarea unor structuri sedimentare preexistente, prin *bioturbatie*.

Procese constructionale

a. Biosecretia minerală

Una din formele cele mai expresive de adaptare a organismelor la mediul înconjurător o constituie si capacitatea lor de a secreta substante minerale care se individualizează sub formă de schelete-suport sau învelisuri protectoare (valve, cochilii, camere, spiculi, frustule etc.) si care se pot conserva după moartea acestora.

Biosecretia minerală este un proces metabolic de natură biochimică propriu atât organismelor vegetale, cât si celor animale (nevertebrate si, respectiv, vertebrate). Procesul este expresia pozitiei filogenetice si particularităților fiziologice ale organismelor respective si este controlat, în cazul organismelor acvatice, de concentratia în săruri si microelemente a apelor, de temperatura si presiunea gazelor (în special O₂ si CO₂) etc.

Importanta geologică a biosecretiei minerale rezidă si capacitatea organismelor

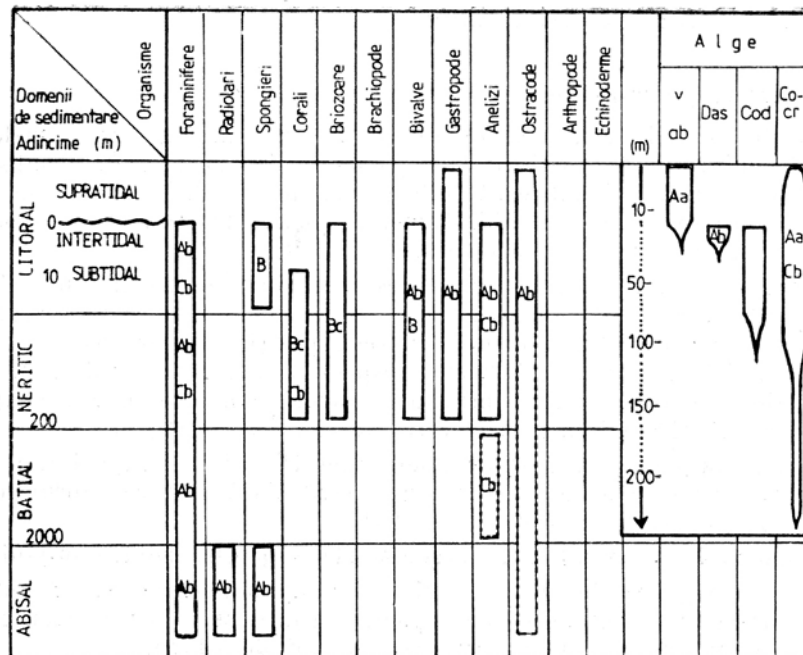


Fig. 1.34. Distribuția batimetrică în domeniul marin a principalelor grupe de organisme și procesele biotice desfășurate: Bc - bioconstrucții; Aa - acrecție algală; Cb - cimentare biotică; Ab - acumulări de bioclaste; B - bioturbării, perforații (±) fără semnificație; Alge verzi (v), albastre (ab), Dasycladaceae (Das), Codiaceae (Cod), Coralinaceae crustoase (Co-cr).

de a concentra Ca, Si și P și de a controla, astfel, echilibrul acestor elemente în procesele exogene (fig. 1. 35).

Mecanismele biosecretiei la organismele vegetale. Dintre organismele vegetale, unele grupe de alge (Coralinaceae, Cyanophiceae, Rhodophiceae, Coccolitoforideae) și diatomeele au capacitatea de a secreta prin metabolism celular carbonat de calciu și, respectiv, bioxid de siliciu.

Calcifierea internă la Coralinaceae (g. Halimeda) și Rhodophiceae este legată de morfologia celulei și de absorbția și asimilarea metabolică a carbonatilor și se manifestă prin apariția unor centri de cristalizare de dimensiuni micronice de la peretele extern al celulei spre interiorul său (fig. 1.36). Simultan cu creșterea germenilor de calcit, algele roșii au tendința să concentreze diverse microelemente, cum ar fi: Ti, W, Bb, Cs, Sr, Ba.

Calcifierea extracelulară este specifică algelor verzi din grupul Coralinaceelor și Dasycladaceelor și se manifestă prin depuneri de aragonit în timpul fotosintezei și extracției CO_2 din apă; în aceste momente echilibrul carbonatic se strică și are loc depunerea CaCO_3 pe suprafața talului.

Diatomeele extrag SiO_2 , din apele reci în care este dizolvat și-si construiesc un test protector din opal. Formele de apă dulce au tendința de a reține izotopul ușor al siliciului (^{28}Si).

Mecanismele biosecretiei la nevertebrate. Organismele nevertebrate, față de toate celelalte, secretă părți scheletice de o mare diversitate morfologică, structurală și, chiar, mineralogică. Foraminiferele, hidrozoarele, briozoarele, brachiopodele, molustele și echinodermele precipită carbonat de calciu sub formă de calcit, aragonit, calcit magnezian, iar radiolarii și spongierii precipită SiO_2 sub formă de opal și calcedonie.

Secretia minerală în corpul sau la suprafața organismelor este catalizată de exis-

Grupe de organisme	Alge	Protozoare	Spongierei	Celenterate	Briozoare	Brahopode	Moluste	Artropode	Echinoderme	Hemicordate
Constituenți mineralogici										
CARBONAȚI										
- Aragonit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
- Calcit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
- Aragonit + calcit										
- Vaterit										
- Protodolomit										x
SILICE										
- Opal	x	x	x							
FOSFAȚI										
- Dahlit							x			
- Francolit							x			
- Hidroxiapatit										

Fig. 1.35. Principalele grupe de organisme și compoziția mineralogică a părților lor scheletice.

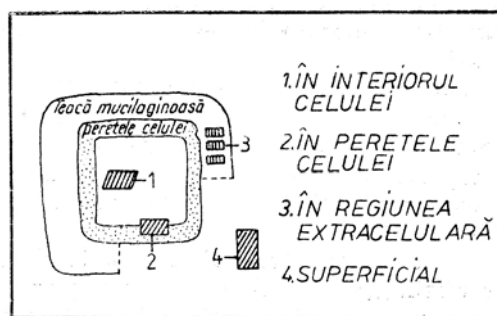
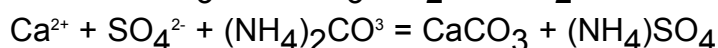


Fig. 1.36. Germinarea cristalelor de CaCO₃ în cadrul celulei algale [21].

tenta unor enzime (anhidraza carbonică) sau a unor aminoacizi și de creșterea conținutului de oxigen celular. O primă treaptă în construcția părților scheletice o constituie secreția unei matrici de aminoacizi prin care organismul își creează suportul pe care va avea loc dezvoltarea cristalelor de CaCO₃. Matricea joacă desigur rolul unui agent de calcifiere, ce controlează difuzia Ca și a altor elemente (Mg, Cr, Si, P) în corpul moale al organismului și creșterea conținutului de calcit sau de calcedonie. Se poate spune deci că forma acestei matrici prefigurează viitorul învelis mineral (fig. 1.37). Hare a demonstrat această conexiune încă din 1963, analizând cochiliile de bivalve și gastropode, după care nenumărate alte studii, stimulate de progresele în microscopia electronică, au confirmat-o.

Mecanismul biosecreției include o serie de procese complexe care, în cazul sintezei carbonatilor, urmează reacții de tipul



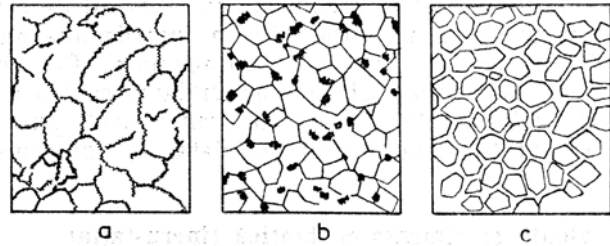
În funcție de poziția taxonomică (filogenetică) a diverselor organisme, absorbția se poate face simultan cu Mg și Sr, cum este cazul la corali, sau se realizează selectiv (fără Mg, Sr), generând cochiliile foarte pure (cazul valvelor de moluste). Chave și Chillingar au constatat că raportul Ca : Mg din testurile unor organisme este controlat de temperatură, salinitatea mediului și mecanismele de creștere; de asemenea, a fost sesizată corelația pozitivă între aragonit și temperatură pentru speciile mari ale unor lamelibranhiate (g. *Mytilus*) și lipsa acesteia la speciile mici.

Urmărindu-se natura aragonitică sau calcitică a unor cochilii în legătură cu gradul de salinitate a apelor în care trăiesc organismele respective, s-a putut constata că în apele dulci anumite specii secretă aragonit iar, pe măsura creșterii gradului de salinitate a apelor, secreția biochimică a organismelor conduce la cochilii dominante calcitice.

Compoziția izotopică a principalelor elemente - C și Si - din constituția unor teste poate avea și ea semnificații genetice.

Dintre izotopii stabili ai carbonului ¹²C se concentrează în carbonatii de natură organogenă, ceea ce face ca raportul izotopic ¹²C/¹³C să fie întotdeauna mai mare în

Fig. 1.37. Stadii de depunere a germenilor cristalini pe o matrice de proteine în cadrul unei părți scheletice de natură minerală (x 10 000). Imagine la microscopul electronic.



calcarele organogene ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 90,4 - 93$) decât în cele de precipitație chimică ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 88 - 89$). Pentru izotopii siliciului s-a stabilit tendința de concentrare a izotopului greu ^{30}Si în formele de apă sărată - radiolari și spongieri.

Mecanismele biosecretiei la vertebrate. În lumea vertebratelor biosecretia minerală stă la baza formării oaselor și a dinților. La originea țesutului osos stau moleculele de collagen - o substanță organică cu structură în lanț, alcătuită din segmente de aminoacizi legate prin legături de hidrogen. O asemenea moleculă atinge lungimi de 3000 Å și un diametru de 14 Å și intră în constituția matricei organice care se organizează în grupări de proteine capabile să concentreze cationi (Ca^{2+}) și anioni (PO_4^{3-} , CO_3^{2-}) în poziții specifice ce prefigurează - și aici - structura viitorului țesut osos. Treptat, pe fondul moleculelor de collagen apar nucleii de hidroxiapatit - principalul compus mineral al oaselor - care asigură conservarea lor în depozitele fosile.

Procesele metabolice capabile să genereze părți scheletice de natură minerală, rezistente la acțiunea distructivă a factorilor mecanici și chimici, asigură conservarea și transmiterea în timp a numeroase caractere filogenetice prin care putem reconstitui întreaga istorie a lumii vii. În același timp, biosecretia minerală se dovedește a fi o sursă importantă de "particule" sedimentare: material scheletal sau bioclaste (termen general prin care se definește totalitatea părților minerale din organisme - taluri frustule, valve, cochilii, spiculi, schelete, oase, dinți etc.). După moartea organismelor, bioclastele se acumulează și intră în constituția depozitelor organogene de natură carbonatică, silicioasă sau fosfatică, de aceea denumite depozite și roci bioclastice.

Concentrarea bioclastelor poate corespunde unei *biocenoză*, când provine de la asociația faunistică din acel loc sau poate fi construită din resturi de organisme din locuri diferite, când se vorbește de "*orizonturi condensate*" sau structuri de condensare. Concentrarea are cauze variate: lipsa sedimentării terigene, depunerea gravitațională, transportul prin curenți acvatici, acumulare prin intermediul altor organisme etc. Gradul de articulare a bioclastelor, forma și grosimea acestora reflectă întotdeauna energia hidrodinamică a mediului în care sau prin care s-au acumulat. Conservarea bioclastelor are loc, de cele mai multe ori, prin acumularea rapidă a unui material terigen pelitic. În felul acesta "orizonturile conservate", prin caracterul lor autohton, reflectă întotdeauna mediul de viață al organismelor respective (fig. 1.38).

b. Acretia algală și cimentarea biotică (încrustația)

Algele, alături de capacitatea lor de a secreta carbonat, de calciu, constituie și un mediu "capcană" pentru suspensiile aflate în imediata lor vecinătate. În regiunile calde tropicale și subtropicale și în apele aerate de mica adâncime din zonele litorale afectate

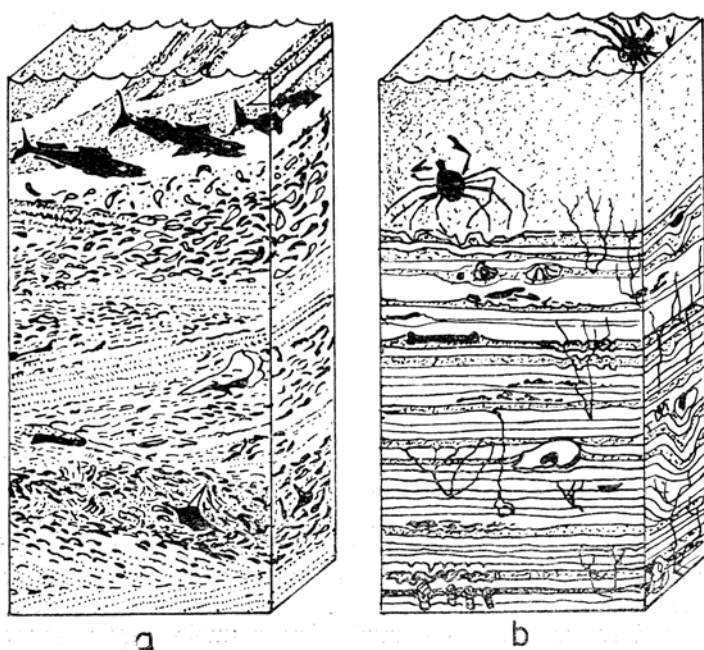


Fig. 1.38. Principalele modalități de acumulare a bioclastelor după moartea organismelor [52]: a - orizonturi fosilifere condensate, formate prin concentrarea mecanică a părților scheletice de natură minerală; b - bioclaste autohtone conservate în mediul lor de viață.

de marea sau din zonele neritice (pe selful intern până la maxim 150 m adâncime), algele albastre filamentoase - Cyanophyceae - secretă prin talul lor uleios un mucilagiu organic bogat în polizaharide; acesta joacă rol de capcană (ecran) pentru clastele carbonatice și necarbonatice de dimensiuni micronice. Astfel, genurile *Schizotrix*, *Scytonema*, *Ivanovia*, *Thalassia*, cu frecvență mare în apele saturate cu CaCO_3 , înglobează sau acretionează cristale de aragonit, calcit magnezian și detritus mineral (silt, fracțiune pelitică) contribuind, pe această cale, la acumularea unui depozit mixt organo-mineral. Sedimentele alge astfel formate au o structură laminitică, microstratificată și poartă denumirea generală de stromatolite. Creșterea lor, influențată de regimul climatic și consecințele sale (aport de claste, modificarea densității apelor, a salinității lor) are un caracter sezonier, periodic. În laminele formate vara se asociază coccoide (g. *Aphanocapsa*), iar în cele depuse iarna cianobacterii filamentoase (g. *Spirulina*). Rata de creștere a stromatolitelor actuale este de 10 - 14 mm/an sau de 8 - 12 g/cm²/zi, iar grosimea lor totală în bazine, de regulă, subsidente poate depăși zeci de metri. Laminatia caracteristică stromatolitelor apare ca un rezultat al fluctuațiilor în cantitatea de suspensii, a ratei de eroziune și sedimentare terigenă și a salinității apei, a capacității de penetrare a luminii și, prin acesta, se constituie ca un sensibil indicator al condițiilor de sedimentare (și, desigur, în cazul depozitelor vechi, fosile, al paleomediului de sedimentare) (fig. 1.39). Procesul de creștere și acumulare a acestor depozite poate fi inhibat când sedimentarea este prea lentă și se acumulează doar substanța organică, când se acumulează claste: cu diametrul mai mare decât grosimea mucilagiului (pe care filamentele alge nu le pot îngloba) și în cazul existenței unor curenți acvatici cu viteză mare (peste 15 - 20 cm/s) care împiedică formarea unor astfel de depozite. Din punct de vedere mineralogic stromatolitele sunt depozite carbonatice și, mult mai rar, silicioase. Acestea din urmă - pseudostromatolite - sunt construite de alge și bacterii silicioase din vecinătatea izvoarelor fierbinti.

Morfologia și structurile stromatolitelor sunt foarte variate și reflectă relațiile dintre alge și substrat. Produsele generate de acretia algală apar fixate și libere. Organismele sesile construiesc stromatolite tipice, legate de substrat printr-un pat algal ("algal-mats")

cu laminatie paralelă, în care se dezvoltă succesiv domuri sau protuberante si "biscuiti algali" (structuri elipsoidale aplatizate, cu diametrul de 3 - 4 mm). Organismele vagile generează oncolite si rodolite.

Forma stromatolitelor tipice derivă din caracterul izolat sau înlântuit al unor unități geometrice cu aspect de emisferoizi - domurile sau protuberantele algale. Folosind astfel de criterii, Logan si Flugel descriu două tipuri fundamentale:

- structuri laminitice de înlântuire (LLH - de la "lateral link hemispheroid", în limba engleză), formate prin unirea laterală a domurilor algale;
- structuri laminitice izolate (SH - de la "stocked hemispheroid" în limba engleză), reprezentând domuri algale cu dezvoltare columnară.

Oncolitele si rodolitele sunt, produse depozitionale algale cu structuri sferoidale sau nodulare produse de Cyanophyceae (g. Rothpletzella, g. Girvanella) si respectiv Rhodophyceae (g. Lithothamnium, g. Mesophyton). Acretia algală se produce în jurul unui nucleu (sau a mai multor nuclei) de latură biotică (fragment scheletic, valvă) sau minerală (claste de cuarț, calcit, glauconit, clorit), care devine centrul unei laminatii concentrice sau neregulate. Prezentând similitudini genetice cu stromatolitele s.s. se mai numesc "stromatolite sferoidale" (tip SS - de la "spheroidal structures", în limba engleză). Dimensiunile lor medii sunt subcentimetrice, rar depășind 5 cm ("macrooncolite").

În raport cu oncolitele, rodolitele sunt mai bogate în calcit magnezian si pot prezenta terminatii columnare. Ele se asociază platformelor carbonatice sau sedimentelor nisipoase din zonele de shelf intern; alteori, colmatează canalele de eroziune submarină.

În ambianta stromatolitelor si oncolitelor, organismele vegetale modifică echilibrul carbonatic din ape si "fortează" precipitarea chimică a CaCO_3 sub forma de cruste (încrustatii) la suprafata produselor de acretie sau ca ciment al acestora. În depozitele fosile se face greu distinctie între natura organogenă si cea chimică a carbonatilor asociati. Bioconstructii stromatolitice se întâlnesc în toate perioadele geologice, începând cu Proterozoicul si ajungând până în Cuaternar. În procesele de sedimentare actuală, ele sunt tipice în Golful Persic, Marea Rosie, Oc. Atlantic (Arh. Bermude), golful Mexic (Pen. Florida) si în vestul Australiei (Shork Bay).

În tara noastră, Ovidiu Dragastan a studiat; si descris stromatolitele în depozite triasice din muntii Persani si Pădurea Craiului, în depozite jurasice din muntii Hășmas si Persani (oncolite), în Cretacicul din Dobrogea si Miocenul din Bazinul Hateg (rodolite).

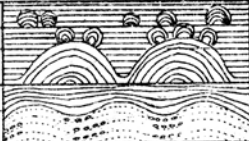
		VITEZA - CURENTULUI [cm/s]	MISCARE A SE - DIMENTULUI [ore, 35cm]
PAT* AL GAL		> 15 - 20	< 60-80
BISCUITI AL GALI		1 - 11	8-60 rata si abia de acumulare
DOMURI		1 - 11	8-60 acumulare pe verticală
PAT* AL GAL		> 15 - 20	< 60 - 80
VALURI DE NISIP CU ELE- MENIE APLATISATE		> 15 - 20	> 60 - 80 (miscare)

Fig. 1.39. Succesiunea de formare a structurilor stromatolitice si conditiile de mediu în care apar [21].

c. Bioconstrucția coralgă (Formarea recifilor)

Activitatea organismelor sesile și coloniale - corali, alge briozoare - adesea circumscrisă unei biocenoze într-un spațiu geografic bine delimitat întotdeauna cuprins între paralele de 30° latitudine nordică și sudică, conduce la nașterea recifilor.

În geneza formațiunilor recifale interesează două aspecte distincte: bioconstrucția scheletului rigid și acumularea sedimentelor derivate (mobile).

Organismele prinse în procesul de bioconstrucție trăiesc fixate de substrat și sunt reprezentate prin colonii de corali hermatipici, care trăiesc în simbioză cu alge verzi zooxante cărora li se asociază alge roșii ce contribuie la fixarea (cimentarea sau încrustarea) sedimentelor derivate. Desfășurarea proceselor metabolice care conduc la fixarea CaCO_3 în corpul coraliilor sau algelor, și astfel creșterea scheletului mineral, sunt controlate întotdeauna de anumiți factori care delimitează repartiția areală a recifilor.

Producția de carbonat de calciu și dezvoltarea normală a coraliilor și algelor sunt considerate optime în ape cu temperaturi medii de 21 °C, bine aerate și luminate (cu transparentă constantă) și cu o salinitate apropiată de normal (35 o/oo sau cu limite cuprinse între 27 - 40 o/oo). Astfel de condiții pot fi îndeplinite în ape puțin adânci (0 - 50 m) în care rata de sedimentare terigenă este foarte scăzută (altfel, evoluția organismelor în aceste spații este inhibată), iar produsul de activitate a CaCO_3 este aproape de constantă sau de echilibru. În acest cadru, până la latitudinea de 15° N și S, regimul hidrodinamic, al mărilor și oceanelor este mai activ, apele sunt mai agitate, iar dezvoltarea complexelor recifale se află sub influența a două sezoane climatice; între aceste limite se dezvoltă recifii de "apă agitată". Între latitudinea de 15 - 30° lat. N și S, energia bazinului, ca o expresie a regimului hidrodinamic sau a mișcării apelor, este scăzută și aici se dezvoltă așa-numiții recifi "de alizeu" (sau "de mare calmă").

Formarea scheletului la corali și alge apare ca un fenomen enzimatic prin care carbohidraza celulară desface $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ preluat din apă și transferat prin ectoderm, în CaCO_3 , H_2O și CO_2 ; în acest circuit, CO_2 este utilizat în procesul de fotosinteză a algelor zooxante, iar H_2O este eliminată în procesul metabolic (fig. 1.40).

Scheletul astfel format constituie armătura (cadrul) recifului - o rețea minerală tridimensională, rigidă, cu numeroase spații (interscheletice), care adăpostesc organisme asociate (echinoderme, foraminifere, spongieri, gastropode, vermetide). Aceste spații sunt treptat colmatate cu sedimente clactice, adesea rezultate din distrugerea mecanică sau biomecanică a coloniei ce intră sub impactul valurilor sau este distrusă de

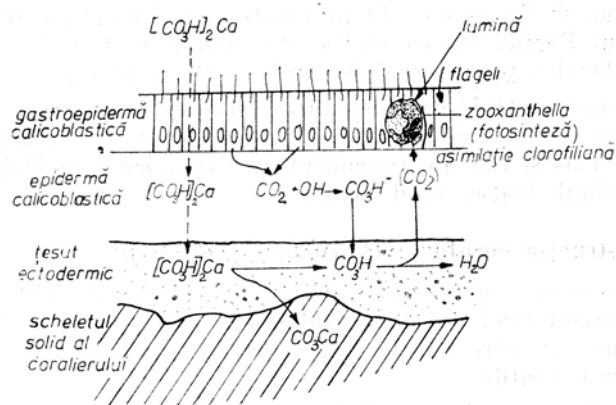


Fig. 1.40. Mecanismele de depunere a CaCO_3 în scheletele organismelor coraligene.

organisme litofage (viermi, spongieri). În aria recifului se acumulează astfel și un detritus carbonatic de dimensiuni rudite, arenitice sau siltice, cu numeroase bioclaste și fragmente scheletice coraligene și algale.

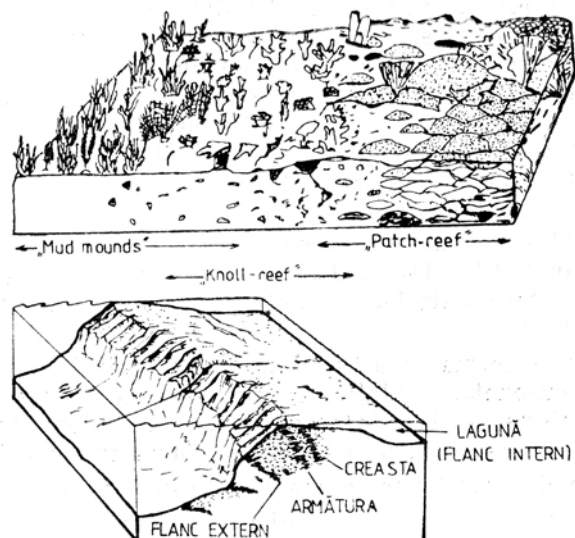
În arhitectura unui complex recifal astfel înălțat se disting două sectoare: armătura centrală și flancurile (fig. 1.41).

Armătura centrală corespunde platformei și crestei recifale și este clădită de organisme sedentare; ele se conservă în poziție de creștere, nefragmentate și reflectă adesea o zonare areală și verticală. Creasta se conturează ca un domeniu marginal al armăturii, este emersă, dezvoltată spre largul bazinului și, de aceea, expusă permanent, acțiunii valurilor; ea este dominată de algele încrustante roșii și apare nestratificată.

Flancurile recifului - extern și intern - sau zonele în care se înfruntă tendința de expansiune a corailor cu forța distructivă a mării găzduiesc sedimente mobile derivate: un detritus bogat în fragmente scheletice, mai grosier spre armătură și mai fin spre largul bazinului și, respectiv, spre laguna pe care acesta o închide spre continent. Activitatea coralgală se dezvoltă (1) în zone litorale și sublitorale, unde se disting: recifi litorali (de coastă sau riverani), azi prezenți în Marea Rosie, Golful Persic și Arh. Bahama; recifi barieră, de exemplu Marea Barieră Australiană până la 4 000 km lungime și 90 km lățime, Bariera Fidji etc.; (2) în zone insulare mai depărtate de țărm, sub formă de recifi circulari, insulari sau "atoli" (de exemplu, Das Bocas în Atlanticul de sud, Addu în Oceanul Indian, Bikini în Oceanul Pacific). În zonele marginale populațiile concentrate de corali și alge se întâlnesc și colonii izolate, submerse, în formă ovală și de dimensiuni reduse (2-200 cm) cunoscute sub denumirea "patch reef".

În formațiuni geologice produsele coloniilor coralgale se regăsesc sub forma unor acumulări masive de formă columnară sau conică, așa-numitele bioherme, sau sub forme lenticulare concordante cu formațiunile care le delimitează, așa-numitele biostrome. Frecvente în asociațiile de roci carbonatice organogene, dar mai puțin spectaculoase și mai greu identificabile, sunt diversele protuberante sau domuri calcaroase. Pentru care literatura anglosaxonă utilizează o mare varietate de termeni: "knoll reef" și "pinnacle reef" (recifi conici, cu flancuri în trepte), "mound reef" (corpuri bioconstruite

Fig. 1.41. Arhitectura unui complex recifal și frecvența organismelor coloniale și asociate care l-au bioconstruit [12].



elipsoidale sau echidimensionale de tip dom sau movilă).

Bioconstrucții coralgale cu morfologie recifală sunt cunoscute în aproape toate perioadele geologice. Evidențiate încă din Cambrian (Australia), apar sporadic în Silurian (prov. Gothland, Suedia), Devonian (prov. Alberta, Canada), Carbonifer (nordul Angliei), Permian (complexul Captain, New Mexico) și se dezvoltă exploziv în Mezozoic și Tertiær. În Carpații românești activitatea coralgă poate fi reconstituită în platformele carbonatice mezozoice din munții Bihor, Mures, Mehedinți, Hășmas și zona Piatra Craiului - Strunga (M. Bucegi), Postăvaru (Carpații Meridionali).

d. Procese geobacteriene

În universul microscopic al proceselor biotice care controlează echilibrul materiei organice și anorganice în foarte diverse medii naturale și catalizează variate procese sedimentogenetice, bacteriile reprezintă grupul cel mai activ de organisme. Adaptate la condiții de viață foarte diferite - temperaturi scăzute (aproape de 0°) și ridicate (la peste 60 - 70 °C), la zone aerate sau lipsite de oxigen și lumină, trăind în absența apei sau foarte prolific în prezența ei - bacteriile se întâlnesc în toate mediile geologice dar, în special, în cele subaerene și subacvatice.

Activitatea lor poate fi considerată apreciabilă din punct de vedere petrogenetic la nivelul soluțiilor interstțiale din soluri și în apele lacustre și marine de adâncime mică sau mare, precum și în masa sedimentelor pelitice care suferă îngropări progresive până la adâncimi ce depășesc 100 m. Frecvența bacteriilor în astfel de medii este o funcție directă a factorilor presiune, temperatură, chimism, masă de substanță organică, care în toate situațiile proliferază dezvoltarea lor.

În apele puțin adânci, numărul bacteriilor atinge sute de milioane/gram sediment. S-a constatat că în soluri frecvența lor scade cu adâncimea, iar în bazinele lacustre și marine scade cu distanța față de tărâm; de asemenea, ele se află într-o relație invers proporțională cu fitoplanctonul și prezintă tendințe de concentrare la interfața sediment-apă, de asemenea, în sedimentele fine sunt mai abundente decât în cele medii și grosiere (fig. 1.42)

În mediile în care se dezvoltă, bacteriile sunt, mari consumatori de oxigen și își iau energia necesară fie de la soare, fie din substratul pe care trăiesc. Astfel, bacteriile autotrofe utilizează energia solară pentru sintezele pe care le efectuează prin intermediul luminii (ele sunt fotosintetizante) energie generată de reacțiile chimice proprii (sunt chimiosintetizante).

Bacteriile heterotrofe, mult mai numeroase, obțin energia necesară proceselor de

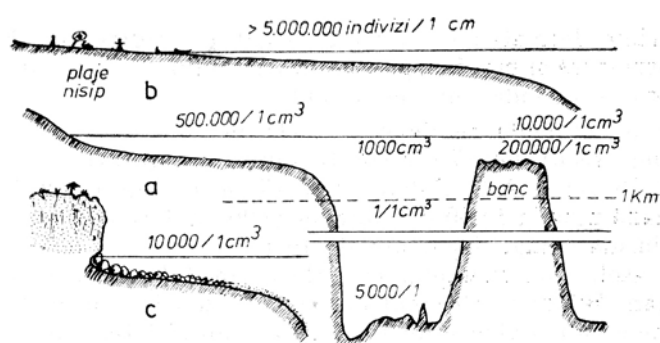
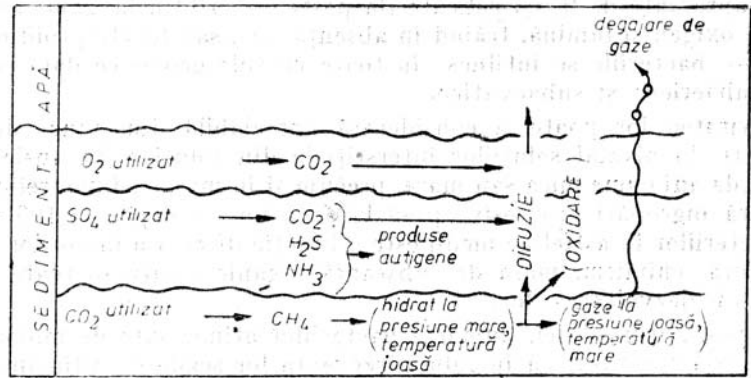


Fig. 1.42. Populații de bacterii în diferite medii geologice.

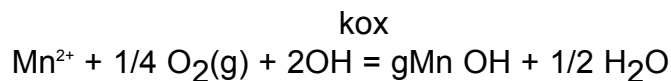
Fig. 1.43. Productia bacteriană de gaze în apropiere de interfata sediment-apă.



sinteză din procesele de descompunere a substantelor organice; ele pot fi atât aerobe cât și anaerobe. Un calcul estimativ apreciază consumul de oxigen în toate genurile de activități pe care le desfășoară la 30 cm³/oră pentru 1 g de bacterii, valoare considerată foarte mare comparativ cu consumul de oxigen al macroorganismelor (1 cm³/oră). În felul acesta, activitatea microbiană se conturează ca un puternic regulator al potentialului redox al mediilor în care se dezvoltă și, implicit, al convertirii C, N, P organic în compusi anorganici. Prin metabolismul lor, bacteriile participă la foarte diverse procese naturale care influențează direct sau indirect mecanismele sedimentogenetice. Astfel, ele reprezintă importanți producători de gaze (O₂, CO₂, CH₄, H₂S) în masa sedimentelor pelitice, concentrează ioni metalici (Fe²⁺, Mn²⁺, S) la interfata sediment-apă, solubilizează și precipită compusi minerali, modifică proprietățile tixotropice și tensiunile superficiale ale clastelor minerale, schimbă și aportul izotopic al O, C, S etc. (fig. 1.43).

Din punct de vedere sedimentologic bacteriile sunt implicate atât în procese depozitionale, cât și în procese postdepozitionale.

Procese mineralogenetice. Bacteriile autotrofe modifică mediul mineral în care trăiesc prin generarea de acizi anorganici (H₂SO₄, HNO₃) și precipitarea biochimică a oxizilor, hidroxizilor, sulfatilor și carbonatilor. În mediile naturale ele intervin în ciclul Fe, Mn, Ca, S, N, P. Dintre bacteriile implicate în mineralogeneza compusilor de Fe și Mn, bine cunoscute sunt genurile *Sphaerotilus*, *Crenotrix*, *Siderococcus*, *Thiobacillus* - care trăiesc în lacuri - și genurile *Ochrobium*, *Athrobacter*, *Metallogenium* - care trăiesc în mări. Bacteriile oxidante ale genului *Metallogenium* măresc potentialul redox al reacției de formare a compusilor de mangan și determină, prin aceasta, creșterea proporțională a Eh-ului:



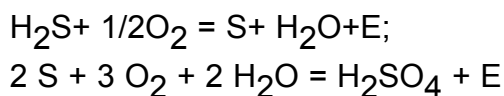
kred

cu Gr₀ = - 31 kcal/mol, la un pH = 7, PO₂ = 5 mg/l, Eh = 220 mV.

Valoarea negativă a energiei libere de reacție este un indicator al faptului că presiunea O₂, este suficientă pentru precipitarea manganitului (gMnO(OH)); în astfel de compusi a fost sesizată și concentrarea microbiană a Co, Cu, Ni, Zn. Astăzi, acest mecanism se consideră responsabil pentru creșterea unor noduli polimetaliți la interfața dintre argilele roșii abisale și apa oceanică. Bacteriile genului *Thiobacillus* fenoxidans

oxidează fierul feros în fier feric cu formarea unui precipitat de hidroxid de fer (FeO.OH). În scoartele de alterare si soluri astfel de bacterii facilitează solubilizarea Fe²⁺ metalic (la un pH = 4 - 5); ele descompun compusii organici cu fier si modifică pH-ul mediului prin intermediul CO₂; procesele sunt foarte active în unele lacuri.

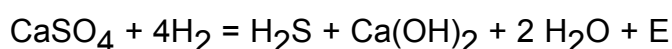
Bacteriile, sulfat-oxidante - g. Thiobacillus, de ex. - oxidează H₂S din mediile euxinice si pun în libertate sulf molecular pe care alte bacterii îl trec în acid sulfuric si, respectiv, sulfat, după reactii succesive de tipul



Tabelul 1.9. Principalele efecte ale bioturbatiei (s.l.) asupra sedimentelor si rocilor din meiu de viață al organismelor si repartizarea lor pe zone batimetrice

Efecte generale	Natura substratului	Structuri rezultate	Repartitia structurilor pe zone batimetrice			
			L	N	B	A
Structuri biotice superficiale	moale (mâl, nisi-pos)	bioglife urme de:				
		târâre hrănire adăpost locomotie pelete fecale	X X X X	X	X	X
Structuri biotice de adâncime	necoeziv	bioturbatii figurative (s.s.) (canaliforme) deformative	X	X		
		perforatii excavatii canale	X X			
			L - litoral, N - neritic, B - batial, A - abisal			

Bacteriile sulfat-reducătoare - g. Desulfovitrrio, de ex. atacă compusii oxidati ai sulfului si îi transformă în H₂S, iar în prezenta în aceste conditii, generează pirita (FeS₂):



Multe bacterii marine, în special denitrifiante si sulforeducătoare, de exemplu g. Pseudomonas calcis, au capacitatea de a descompune substantele organice si de a

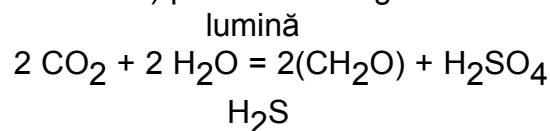
cataliza precipitarea CaCO_3 , sub formă de ace de aragonit și romboedri de Mg-calcit; de asemenea, mai rar, monohidrocalcit și struvit. Formarea unor astfel de compusi a fost, de altfel, remarcată în Arhipelagul Bahama și pe selful din fata Pen. Florida.

Tot unele bacterii marine din zona fotică, prin echipamentul lor enzimatic, sunt antrenate în procese de fotosinteză prin care P extras din compusi organici este eliberat în stare ionică și, apoi, fixat ca hidroxiapatit; depunerea sa pe această cale poate avea loc simultan cu precipitarea carbonatilor.

Prin astfel de procese, bacteriile controlează echilibrul natural al compusilor respectivi (oxizi, carbonati, sulfuri, fosfati) în medii de sedimentare foarte diferite.

Procese organogenetice. Alături de rolul lor mineralogenetic bacteriile fotosintetizante, în special cele heterotrofe, domină procesele organogenetice prin sinteza unui număr mare de substanțe organice. Dintre acestea, cele care conduc la hidrocarburi prezintă cea mai mare importanță sedimentologică.

Multe bacterii heterotrofe din mediul marin acționează asupra substantelor ternare (C, O și H) pe care le descompun până la faza de CO_2 , CH_4 și H_2O . În mâlurile sapropelice, decarboxilarea acizilor grași conduce la formarea hidrocarburilor, iar bacteriile aerobe lipolitice (g. *Sarcina*, g. *Vibrio* și g. *Serratia*) catalizează formarea uleiurilor minerale din zăcămintele petrolifere. Alte procese organogenetice active în sedimentele de fund din zonele de self sau de mare adâncă constau în sinteza glucidelor (de către bacterii fotosintetizante) prin reacții de genul



și în descompunerea celulozei și ligninei (genurile *Cyatophaga* și *Cladotrix*).

Atacând substanțele organice din soluri, bacteriile mențin un anumit raport între carbon și azot. (831/1...12/1) și facilitează sinteza acizilor humici și, respectiv, a humusului dezvoltat în orizonturile superficiale ale scoartelor de alterare și ale solurilor.

Procese postdepozitionale. Înmultirea bacteriilor o dată cu acumularea sedimentelor este în măsură să provoace - postdepozitional - modificări variate în compoziția, textura și structura sedimentelor; prin procese metabolice se poate schimba atât echilibrul carbonatic, cât și pH-ul mediului respectiv. În felul acesta, poate fi sesizată corelația posibilă la un moment dat între activitatea microbiană din sedimente și echilibrul carbonatic în spațiul interstital (posibilitatea sau imposibilitatea de precipitare a carbonatilor).

La interfata sediment-apă procesele microbiene sunt numeroase: prin generarea de substanțe cu suprafețe active, ele au un rol în flotarea particulelor fine și, astfel, în transportul și depunerea lor. Acționând asupra miceliilor coloidale, pe care le pot distruge sau conserva, bacteriile conditionează formarea mâlurilor sapropelice. De asemenea, din activitatea bacteriilor heterotrofe prezente în mâlurile algale rezultă gaze - N_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S - care, prin difuzie și degajare, modifică laminatia sedimentului; stratificatia creată prin bioconstrucție algală este întreruptă de bule și goluri ale căror forme devin foarte caracteristice pentru stromatolite: apar, astfel, structurile fenestrare. Eliberarea CO_2 prin procese metabolice poate modifica atât echilibrul carbonatic cât și pH-ul mediului respectiv. În felul acesta poate fi sesizată corelația, posibilă la un moment dat, între activitatea microbiană din sedimente și echilibrul carbonatic în spațiul interstital (posibil-

itatea sau imposibilitatea de precipitare a carbonatilor).

În prezenta unor compusi organici si a unui mediu bacterian, sulfatii sunt transformati partial în carbonati, după reactia



Astfel de procese sunt responsabile de formarea unui ciment calcitic la contactul apă/petrol în mediile poroase (roci magazin pentru hidrocarburi).

Influentând si proprietățile tixotrope ale sedimentelor argiloase în care se află, bacteriile controlează, indirect, si rata de consolidare (litificare) a acestora.

Procese deformationale

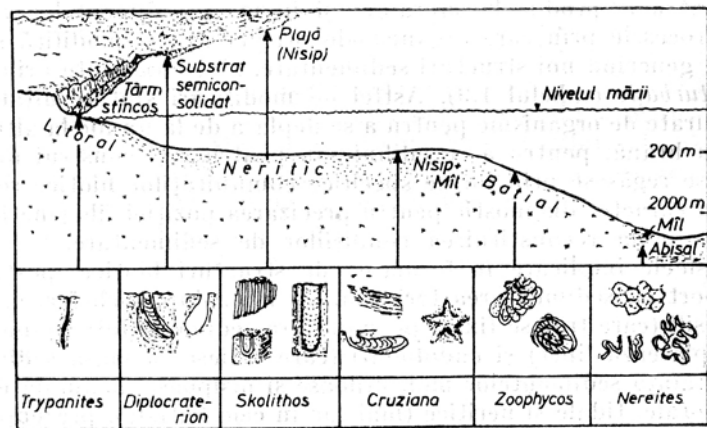
Distrugerea scheletelor. Procesul de formare a clastelor organogene de natură carbonatică trebuie înțeles nu numai ca un proces mecanic, de distrugere a părților scheletice de natură minerală prin forța apei (valuri, curenti) ci, de foarte multe ori, ca un proces biogen prin care organisme specializate își obțin hrana sau își clădesc un adăpost pe seama altor organisme.

Astfel, nasterea mâlurilor si nisipurilor carbonatice din anturajul marilor recifi sau formarea detritusului carbonatic organogen pe seama unor organisme coloniale izolate sau a unor indivizi solitari se datoreste actiunii de distrugere de către organisme de pradă (pestii, crustacei, spongieri) în căutare de hrană. Acestia ajung la partea moale, organică a coralilor, branhiopodelor, molustelor, echinodermelor prin spargerea testului (valve, cochilii, camere etc.). Materialul rezultat constituie un detritus organogen care rămâne în exteriorul prădătorului, la locul hranei sau, care, alteori, poate fi digerat; în acest, caz clastele eliminate prin excretie prezintă un anumit grad de prelucrare.

A fost exagerată idea că materialul detritic din flancurile unui recif (care constituie până la 90 %, din toată constructia recifală) a provenit în exclusivitate prin actiunea mecanică a valurilor; o foarte mare parte a sa a rezultat prin actiunea distructivă a organismelor de pradă (pentru spongierii de tipul Cliona, de exemplu, s-a estimat ca ar putea produce o cantitate de detritus de 6 - 7 kg/m² în 100 zile, Friedman, 1978). Un detritus foarte fin - mâl carbonatic - este produs si de organismele perforante (spongieri, viermi, echinide, pelecipode si, uneori, alge si fungi) care sapă în roci si cochilii excavatii si canale pe care le folosesc pentru adăpost.

Bioturbatia si perforarea substratului. Un alt aspect al interactiunii dintre organisme si mediul lor de viață îl constituie transformările calitative pe care acestea le produc la suprafată si în masa sedimentelor folosite ca substrat. Procesele prin care organismele prelucrează si modifică substratul lor natural, generând noi structuri sedimentare, sunt cunoscute prin termenul general bioturbatie (tabelul 1.9). Astfel de modificări sunt rezultatul activității desfășurate de organisme pentru a se deplasa de la un loc la altul, pentru a-si procura hrana, pentru a se odihni sau pentru a-si construi un adăpost si, adesea, se regăsesc prin forme specifice comunităților biotice respective: ele pot avea caracter diagnostic pentru precizarea pozitiei filogenetice a acestora si servesc la reconstituirea conditiilor de sedimentare. Organismele implicate în formarea de structuri biotice, postdepozitionale în raport cu sedimentarea terigenă, apartin, după Schefer, grupelor de epibionti sesili (care trăiesc fixati pe suprafata sedimentului), epibionti vagili (care se deplasează liber) si endobionti (care trăiesc în masa sedimentului). La suprafata sedimentelor moi, măloase si nisipoase, acumulate în lacuri sau zone litorale, tidale

Fig. 1.44. Distribuția bioglifelor și a structurilor de bioturbare figurative în raport cu adâncimea apelor în bazin și natura substratului [52].



și neritice (mai rar în cele batiale), prezenta epibionților vagili (viermi, moluste, ostra-code) este remarcabilă și are drept consecință nasterea structurilor sedimentare cunoscute sub denumirea bioglife. Trăsăturile lor morfologice sunt foarte variate și reflectă adaptarea la mediu a diverselor genuri de organisme care se deplasează pe substrat, se hrănesc cu măr sau se asază, pentru a se odihni, pe suprafața sedimentului. Astfel se vor putea forma (fig. 1.44); urme de târâre sau piste de reptatie (tip repichnia) cu aspect liniar, sinusoidal sau neregulat, lăsate în special de anelizi, artropode etc.; urme de hrănire (tip pasciehnia) cu aspect spiralat, ramificat, sau meandriiform (ex. Nereis și Paraonis); urme de odihnă-îngropare (tip cubichnia) sub formă de impresiuni discrete izolate ale morfologiei ventrale a organismului, lăsate de acesta pe suprafața unor măruri situate imediat sub un nivel subțire de nisipuri (ex. impresiunile stelelor de mare); urme ale organelor de locomotie lăsate de vertebrate (mamifere, păsări, reptile) sau nevertebrate (artropode).

Conservarea unor astfel de urme este condiționată de stabilitatea sedimentelor în mediul de acumulare, de acoperirea rapidă a acestora cu sedimente lutitice mai noi și litificarea lor treptată. Un produs secundar, rezultat al activității organismelor limnivoare (viermi hemisesili, gastropode, lamelibranhiate), îl reprezintă și peletele fecale - aglomerări mărloase sferice și elipsoidale, de dimensiuni milimetrice și submilimetrice, slab coezive. Ele se formează la suprafața sedimentelor lutitice în momente în care rata de sedimentare este scăzută. Conservarea lor este posibilă prin îngropare în sedimente, fine acumulate în medii subacvatice linistite, lipsite de curenți și valuri. Când formează nivele "in situ" repauzează peste sedimente puternic bioturbate, ca o reflectare a densității mari a populației bentonice, când au fost, concentrate prin transport ele repauzează pe suprafața unor sedimente lipsite de structuri de bioturbare.

Organismele bentonice care-și duc viața înfundate în substrat constituie infauna responsabilă de prelucrarea sedimentelor în profunzime. Endobionții vagili din clasa spongierilor, briozoarelor, brahiopodelor, molustelor, viermilor, artropodelor, echinidelor provoacă variate procese de bioturbare legate, de asemenea, de căutarea hranei sau construirea unui adăpost, și înscriu în substratul rigid sau moale așa-numitele structuri figurative și deformative.

· În substrat, rigid și coeziv, de obicei calcaros, organismele endolite (litofage) din grupul spongierilor, anelizilor (g. *Polydora*, g. *Trypanites*) sau lamelibranhiatelor (g. *Pholas*) au capacitatea de a genera structuri figurative - perforații sau "borings" - cu formă apropiată de forma lor sau canale și nișe cu morfologie nesemnificativă. Prezenta

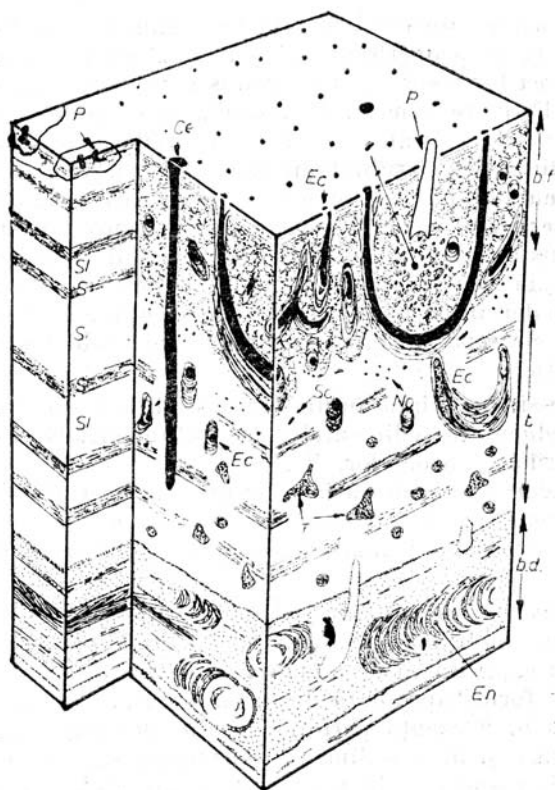


Fig. 1.45. Perforatii (P), bioturbatii figurative (bf) si bioturbatii deformative (bd) afectând galetii si o succesiune de nisipuri si mълuri. Structurile deformative (generate de *Echinocardium cordatum*) care sterg laminatia oblică si paralelă a sedimentelor initiale; structurile figurative sunt generate de genurile *Ceriantus* (Ce), *Pectinus* (P), *Echiurus* (Ec) si se conservă sub formă de canale colmate [52].

perforatiilor în roci sugerează existenta unei populatii numeroase si lipsa sedimentării terigene sau carbonatice atâta timp cât organismele respective își perforează substratul. Astfel de structuri se identifică în special în zonele litorale si sublitorale si se conservă usor, prin umplerea lor cu sedimente mai moi care contrastează cu roca înconjurătoare.

· În sedimentele moi, în special în mълuri din zone situate la adâncimi foarte diferite, unii endobionti vagili - viermi (g. *Skolitos*), bivalve (g. *Nucula*, g. *Mya*), gastropode (g. *Natica*), crustacei (g. *Calianassa*) sapă excavatii cilindrice, canale verticale sau înclinate, deschise la un capăt sau la ambele capete, pe care le cimentează si le colmatează cu alte sedimente. După functionalitatea lor, bioturbatiile canaliforme sunt structuri figurative de tip fodinichnia - realizate în drumul organismelor după hrană - si de tip domichnia - structuri locuintă (fig. 1.45).

Structurile de bioturbatie deformative nu au un contur definit, iar în sectiune transversală evidentiază limite confuze față de masa sedimentelor care le găzduiesc. În dreptul unor astfel de structuri, suprafata de separatie a laminelor este întreruptă si deformată: ea tinde să devină tangentă la directia de dezvoltare a structurii, fie spre fata superioară a stratului, fie spre baza acestuia; alteori, sedimentul se omogenizează prin stergerea completă a structurilor limitrofe. Bioglifele si structurile de bioturbatie figurative si deformative, ca principale efecte ale proceselor de bioturbatie, au fost identificate în depozite de vârste diferite si s-au conservat mai usor în depozitele cainozoice. Prin faptul că reprezintă structuri "in situ" realizate de organisme litorale, tidale, neritice si batiale, pozitia în strat si dimensiunile lor constituie elemente utile în reconstituirea conditiilor de sedimentare.

Formarea unor astfel de structuri presupune existenta unor populatii numeroase, care să-si poată desfășura activitatea într-o ambianță hidrodinamică linistită. În toate cazurile, structurile formate la suprafața sedimentului sau în profunzimea sa sunt sensibile la acțiunea valurilor și a curenților subacvatici puternici și, de aceea, conservarea lor în forme inițiale constituie un argument pentru stabilitatea sedimentelor în zonă. Sedimentarea rapidă, turbiditatea apelor și eroziunea puternică reduc populația animală și, deci, frecvența bioturbatiilor.

Forma bioturbatiilor figurative și poziția lor în strat sunt dependente de adâncimea apei și accesibilitatea hranei pentru organisme. În apele puțin adânci, cu sedimentare lentă, se conservă structuri canaliforme sau tubicole cu poziție verticală din care organismele puteau ușor ieși pentru a se hrăni cu suspensii organice. Canalele înclinate sau suborizontale și cele spiralate sau ramificate sunt mai frecvente în zonele în care endobiontii își procură hrana (mai redusă) prin digerarea sedimentului.