

Universitatea din București  
Facultatea de Geologie și Geofizică  
Catedra de Geologie și Paleontologie

## **Rezumatul**

tezei de doctorat

# **Evoluția domeniilor microfaciale în partea estică (zona Mahmudia-Murighiol-Dunavățu) a platformei carbonatice triasice din Unitatea Tulcea, Orogenul Dobrogei de Nord**

Doctorand

**Livia Maria Dobre (Popa)**

Coordonator științific

**Prof. dr. Eugen Grădinaru**

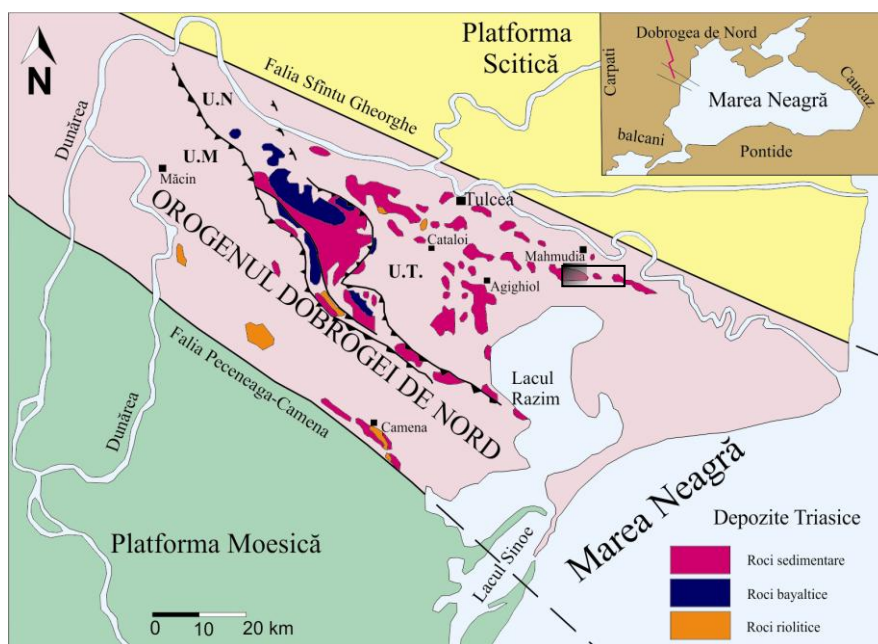
2011

## Obiectivele lucrării și perimetrul de studiu

Depozitele carbonatice triasice din zona estică a Orogenului Nord Dobrogean au reprezentat, de-a lungul vremii, un subiect viu, complex, abordat de către cercetători, români și străini, precum Karl Peters, Ion Atanasiu, Orest și Elena Mirăuță, Ovidiu Dragastan, Eugen Grădinaru – amintind doar câteva nume. În pofida acestor eforturi anterioare, depozitele carbonatice triasice deschise în cariera de la Mahmudia (unul din principalele obiective vizate în această lucrare) nu au mai fost studiate decât de Eugen Grădinaru (2000), acest fapt constituind una din premisele inițierii acestui studiu.

Principalele obiective au vizat recunoașterea microfaciesurilor și a paleomediilor de sedimentare relevate prin studiul depozitelor carbonatice dintr-o parte a Carierei Caeracul Mare Est – Mahmudia și din zonele Murighiol și Dunavățu.

Acest studiu propune astfel, completarea informațiilor petrografice și a proceselor diagenetice care au afectat o parte din platforma carbonatică a Unității Tulcea.



**Fig. 1** Localizarea Orogenului Dobrogei de Nord, încadrat de Platformele Moesică și Scitică: U.M. - Unitatea Măcin; U.N.- Unitatea Niculițel; U.T.- Unitatea Tulcea (modificat după Grădinaru, 2000); chenarul albastru indică localizarea ariei de lucru care face obiectul prezentei lucrări.

În esență, dezideratele prezentei lucrări au fost:

- identificarea trăsăturilor petrografice și a efectelor diagenetice ce au afectat rocile carbonatice localizate în partea estică a Unității Tulcea;
- evoluția tempo-spațială a microfaciesurilor sedimentare triasice aparținând domeniului de platformă carbonatică, caracterizat prin prezența mediilor de taluz, marginea platformei și șelf intern, din zonele Mahmudia – Murighiol – Dunavățu;
- conturarea cadrului paleogeografic în care a avut loc sedimentarea în timpul Triasicului Mediu;

- reconstituirea sistemelor depozitionale, caracteristicilor bazinelor de sedimentare și evoluției platformei carbonatice a Unității Tulcea.

## **Metode aplicate**

În vederea atingerii obiectivelor propuse, am utilizat metode și tehnici de lucru foarte diverse – plecând de la observații, înregistrarea datelor de teren și probare – până la activitățile de laborator – confecționare de secțiuni subțiri și plachete lustruite, microscopie optică pe secțiuni subțiri, fluorescență, catodoluminescență, reacții cromatice și imortalizarea lor pe pelicule de celuloză, microscopie electronică, incluziuni fluide, precum și analize geochemice (izotopi stabili ai C și O și XRF – fluorescență de raze X). Datele obținute prin aceste metode au fost corelate pentru a obține o imagine de ansamblu și a contura evoluția depozitională și postdepozitională a depozitelor carbonatice studiate.

Cea mai mare parte a analizelor au fost efectuate în laboratoarele de Sedimentologie ale Universității București, iar cele de microscopie electronică și izotopi stabili - la Centrul de Științe Marine MARUM (Universitatea din Bremen), în timpul stagiului de pregătire de care am beneficiat în cel de-al doilea an de studii doctorale, în cadrul proiectului POS DRU.

Pentru o parcurgere mai ușoară a lucrării, au fost abordate și tratate pe larg o serie de concepte utilizate în studiul rocilor carbonatice și anume, cel de facies și microfacies carbonatic apoi cel de structuri sedimentare în rocile carbonatice.

## **Platforma carbonatică a Unității Tulcea**

Unitatea Tulcea este o unitate tectonică din cadrul Orogenului Dobrogei de Nord - structură majoră care reprezintă segmentul cel mai vestic al zonei de cutări chimmerice ce mai include Peninsula Crimeea și Caucazul Mare, prelungindu-se spre est cu Chimmeridele Asiatice (Săndulescu, 1984). Situația actuală a Orogenului Nord Dobrogean este caracterizată de separarea a trei unități tectonice majore, *Măcin*, *Niculițel* și *Tulcea*, conform modelelor structurale emise de Săndulescu (1984) și Mutihac (1990), la care studiile recente adaugă și Unitatea Consul, interpusă între Unitățile Măcin și Niculițel (Fig.1). Între aceste unități există relații de încălecare de vârstă alpină, a căror amploare a luat dimensiunile pânzelor de șariaj în viziunea lui Săndulescu (1984) și Ionesi (1994), unități acoperite discordant de formațiunile cretacice ale Bazinului Babadag și care mai păstrează relice ale orogenului varisc (Seghedi, 1999 și 2001; Balintoni et al., 2010). Unitățile tectonice chimmerice cuprind un ansamblu variat de roci, incluzând complexe vulcanice, sedimentare și metamorfice.

În partea nord-estică a Unității Tulcea (Orogenul Nord Dobrogean), secvențe de roci carbonatice de vârstă Triasic-mediu (Anisian) sunt bine expuse în cariera Mahmudia - Dealul Caeracul Mare sau mai puțin accesibile – Dealul Duna (zona Murighiol) și zona Dunavățu. Faciesurile de platformă carbonatică internă și taluz, observate în zonele studiate și care în literatură au fost grupate în Zona Murighiol, trec treptat spre faciesuri de platformă carbonatică de apă mai adâncă în partea centrală a Unității Tulcea și mai departe spre faciesuri bazinale, în partea vestică (Fig. 2) (Grădinaru, 2000).

## Triasicul

În general, învelișul sedimentar triasic al Unității Tulcea, dispus discordant peste fundamentul hercinic, debutează cu secvențe terigene transgresive Triasic inferioare (Scythian) și continuă cu faciesuri carbonatice de platformă și bazinale, sedimentate în intervalul Spathyan timpuriu – Norian.

În cadrul arealului cercetat, pe baza observațiilor de teren și a analizelor microfaciale, depozitele triasice studiate au fost atribuite Formațiunii Caerace (Aegean – Pelsonian) și Formațiunii Murighiol (Pelsonian – Illyrian), ambele aparținând Litofaciesului de Murighiol – cel mai estic al Unității Tulcea, constituind partea internă a platformei carbonatice (Fig. 2).

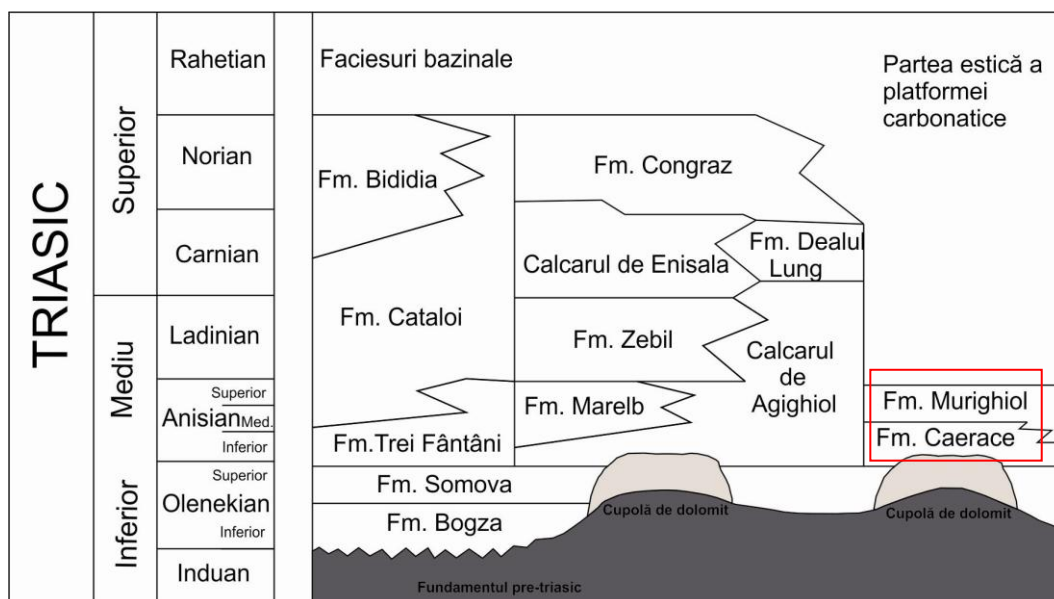


Fig. 2. Schia litostatigrafică a rocilor sedimentare triasice în Unitatea Tulcea (după Grădinaru, 2000)

### Formațiunea Caerace (Aegean – Pelsonian)

Sucesiunea triasică este reprezentată de mai multe unități litostatigrafice: dolomite, calcare nodulare dolomitizate, calcare negre cu aspect breicios, calcare cu stromatactis, calcare recifale și calcare alb-cenușii stratificate. Având ca suport speciile de conodonte *Gondolella timorensis* (Nogami), *Prioniodina muelleri* Tatge, *Neohindeodella triassica* (Müller), amonoideae *Hollandites sp.*, *Caucasites sp.*, *Acrochordiceras sp.* și nautiloideae identificate, a fost sugerat Anisianul mediu (Bithynian) ca interval pentru depunerea succesiunii sedimentare carbonatice probate în cariera Caeracul Mare Est.

### Formațiunea Murighiol (Pelsonian – Illyrian)

În zonele din apropierea localităților Murighiol și Dunavățu de Sus află faciesuri carbonatice triasice de apă cel mai puțin adâncă din Unitatea Tulcea. Pe baza algelor dasicladacee din grupul *Microporella*, *Oligoporella*, *Physoporella*, *Diplopora*, (Dragastan și Grădinaru, 1975) și a foraminiferelor, vârsta formațiunii Murighiol a fost estimată a fi Pelsonian – Illyrian inferior.

Relația Formațiunii Murighiol cu formațiunile adiacente este dificil de stabilit din cauza depozitelor cuaternare care acoperă contactele dintre ele. Elementele biostratigrafice sugerează faptul că la nivelul Pelsonianului, între Formațiunea Caerace și Formațiunea Murighiol a existat o tranziție laterală (Grădinaru, 2000).

## Analiza microfaciesurilor carbonatice

În urma analizelor microscopice cantitative și calitative ale secțiunilor subțiri și ale plachetelor lustruite, au fost separate microfaciesurile carbonatice.

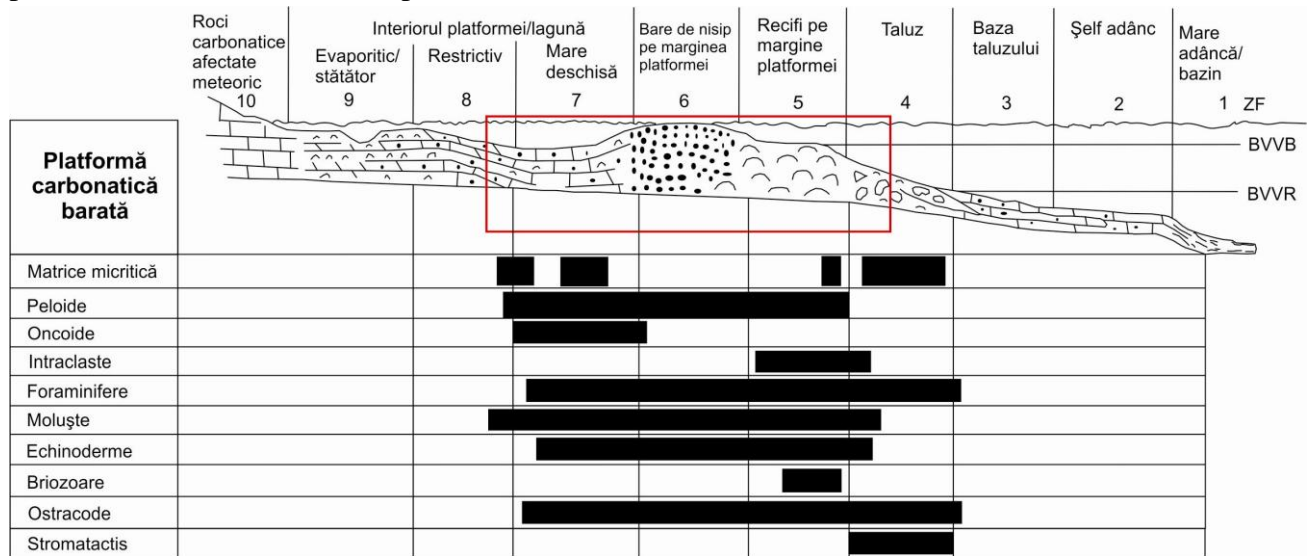


Fig. 3 Distribuția constituenților rocilor carbonatice în cadrul unei platforme carbonatice barate (rimmed carbonate platform), pe baza analizelor semicantitative (sunt incluse datele din cele 3 zone studiate: Mahmudia, Murighiol și Dunavățu) (model adaptat după Panaiotu, 2000; Flügel, 2010)

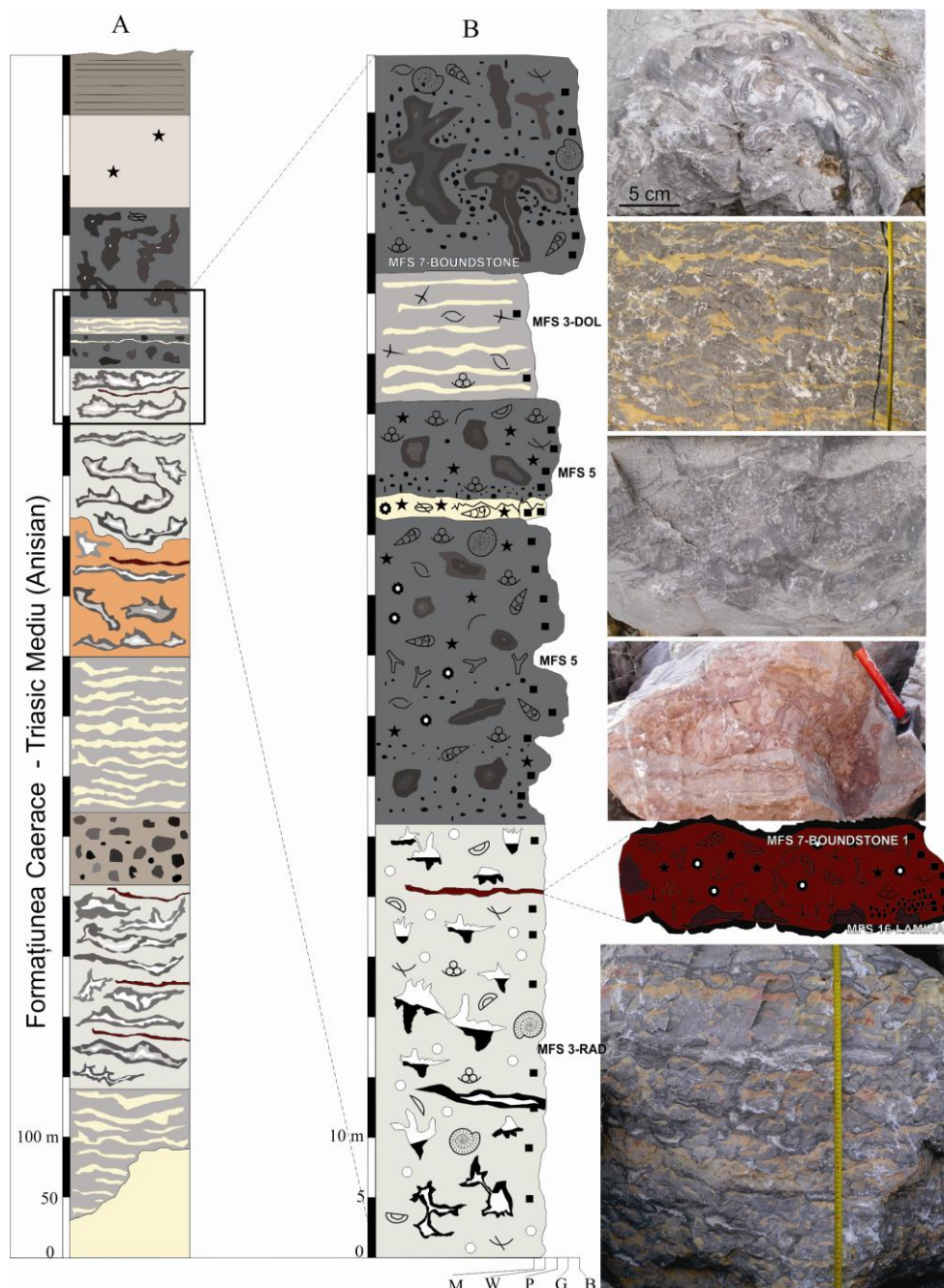
### Zona Mahmudia

În secțiunea probată detaliat, măsurând 98 m, pe baza texturii, a constituenților principali, a caracteristicilor diagenetice, precum și conținutului fosilifer, au putut fi identificate 7 microfaciesuri carbonatice (Tabelul 1). Acestea au fost atribuite, ca și poziție, la două zone din exteriorul platformei carbonatice: partea superioară a taluzului și marginea platformei carbonatice.

Textură	Constituenții majori	Fabric și caracteristici diagenetice	Conținut fosilifer
<b>Taluz</b>			
<b>Domeniu pelagic</b>			
Wackestone	Structuri evinospongia, radiolari calcitizați	Calcit fibros radiaxial și ciment mozaic, ce umplu structurile evinospongia, fisuri; bioturbații	Filamente de bivalve, ostracode, foraminifere de tipul <i>Nodosaria</i> sp.; macro-: amonoidee, bivalve, gastropode
Mudstone/wackestone	Spiculi de spongieri, filamente de bivalve	Calcare nodulare; dolomitizare masivă	Spiculi de spongieri, filamente de bivalve, foraminifere pelagice
<b>Recifi microbieni, partea superioară a taluzului</b>			
Boundstone	Încrustații microbiene, echinoderme, spiculi de spongieri	Dolomitizări incipiente, inversiuni ale aragonitului, stilolite?	Echinoderme, gastropode, bivalve, spiculi de spongieri, ostracode, brizoare, foraminifere
Bindstone laminat	Alternanță a laminelor micritice cu cele peloidale	Fisuri umplute cu ciment mozaic	Nu au fost observate fosile

Recifi cu <i>Tubiphytes</i> , partea superioară a taluzului			
Grainstone alohton	Claste de <i>Tubiphytes</i> , încrustații microbiene, ciment fibros sindepozițional	Cimentare sindepozițională - cruste groase de ciment fibros radial, dolomitizare, cimentare de tip mozaic-de îngropare, stilolite	Briozoare, foraminifere, echinoderme, gastropode, bivalve, gastropode, ostracode
Bindstone laminat	peloide "alb-negru", <i>Baccanella</i> , lamine micrit	Dolomitizări ale ramei de calcit a peloidelor	Ostracode, automicrit
Marginea platformei			
Recifi cu <i>Tubiphytes</i> , armătura recifală			
Boundstone organic	<i>Tubiphytes</i> , cruste biotice ( <i>Plexoromea</i> sp.?), volum mare de ciment sindepozițional	Cimentare masivă sindepozițională: ciment fibros, fibros radial, botrioidal; ciment mozaic de îngropare	Foraminifere, tuburi de viermi, filamente de bivalve; macro: amonoidee, nautiloidee, bivalve, gastropode

**Tabelul 1** Mediile depozitionale definite în Anisianul Mediu din secțiunea Mahmudia, pe baza texturii rocii, constituenților principali, caracteristicilor diagenetice și a conținutului bioclastic



Legendă			
Litologii	Alocheme	Texturi (Dunham)	Structuri stromatactis
Calcare stratificate	★ Echinoderme	M Mudstone	Roca gazdă
Calcare deschise la culoare	<i>Tubiphytes</i>	W Wackestone	
Calcare recifale cu <i>Tubiphytes</i>	Foraminifere bentonice	P Packstone	Calcit radiaxial fibros (RFC)
Calcare cu structuri stromatactis	Bivalve (fragmente)	G Grainstone	
Calcare negre cu aspect breccios	Brachiopode (fragmente)	B Boundstone	Ciment tip 'mozaic' (blocky calcite)
Calcare roșii (microbial-recifale)	Gastropode		
Calcare nodulare (dolomitizate)	Cefalopode		Dolomit
Dolomit	Briozoare		
	Spiculi de spongieri		
	Ostracode		
	Alge (fragmente) dasicladate		
	Peloide		
	Încrustații microbiene		

Fig. 4 Secțiunile litostratigrafice ale aflorimentelor studiate: (A) Coloană litostratigrafică sintetică în cariera Caeracul Mare Est, Mahmudia; (B) Profilul măsurat.

### Roca gazdă a structurilor evinospongia – Microfaciesul wackestone pelagic cu radiolari calcitizați (MFS 3-RAD)

Rocile cu structuri evinospongia sunt în cea mai mare parte monotone ca și conținut bioclastic. Uneori, se face referire asupra rocii gazdă ca și matrice pentru aceste structuri. Matricea fin granulară este de tip wackestone cu microfossilii pelagice, enumerate după cum urmează, în ordinea abundenței: rare ostracode cu valvele subțiri, foraminifere calcaroase, fragmente de bivalve filamentoase și foarte multi radiolari spumelarieni calcitizați. Foarte rar au fost observați și spiculi monoaxoni sau tetra-axoni de spongieri. Filamentele de bivalve pelagice reprezintă parțial cochiliile ale stadiilor larvale planctonice (Flügel, 2010). La scară mare, în afloriment, au fost identificate ammonoidee (*Hollandites* sp., *Caucasites* sp.), nautiloidee și fragmente de bivalve cu valvele groase, brachiopode cimentate și rare gastropode.

### Structurile evinospongia

Unele dintre structurile examinate în cariera Mahmudia se potrivesc cu definiția clasică pentru stromatactis, fiind rețele umplute cu sparit, cu baze nete și topuri digitate, ce apar interconectate sub forma rețelelor (Bathurst, 1982; Bourque și Boulvain, 1993). Însă majoritatea structurilor dominate de sparit analizate din profilul detaliat diferă ca morfologie, dimensiuni și compoziție, luând forma unor cruste concentrice formate din mai multe generații de ciment fibros radiaxial și mozaic. Acestea din urmă corespund structurilor evinospongia, descrise pentru întâia oară de Stoppani (1858) în vestul Alpilor Sudici (Calcarul de Esino).

Partea superioară a taluzului este caracterizată de rețele cu forme neregulate și dimensiuni variabile de cavități umplute cu sparit, de la câțiva cm la 1-3 m – structurile evinospongia.

Aceste structuri constau din generații multiple de benzi de calcit fibros radiaxial gri închis și alb. În secțiuni apar izolate în masa micritică sau, mult mai comun, formează strate ce se întind de-a lungul câtorva zeci de metri. Contactul dintre ciment și matricea micritică este net, atât macroscopic cât și microscopic.

Structurile evinospongia pot constitui până la 75% din volumul rocii. Acestea sunt complet umplute cu mai multe generații de ciment, dintre care au fost diferențiate două tipuri: calcit fibros radiaxial marin timpuriu care bordează pereții cavităților, în timp ce cimentul

precipitat mai târziu este de obicei anadiagenetic, local meteoric, de tip sparitic mozaic, ocupând centrul cavităților. Aceeași succesiune este întâlnită și în structurile stromatactis (Borque și Raymond, 1994).

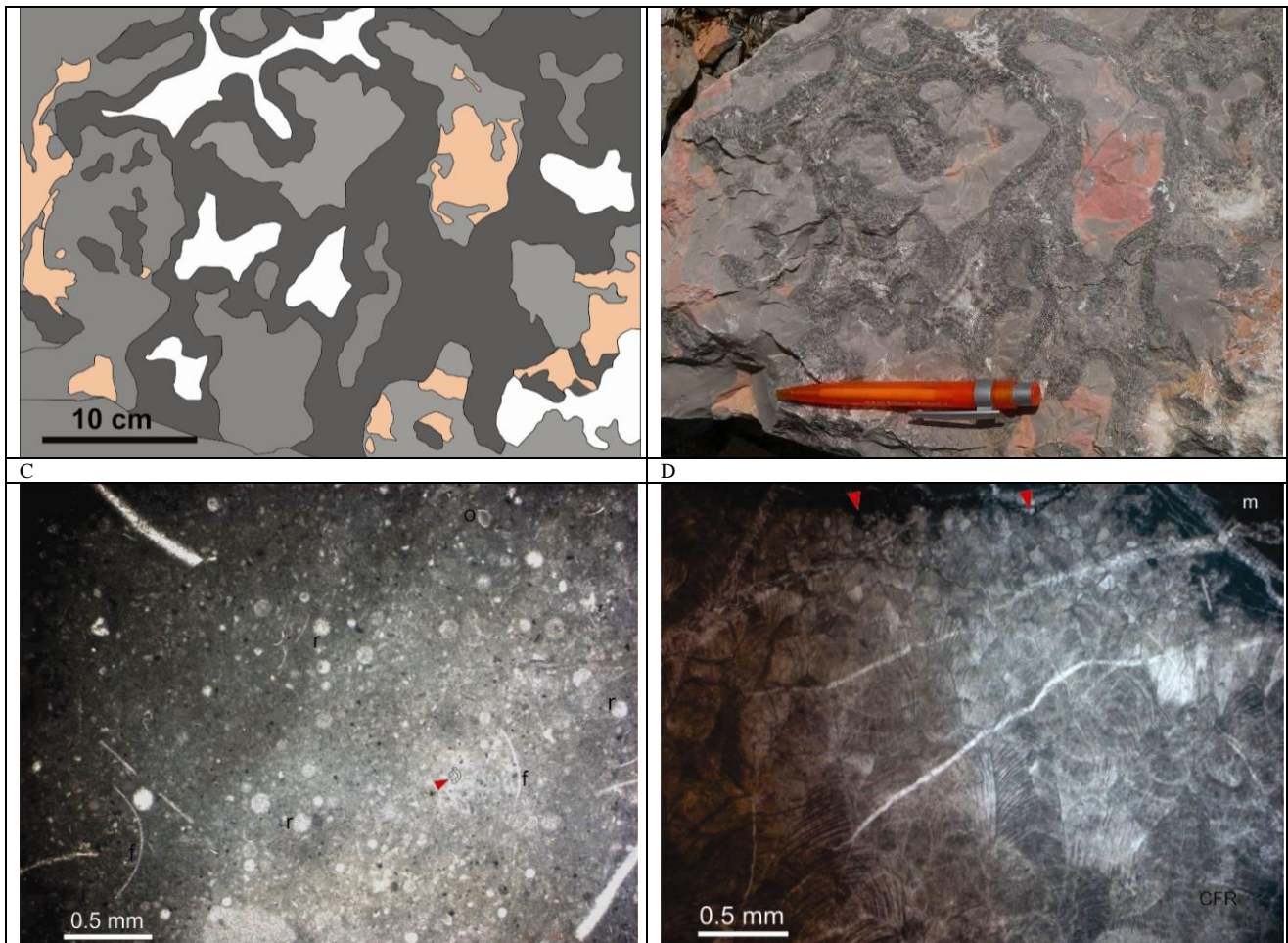


Fig. 5 Apariția structurilor stromatactis și evinospongia în aflorimente și microscopic

### Microfaciesul wackestone dolomitizat, MFS 3-DOL

Calcarele cu dolomitizări masive pe stratificație, denumite nodulare în această lucrare, sunt sărace în conținut bioclastic. Matricea micritică este de tip wackestone constituită din foarte mult debris bioclastic ceea ce ar putea indica faptul că aceste calcare fine granulare au fost formate din sedimentarea fragmentelor de bioclaste provenite din zonele mai ridicate (interne) ale platformei carbonatice (Preto et al., 2009). Au putut fi distinse rare microfossil pelagice: bivalve filamentoase, spiculi de spongieri, radiolari calcitizați, foraminifere uniseriate de tip *Nodosaria* sp. și ostracode. Macro-faună nu a fost găsită. Calcarele de acest tip conțin intercalate în compoziția lor benzi ritmice de dolomit de 1-5 cm grosime. Dolomitizarea a fost surprinsă prin mai multe metode: microscopie electronică, catodoluminescență și colorare cu alizarin.



#### 4.1.2. Microfaciesurile complexelor recifale

##### Recifi microbieni de mici dimensiuni în calcare roșii

La diferite nivele stratigrafice, printre calcarele cu stromatactis (evinospongia), uneori află calcare roșii, masive, fără structuri sedimentare observabile macroscopic, ce conțin încrustații mai închise la culoare, cu dimensiuni de la câțiva cm până la 1 m reprezentând mici recifi microbieni formați la tranziția marginii platformei carbonatice spre partea superioară a taluzului.

##### *Microfaciesul boundstone cu încrustații biotice, MFS 7-BOUNDSTONE 1*

În acest microfacies, activitatea microbiană și încrustațiile biotice controlează stabilizarea sedimentului, litificarea rapidă a taluzurilor recifale (Keim și Schalger, 1999), formarea particulelor carbonatice și construcția recifilor rigizi. Ocurența și distribuția organismelor încrustante este controlată de substrat, spațiu liber, energia scăzută a apei și ratele de sedimentare.

Încrustațiile biotice triasice medii sunt diverse prin asociațiile și varietatea organismelor care contribuie la formarea crustelor în mediile recifale (Flügel, 2002). Crustele anisene sunt rare, dar diverse: organismele încrustante cuprind spongieri, cianobacterii porostromate, microbi, foraminifere, serpulide și câteva microproblematic. Ultimele sunt mai frecvente în crustele recifale triasice mai timpurii și jurasice.

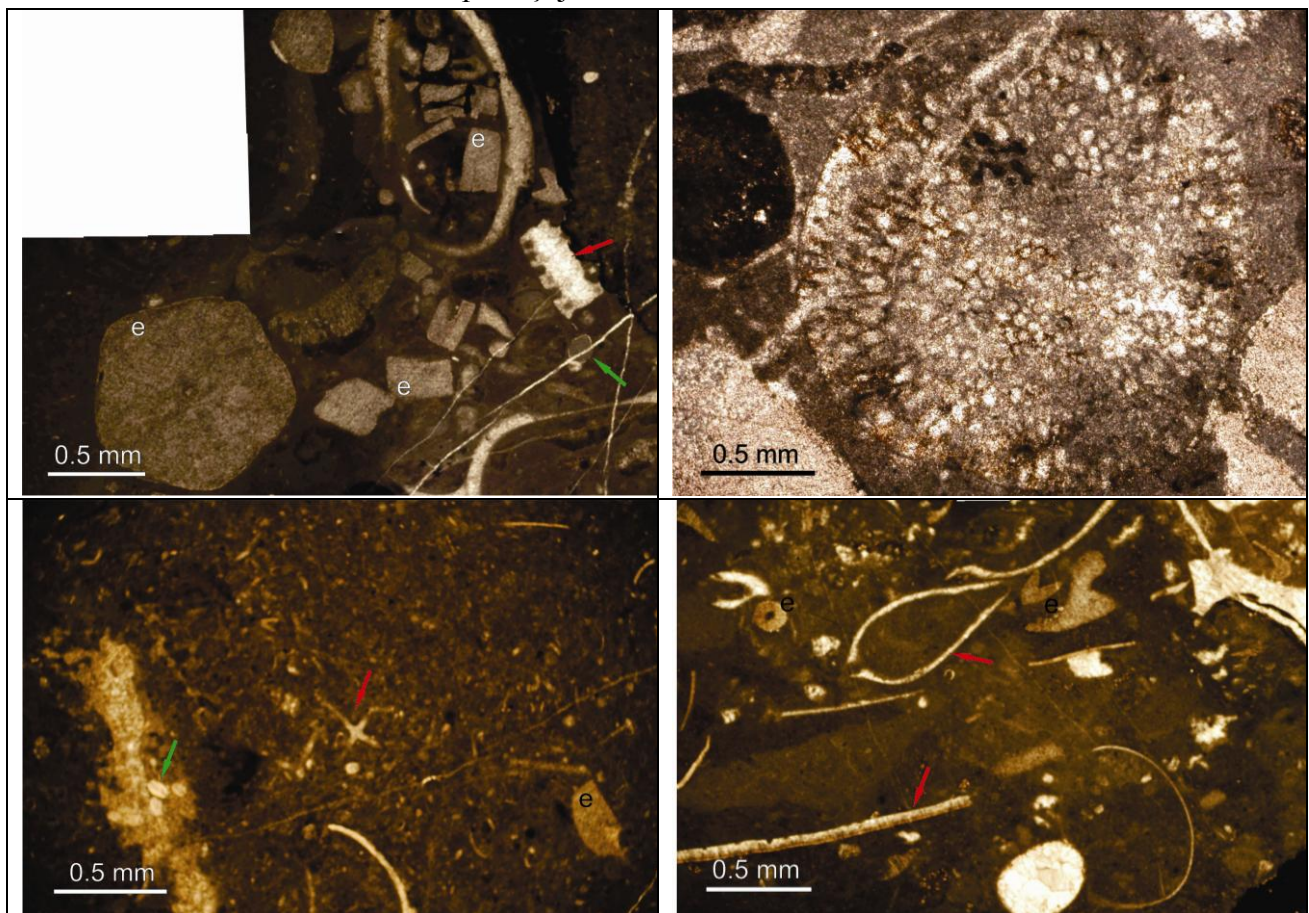


Fig. 6 Microfaciesul boundstone cu încrustații biotice

Astfel, au fost observate următoarele tipuri de încrustații biotice: Fe-bacterii (culoare roșie, dense, cu aranjament concentric, probabil microstructuri porostromate) care încrustează fragmente de cochilii, mai bine sau mai puțin conservate, încrustații numite epischeletobionte

(locația fiind deasupra substratului epi-, tipul de substrat cochilii de bivalve –scheleto, iar organismele bacteria –biont). Recifi cu dimensiuni mici pot fi creați de asemenea încrustații biotice, mai potrivit numite microbiene. Pigmentarea acestor încrustații, de la roz închis până la roșu închis, se datorează dispersiei (hidro) oxizilor submicronici (hematit), formați prin medierea bacteriană în timpul diagenzei timpurii, în diverse medii microaerofilitice (Mamet și Préat, 2006). Prezența Fe-bacteriilor este sugerată de filamente, cocoide, aranjamentul stromatolitic, observate la microscop. Factorul restrictiv este conținutul de oxigen, care a fost mic în aceste medii cu ape liniștite și relativ adânci.

#### ***Microfaciesul bindstone laminat, MFS 16-LAMINAT***

În acest tip de recifi, cu microfaciesul anterior coexistă cel de tip bindstone, a cărei textură este dată de stromatolitele amalgamate fin-granulare laminate. Benzile micritice sunt dense și în compoziția lor se observă lamine foarte fine de micrit, de culoare roșie dată probabil tot de acțiunea bacteriilor Fe-încrustante, indicând un mediu liniștit și o rată de sedimentare scăzută. Pelloidele variază ca dimensiuni, sunt subrotunjite și nu înconjurate de sparit. Printre aceste alaternate de benzi fine cu pelloide sunt intercalate și cruste de ciment fibros radial, ceea ce dovedește suprasaturarea în  $\text{CaCO}_3$  a fluidelor care au circulat prin aceste cavități criptice ale recifilor, cărora le sunt caracteristice stromatolitele amalgamate laminate.

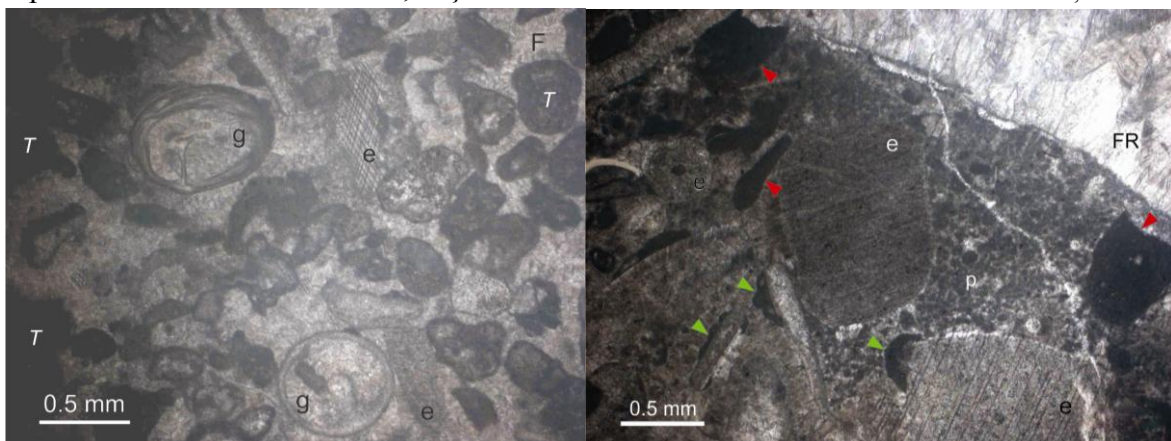
Au fost observate și bioturbații, în sedimentul fin și pe suprafața briozoarelor.

#### **Recifi cu *Tubiphytes***

Acest complex recifal conține trei litologii primare: grainstone, bindstone și boundstone. Organismele bioconstructoare dominante nu sunt precum în cazurile clasice spongierii, corali și algele calcaroase, ci microîncrustanții *Tubiphytes*. Un volum mare de sediment intern și ciment marin contribuie la volumul total al rocii, conferind construcției carbonatice stabilitate și rezistență. Subordonat, varietatea biotică mai cuprinde multe echinoderme, gastropode, brizoare, bivalve, ostracode și foraminifere bentonice.

#### ***Microfaciesul grainstone bioclastic (alohton), MFS 5***

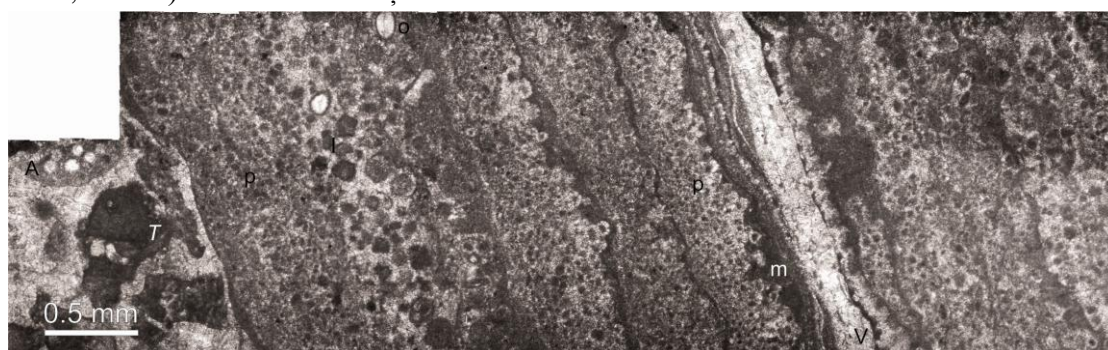
În microfaciesul de tip grainstone, abundența și frecvența bioclastelor sunt mult mai ridicate, alături de numeroase fragmente de *Tubiphytes* (*Tubiphytes sp.*, *Tubiphytes obscurus* Maslov, *Tubiphytes multisiphonatus*). Caracterul alohton este sugerat de sfericitatea unora dintre particule, permițând încadrarea lor în partea externă a complexului recifal – reprezentând flancurile externe, deși nu au fost observate în teren urme de stratificație oblică.



**Fig. 7** Microfaciesul grainstone bioclastic (T-Tubiphytes, e-echinoderme, g-gastropode, p-pelloide, F-ciment fibros)

### ***Microfaciesul bindstone laminat, MFS 16-LAMINAT***

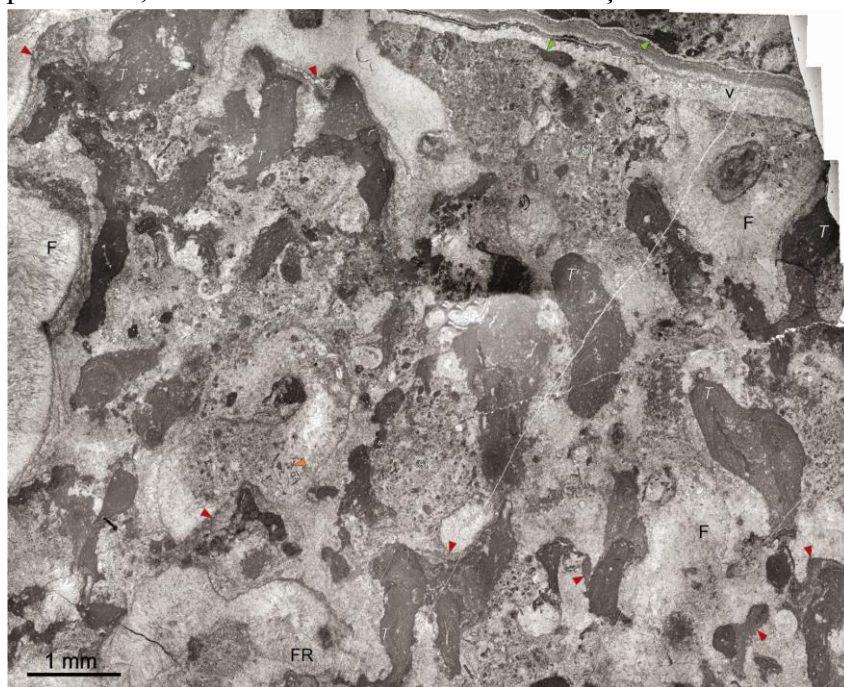
Textura rocii corespunzătoare acestui microfacies este dată de o crustă microbiană ce constă din lamine subțiri de micrit (m) alternând cu benzi mai groase de peloide (p). Această crustă este interpretată ca reprezentând stromatolite aglutinate fin-granular laminate produse prin captarea și încrustarea sedimentului. Peloidele sunt foarfe mici și bordate de o ramă de calcit. Ele apar izolate sau în mase amalgamate. Benzile de micrit constau din lamine dense de micrit, uneori cu peloide și particule compuse din cristale de calcit dispuse radial. Atât peloidele mici bordate de o ramă de calcit, cât și *Bacanella* sunt argumente pentru originea microbiană. Aceste cruste sunt abundente în rețele de cavități milimetrice sau centimetrice din recifii triasici. Textura peloidală este cunoscută pentru conținutul organomicritic (micrit autohton, in-situ) format în cavități semirestrictive.



**Fig. 8 Microfaciesul bindstone laminat (m-micrit, p-peloide)**

### ***Microfaciesul boundstone organic cu Tubiphytes, MFS 7***

Microfaciesul de tip boundstone constă dintr-un cadru creat de micro-organismele încrustante *Tubiphytes*, masiv cimentat, și conține un volum mic de bioclaste. Acest microfacies cu o densitate mare a organismelor încrustante este considerat a reprezenta armătura recifală, localizată puțin mai sus decât microfaciesurile anterioare, pe marginea platformei, între baza valurilor de vreme bună și a acelor de vreme rea.



Cadrul creat de *Tubiphytes* are morfologii puțin diverse, cu aspectul unor tuburi micritice închise la culoare distribuite neregulat, uneori ramificate. Cruste influențate biotic variate s-au dezvoltat pe cadrul recifal, acționând asupra *Tubiphytelor* și, împreună cu cimentarea timpurie, au contribuit la litificarea și stabilitatea sedimentelor (Harris, 1993).

**Fig. 9 Microfaciesul boundstone organic cu Tubiphytes**

Micro-organismele *Tubiphytes*, micritice și închise la culoare, înconjurate de cruste micritice, formează un cadru deschis ce a fost umplut cu sediment intern și mai multe generații de ciment sindepozițional.

Conținutul bioclastic recunoscut în toate cele trei microfaciesuri poate fi separat în trei clase: organisme bioconstructoare ale cadrului recifal, organisme încrustante și organisme libere care populează reciful (Payne et al., 2006).

#### ***Microfaciesul boundstone cu automicrit, MFS 7-AUTOMICRIT***

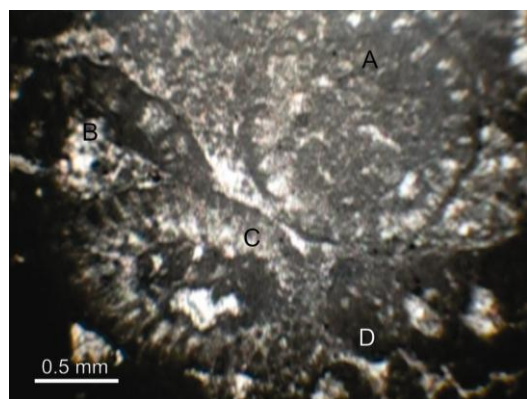
Principalele caracteristici ale acestui microfacies sunt agregatele peloidale fără urme de stratificație care să implice acumularea pe cale mecanică (Keim și Schlager, 1999). Spațiul poros rămas este constituit din ciment sparitic. Bioturbațiile sau compactarea lipsesc indicând litificarea timpurie a sedimentului carbonatic micritic. Agregatele prezintă contururi neregulate și sunt compuse din peloide. Peloidele apar ca particule libere în ciment sau formează rețele interconectate. Cimentul formează ocazional benzi subțiri de până la 0.1 mm peste agregate, legându-le. Aspectul benzilor sparitice se aseamănă cu structurile trombolitice. Aceste texturi pot fi interpretate ca automicrit, definit ca și carbonat fin granular format in-situ prin combinații ale precipitării în favorizată de microbe și precipitarea anorganică. Micritul autohton de litifică aproape instantaneu și împreună cu cimentul fibros stabilizează taluzul platformei. Domeniul de formare al automicritului se extinde de la partea externă a platformei carbonatice până la 200 m, la 20-35° înclinare pe taluz (Keim și Schlager, 1999). Pe taluz, în cazul zonei studiate, benzi de automicrit alternează cu benzi de material resedimentat.

#### ***Microfaciesuri carbonatice în zona Murighiol***

Separarea microfaciesurilor carbonatice din zona Murighiol a fost realizată în colaborare cu doamna Conf.Dr. Daniela Popescu și domnul Conf.Dr. Liviu Popescu, de la Universitatea din Suceava. Studiul nostru a urmărit probarea și analiza microfaciesurilor din depozitele carbonatice care află pe un profil transversal pe direcția NE-SV din apropierea micii cariere din partea nordică a Dealului Murighiol. Depozitele probate sunt în general calcare cenușii fin stratificate care alternează cu nivele de calcare oncoidale larg stratificate.

Studiul microscopic al secțiunilor subțiri ne-a permis separarea câtorva litofaciesuri dominante, care în ordinea frecvenței lor sunt: grainstone, wackstone, packstone, mudstone și wackstone/packstone. Cele mai variate tipuri de facies separate în funcție de frecvența și abundența anumitor alocheme sau bioclaste sunt faciesurile de tip grainstone și wackstone.

Subtipurile faciale de grainstone separate sunt: grainstone bioclastic oncoidal, grainstone peloidal, grainstone oncoidal, grainstone bioclastic și grainstone oncoidal parțial dolomitizat.



Subtipurile faciale de wackstone separate sunt: wackstone bioclastic cu alge dasicladacee, wackstone bioclastic, wackstone peloidal, wackstone peloidal bioclastic, wackstone peloidal bioclastic cu oncoide.

**Fig. 10** Wackstone bioclastic cu alge dasicladacee

Microfaciesurile de tip packstone sunt: packstone peloidal fin granular, packstone bioclastic cu oncoide și packstone peloidal. Microfaciesurile de tip wackstone/packstone sunt reduse la două subtipuri: wackstone/packstone bioclastic și wackstone/packstone peloidal.

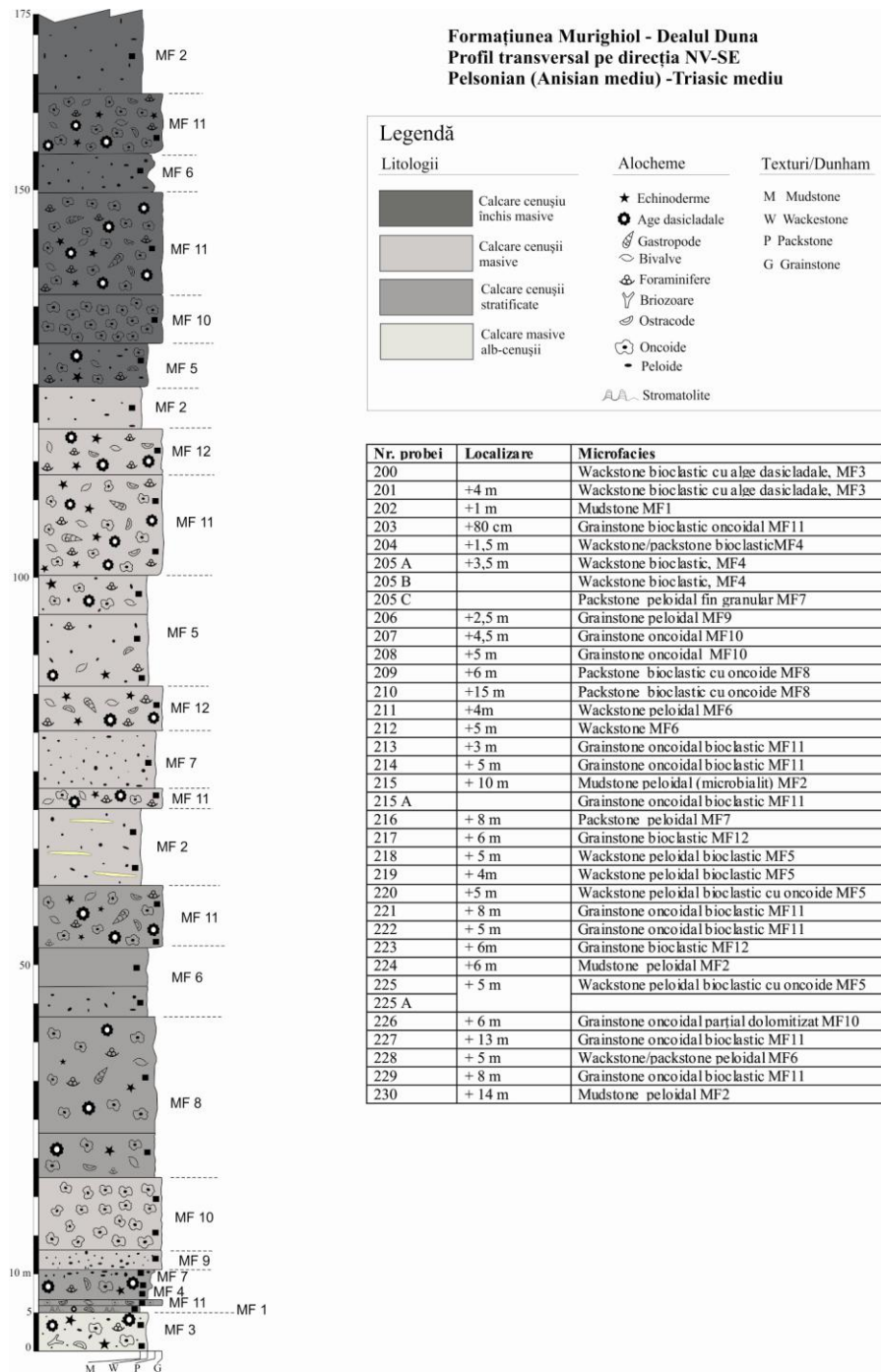


Fig. 11 Coloana litostratigrafică sintetică a profilului probat în Dealul Duna, Murighiol

### Microfaciesuri carbonatice în zona Dunavătu

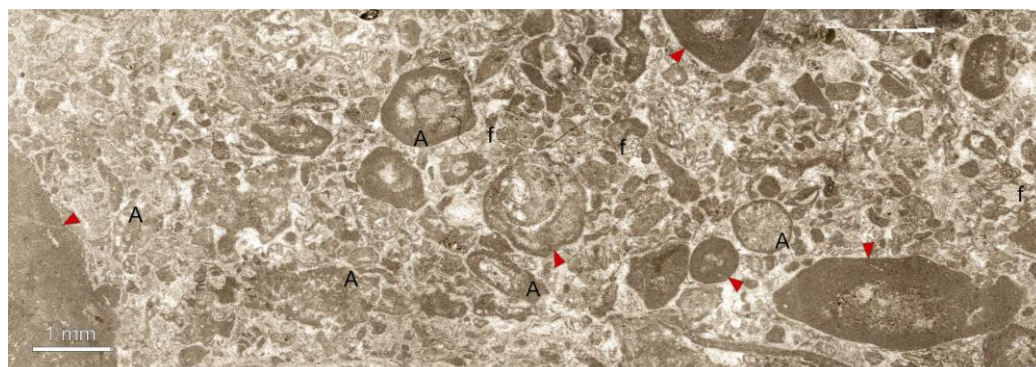
Depozitele probate în zona Dunavătu fac parte, asemenea celor de la Murighiol, din Formațiunea de Murighiol. În cele trei secțiuni studiate, au fost identificate 9 microfaciesuri carbonatice, pe baza texturii, a constituenților principali, a fabricului, a caracteristicilor diagenetice, precum și conținutului fosilifer (Tabelul 2). Acestea au fost interpretate a

reprezenta 5 subdomenii (sub-medii) care se grupează în două domenii. De exemplu, domeniul lagunar prezintă 4 subdomenii fiecare cu microfaciesuri caracteristice diferite.

Textură	Constituenții majori	Fabric și caracteristici diagenetice	Conținut fosilifer
<b>DOMENIUL CÂMPIILOR TIDALE</b>			
Subdomeniul câmpiilor intertidale (intertidal inferior)			
Mudstone/ bindstone	Stromatolite	Fluctuații minore intrabazinale date de limitele gradate ale laminelor	Absența bioclastelor
Subdomeniul canalelor tidale (subtidal superior)			
Grainstone și Wackestone/ packstone	Peloide măloase, bahamiene, algale, fecale	Compactări mecanice, orientarea // a particulelor, schimbări de la energie > la energie <, micritizări	Fragmente de bivalve, alge, plăcuțe de echinoderme
Grainstone	Intraclaste, peloide	Deformări plastice ale intraclastelor, micritizări, recristalizări, fisuri	Alge dasicladacee, gastropode, foraminifere, plăcuțe de echinoderme
<b>DOMENIUL LAGUNAR</b>			
Subdomeniul lagunar restrictiv			
Floatstone	Oncoide, peloide	Dolomitizare	Ostracode
Subdomeniul lagunar semi-restrictiv			
Floatstone	Oncoide, peloide	Recristalizări	Ostracode, <i>Cayeuxia</i>
Subdomeniul lagunar protejat			
Wackestone	Pelete fecale	Bioturbații	Gastropode, foraminifere, fragmente de bivalve și echinoderme
	Alge dasicladacee	Bioturbații	Alge, gastropode
Mudstone/ wackestone	Spiculi de spongieri, peloide	Structuri geopetale	spiculi de spongieri, fragmente de echinoderme, filamente de bivalve
Subdomeniul lagunar deschis			
Grainstone	Oncoide	Cimentare marină	alge, foraminifere, <i>Cayeuxia</i> , fragmente de gastropode și echinoderme
Packstone	Alge dasicladacee	Cimentare marină	Alge, ostracode, gastropode

**Tabelul 2. Mediile și sub-mediile depozitionale definite în Triasicul Mediu (Anisian) din partea estică a Dobrogei de Nord în funcție de textură, componenții majori, caracteristicile diagenetice și conținutul bioclastic.**

**Fig 12  
Microfaciesul  
grainstone  
oncoidic**



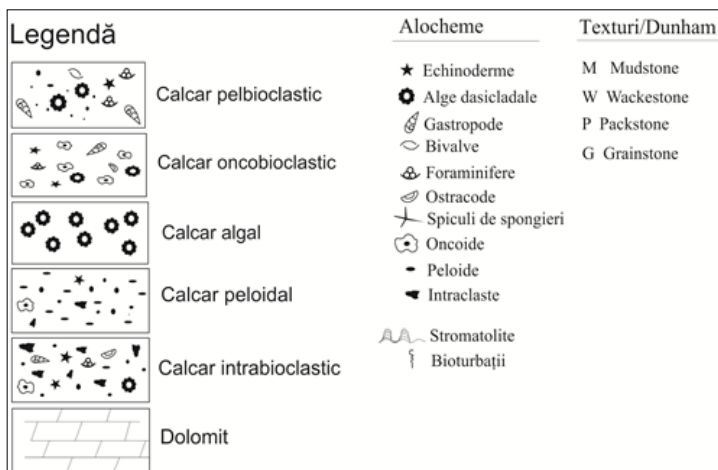
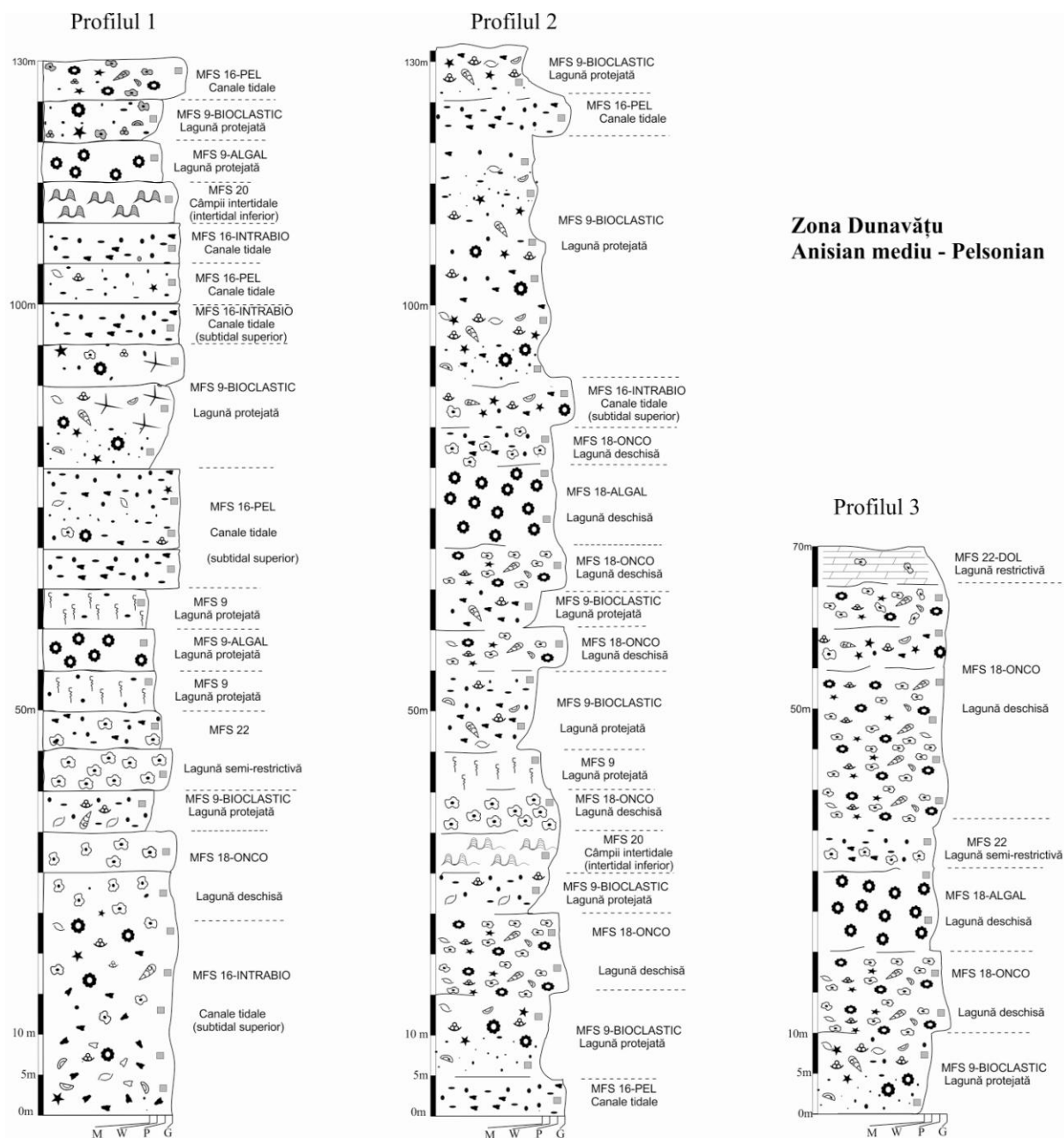


Fig. 13 Coloane litostratigrafice sintetice ale celor 3 profile măsurate în zona Dunavăţu

## **Evoluția diagenetică a depozitelor carbonatice din zonele Mahmudia-Murighiol-Dunavățu**

Diageneza reprezintă totalitatea transformărilor fizico-chimice, bio-chimice și mecanice pe care le suferă sedimentele după depunere și litificare până la limita cu metamorfismul sau până în momentul alterării sau eroziunii lor (Panaiotu, 2000). Procesele diagenetice care afectează sedimentele depind de mediul în care acestea au fost depuse, de adâncimea la care acestea au ajuns, de soluțiile interstițiale și de circulația lor prin sedimente, presiune, temperatură, pH, Eh, elementele chimice ce sunt prezente în sistem.

### **1. Sindiaogeneza**

#### **a) Dizolvarea selectivă**

În secvențele de la Mahmudia, Murighiol și Dunavățu, bioclastele cu teste aragonitice (moluște, alge) sunt cele mai afectate de dizolvări selective, ceea ce indică circulația unor fluide slab saturate în carbonați și ușor acide. Astfel de soluții pot proveni din circulația descendentă sau laterală a fluidelor meteorice în perioadele de scădere a nivelului mării. Excesul de carbonat rezultat din dizolvare reprecipită sub formă de ciment calcitic slab magnezian druzic și mosaic.

#### **b) Micritizarea**

Micritizarea incompletă a clastelor, având ca rezultat formarea cortoidelor, în arealul studiat nu este un proces foarte des întâlnit, afectând cel mai mult rocile carbonatice formate într-un mediu marin de apă puțin adâncă din zonele Murighiol-Dunavățu. Micritizarea completă a clastelor carbonatice, cu formarea peloidelor și a mâlurilor carbonatice, în schimb, este aproape omniprezentă în toate cele trei zone. Mediul diagenetic ale cărui caracteristici sunt indicate de procesele de micritizare (incompletă) este mediul marin freatic de apă puțin adâncă, o dovadă a faptului că sedimentele nu au suferit transformări majore din momentul litificării lor. Ostracodele și foraminiferele sunt bioclastele cele mai frecvent întâlnite bordate de o anvelopă micritică, urmate, mai rar, de brachiopode, brizoare și echinoderme. Cortoidele sunt însoțite adesea de încrustații organice, denotând o activitate microbiană intensă, de altfel fiind și interpretate drept micritizări microbiene ale părților externe ale bioclastelor (Collin et al., 2009).

#### **c) Cimentarea**

**Cimentul fibros radiaxial (RFC):** Cimentul fibros radiaxial, calcitic slab magnezian ca și compoziție mineralogică, este cel mai răspândit și, volumetric, cel mai important ciment întâlnit în cavitățile diagenetice timpurii și depoziționale din multe biolitite recifale, complexe de tip mud-mound și slope setting (Lees, 1964).

**Cimentul fibros:** Cimentul fibros cu tentă maronie apare de asemenea în cadrul faciesurilor de tip boundstone, din zona Mahmudia. Nu există nici un indiciu de dizolvare între depunerea cimentului fibros și a micritului. Cimentul fibros este important ca volum în cadrul faciesurilor de tip boundstone și adesea ocupă marea parte a spațiilor rămase după cadrul *Tubiphytes* și cimentarea micritic-peloidală. Din cauza faptului că nu există urme de dizolvare anterioare depunerii lui, cimentul fibros este interpretat ca și ciment sindiagenetic precipitat când reciful mai era în contact activ cu apa marină.



**Cimentul sintaxial de supracreștere pe plăcuțe de echinoderme** format în mediul marin are o apariție opalescentă în secțiuni subțiri, datorată prezenței incluziunilor fluide conținute

**Cimentul druzic:** Acesta apare ca o creștere peste cimentul fibros radiaxial și marchează o schimbare majoră în habitusul cristalelor. Cristalele măsoară între câțiva zeci și câteva sute de microni și au terminații ascuțite și uneori tocite. Este compus din dolomit, evidențiat prin aspectul neschimbat al cristalelor în urma colorării cu alizarin și fericianură de potasiu (staining). Apariția cimentului druzic având ca substrat cimentul fibros radiaxial provenit din alterarea neomorfică a unui precursor calcitic magnezian și uneori sediment micritic, precum și compoziția dolomitică, sunt argumente pentru formarea într-un mediu mixt meteoric-marin.

**Cimentul pelicular fibros:** Majoritatea rocilor de tip grainstone identificate în secțiunile de la Murighiol și Dunavățu prezintă o primă o generație de ciment pelicular fibros. Acest ciment a fost alcătuit inițial din cristale de calcit magnezian sau aragonit, aciculare și distribuite radiar pe suprafața exterioară a particulelor. Procesul de cimentare pare să fie foarte timpuriu, imediat după sedimentarea particulelor, chiar la interfața sediment/apă, fapt demonstrat de contactele parțial libere dintre granule, ce arată lipsa oricărei compactări mecanice înainte de cimentare.

#### **d) Dolomitizarea**

##### **Aspecte ale dolomitizării în zona Mahmudia**

Calcarele nodulare, datorită poziției lor în continuare de sedimentare după dolomitele masive și intercalându-se printre calcarele cu stromatactis și cele recifale, au fost abordate, chiar dacă nu foarte detaliat. În probele analizate, dolomitul apare sub formă de benzi concordante cu stratificația înlocuind matricea micritică. Cristalele euhedrale și subhedrale, cu sau fără suturi între ele, au dimensiuni de câțiva zeci de microni, alcătuind agregate mai mult sau mai puțin împachetate, plutind în matricea fin granulară – ceea ce denotă un fabric porfirotopic. În zona benzilor dolomitice, cristalele euhedrale și subhedrale, cu contacte între ele, domină net matricea micritică slab/difuz luminiscentă, diagnostic pentru un fabric inechigranular tot porfirotopic. Romburile de dolomit cu dimensiuni între 10 și 50  $\mu\text{m}$  au nucleul nonluminiscent, iar rama luminiscentă, fapt ce denotă formarea lor într-un mediu oxidant, într-o etapă timpurie a diagenzei. Conturul luminiscent, demonstrând un potențial redox negativ ce a permis încorporarea ionilor de  $\text{Fe}^{3+}$  și  $\text{Mn}^{3+}$  într-un mediu reducător, este datorat proceselor de îngropare care au acționat în anadiagenză. Dolomitizarea a fost favorizată de fluidele bogate în ioni de  $\text{Mg}^{2+}$  ce au circulat pe fisuri.

În faciesul cu stromatactis/evinospongia, dolomitul apare asociat cu fisurile pe care probabil au circulat fluidele bogate în  $\text{Mg}^{2+}$  din care a precipitat, sub forma cristalelor decimicronice euhedrale, dar cel mai adesea subhedrale, înlocuind metasomatic matricea micritică și cimentul fibros radiaxial. Cristalele rombice cu contacte între ele sunt grupate în fabricuri echigranulare sub formă de mozaic. La catodoluminiscentă apar nonluminiscente, denotând un mediu de precipitare oxidant.

Faciesurile recifale sunt, de asemenea, marcate de dolomitizare. Procesul este selectiv, afectând intraclastele, fragmentele de *Tubiphytes* sau neselectiv, conducând la dolomitizarea masivă a matricei micritice. Cristalele de dolomit sunt în majoritate romburi euhedrale, bine definite, cu aspect opalescent și uneori apar fără contacte între ele, plutind în masa micritică a

intraclastelor sau a matricei, sau sub formă de ciment dolomitic bordând pereții porilor. Sub catodoluminescență, cristalele euhedrale de dolomit sunt nonluminescente în interior, dar cu marginea luminescentă, sugerând formarea în condiții oxidante, definitivată sub incidența îngropării progresive, în anadiageneză. Fabricul este tot porfirotopic, inechigranular.

Profilul 1 localizat în Dealul Duna, de lângă localitatea Murighiol, nu a oferit probe care să dovedească o dolomitizare intensă a calcarelor de apă puțin adâncă. Într-o singură probă de la începutul profilului 1 (202), au fost observate cristale euhedrale de dolomit, foarte fluorescente, și cu textura diferită: nu mai există un nucleu non fluorescent încadrat de o ramă fluorescentă, ci tot cristalul este fluorescent, nezonat. Conținutul ridicat de materie organică relevat de fluorescența puternică ar putea fi un indiciu pentru formarea pe cale organică a acestui tip de dolomit, fapt susținut și de faciesul stromatolitic în care a fost indentificat, marcat de o activitate microbiană intensă.

### **Aspecte ale dolomitizării în zona Dunavățu**

Dolomitele întâlnite la partea superioară a secveței de calcare de apă puțin adâncă de la Dunavățu formează strate compacte cu limite nete și cu grosimea de maxim 1 m. Dolomitul se prezintă sub formă de agregate mezocristaline, hipiotopice în cazul dolomitelor compacte și sub formă de cristale izolate idiomorfe în cazul calcarelor parțial dolomitizate adiacente. Atât cristalele izolate de dolomite, cât și agregatele cristaline nu prezintă luminescență în zona internă, sugerând formarea într-un mediu oxidant. Ca și în cazurile precedente, nucleul nonfluorescent este bordat de o zonă exterioară luminescentă și fluorescentă.

## **2. Anadiageneza**

### **a) Compactarea mecanică**

În cazul rocilor de la Dunavățu, se observă în anumite microfaciesuri, dar foarte rar, contacte concav-convexe între particulele adiacente datorate compactării mecanice, fie prin deformare plastică a particulelor moi, fie prin dizolvarea preferențială a particulelor cu grad ridicat de solubilitate chimică condiționată de compoziția mineralogică și structura internă. Alte efecte ale compactării mecanice sunt deformările plastice ale peloidelor și orientarea lor pe o direcție perpendiculară pe direcția de stress.

### **b) Dizolvarea sub presiune și stilolitele**

În secvența stratigrafică din cariera de la Mahmudia, stilolitele au fost semnalate în câteva probe din faciesurile recifale și cu calcare nodulare. În calcarele recifale, stilolitele iau forma unor încrustații, cu tentă roșcată, ceea ce denotă un conținut ridicat de oxizi de fier, demonstrate și de analizele geochimice. Stilolitele semnalate au amplitudini medii și mari și conțin acumulări de argilă, oxizi și materie organică.

În secvența de la Dunavățu, au fost observate stilolite, dar nu foarte frecvent. Uneori ele sunt reliefate de un reziduu insolubil bogat în minerale argiloase și oxizi de fier care dau culoarea roșcată acestor suprafețe. Alteori însă, stilolitele sunt invizibile în secțiunile subțiri analizate sub microscopul cu lumină polarizată, probabil datorită purității mari a calcarelor în care se formează. În astfel de cazuri, observarea lor este posibilă doar la catodoluminescență, unde stilolitele sunt luminescente datorită reprecipitării calcitului dizolvat în condiții reducătoare și cu conținut ridicat de Mn și Fe.

### c) Neomorfismul

*Inversiunea (inversarea)* este procesul de înlocuire a unui mineral cu polimorul său, în funcție de condițiile termobarice ale mediului; în cazul rocilor analizate făcându-se referire la transformarea aragonitului instabil din cochiliile moluștelor și a algelor dasicladaceae sau a calcitului magnezian, în cazul precursorului cimentului fibros radiaxial din structurile stromatactis/evinospongia, în calcit slab magnezian.

### d) Metasomatismul diagenetic

Substituția prin dizolvare și precipitare simultană a unei faze minerale, paleosom, ajunsă la instabilitate termodinamică, cu altă fază minerală, neosom, stabilă în condițiile termodinamice date, reprezintă metasomatismul diagenetic.

În cazul studiului de față, înlocuirea se referă la procesul de calcitizare a radiolarilor din matricea care conține structurile stromatactis/evinospongia.

### e) Recristalizarea

Bioclastele sunt adesea recristalizate, în special algele și moluștele. Morfologia testelor și a talurilor sunt conservate însă structura internă este complet înlocuită de un agregat calcitic cu caractere izometrice tip mozaic. În câteva cazuri au fost observate și recristalizări ale cimentului pelicular aragonitic și înlocuirea lui cu ciment romboedric calcitic cu conservarea limitelor externe ale cimentului.

*Cimentul mozaic, de pori:* Ulterior precipitării cimenturilor peliculare sindepoziționale, a rămas un spațiu poros care a fost circulat de soluții mult mai slab saturate, cu un raport Ca/Mg în favoarea precipitării calcitului slab magnezian. Din astfel de soluții a fost precipitat un ciment de pori ca relație structurală în spațiul interstițial și cu morfologii izometrice, xenomorfe ale cristalelor, denotând fabric echigranular și druzic. Acest ciment este sărac în incluziuni fluide (cristalele fiind adesea foarte limpezi), demonstrând un mediu diagenetic deja stabilizat din punct de vedere al calității fluidelor interstițiale.

Abundența acestui tip de ciment a fost semnalată de-a lungul crustelor de ciment întâlnite în faciesurile recifale, cristalele fiind limpezi și foarte mari, cu o mineralogie slab magneziană, neferiferă scoasă în evidență prin colorare cu fericianură de potasiu.

### f) Dolomitizarea

În secvențele de la Mahmudia și Murighiol au fost observate în special supracreșteri ale cristalelor de dolomit anadiagenetic (cu luminiscentă puternică) pe un suport dolomit existent din faza sindiagenetică fără luminiscentă. Prin fluorescență UV, a fost de asemenea evidențiat acest aspect, cu nucleu nonfluorescent și margini fluorescente. Conturul fluorescent al cristalelor de dolomit denotă concentrări de materie organică.

### g) Fisurarea

În faciesul cu stromatactis/evinospongia din cariera de la Mahmudia, aceste structuri și roca gazdă sunt traversate de microfracturi luminiscente subțiri. Aceste microfracturi nu se suprapun peste terminațiile cristalelor de ciment fibros radiaxial.

Și în faciesurile recifale fisurile umplute cu ciment mozaic sunt întâlnite, dar nu prezintă luminiscentă, ceea ce denotă precipitarea târzie a acestui ciment, din fluide posibil chiar meteorice.

### 3. Epidiageneza

#### a) Dedolomitizarea

Câteva cazuri izolate de dedolomitizare similare modelului mimetic au fost observate în calcarele din zonele Murighiol și Dunavățu. Cristalele de calcit rezultate sunt idiomorfe păstrând aceeași formă și zonalitate cu cea a dolomitelor inițiale. La catodoluminescență, cristalele observate în probe din zona Dunavățu au zona marginală non-luminiscentă, iar nucleul luminiscent estompat, pe când cristalele din zona Murighiol își păstrează aceeași morfologie, dar nu și zonalitatea, apărând cu un aspect neregulat, dat de succesiuni haotice de zone non-și luminiscente. Situația din urmă reflectă oscilații ale potențialului redox corespunzător fluidelor care au marcat precipitarea calcitului în mulajul cristalelor de dolomit inițial.

În depozitele recifale din cariera de la Mahmudia, la un anumit nivel stratigrafic, a fost semnalat procesul de dedolomitizare afectând calcarele cu *Tubiphytes*, favorizând o porozitate secundară mare, doar relictate ale cristalelor de dolomit observându-se. În acest caz, dedolomitizarea este evident în strânsă legătură cu fluidele meteorice, acide, care au dizolvat preferențial doar clastele dolomitizate de *Tubiphytes*.

Procesul de dedolomitizare este asociat adesea cu infiltrații de fluide meteorice fie prin carstificare, fie prin fracturare de decompactare în timpul ridicării spre suprafață a rocilor. Datorită faptului că procesul nu este foarte frecvent, nu s-a putut efectua un studiu sistematic pentru a înțelege mai bine condiționările procesului.

#### 4. Geochimia rocilor carbonatice

Pe lângă analizele petrografice, pentru această lucrare au fost efectuate și analize geochimice cu scopul de a obține indicii suplimentare despre compoziția rocilor carbonatice, fluorescența de raze X (XRF) și compoziția izotopilor stabili de C și O. Cele din urmă menționate au fost dezvoltate anterior, în contextul proceselor diagenetice.

#### a) Recifii microbieni

Concentrațiile relative mari de Fe și P denotă activitatea bacteriană desfășurată în cadrul recifilor cu încrustații microbiene. Bacteriile Fe-încrustante cel mai probabil au fost factorul dominant în formarea calcarelor roșii. Deși catodoluminescența a putut fi aplicată cu succes în această parte a profilului, Mn a fost sub limita de detecție, doar într-o singură probă (73b) fiind înregistrat în cantități de 240 ppm și 1400 ppm. Acest fapt sugerează că deși domina activitatea microbiană, mediul era accesibil și altor organisme, precum echinoderme, foraminifere, ostracode, bivalve și gastropode, nefiind reducător pentru a permite înglobarea ionilor de  $Mn^{3+}$ . Totuși, în cazul în care luminiscența a fost observabilă este posibil ca depozitele să fi fost afectate de îngropare.

Conținutul de MgO, cuprins între 0.5% și 6.2% este corelabil cu imaginile de la catodoluminescență care expun dolomitizarea anumitor zone din acest tip de calcare. De fapt, în compoziția tuturor depozitelor analizate se observă că dolomitizarea este un proces omniprezent, ce a acționat de o arie mare. Conținutul de  $SiO_2$  sugerează un aport siliciclastic, exterior bazinului.

#### b) Calcarele cu evinospongia

Compoziție chimică influențată de oxizii de Mg și Si (Tabelul 5-3). Procesul de dolomitizare observat în secțiuni subțiri este susținut prin concentrațiile de Mg cuprinse între

1 și 3%, înregistrate punctual. Noutatea pe care o aduc analizele chimice constă în faptul de a fi observant dolomite și în cimentul fibros radiaxial, ceea ce din secțiuni subțiri nu reieșea.

Concentrațiile de Si au fost măsurate în matricea micritică a calcarelor și sunt în relație cu procentul mare de radiolari calcitizați observați în secțiuni subțiri.

Concentrații de Mn nu au fost deloc măsurate, ceea ce ar putea sugera faptul că rocile au fost puțin afectate de recristalizare (ceea ce nu este în accord cu datele de izotopi) sau că fluidele din pori erau sărace în Mn și Fe (Tucker și Marshall, 2004). Valorile Sr (168 ppm) sunt mici comparative cu carbonații moderni. Pierderea Sr din sedimentul carbonatic original ar putea fi rezultatul stabilizării carbonaților inițial instabili (HMC) în calcit.

#### **c) Calcarele nodulare**

Aceste calcare de apă mai adâncă, pelagice, sunt formate din sedimente fine. Știut fiind faptul că Tethysul triasic a fost o “mare aragonitică”, principalii polimorfi care au precipitat din apa mării au fost aragonitul și calcitul magnezian (Stanley, 2006), reprezentând surse de sediment pentru zonele mai batiale. Prezența cristalelor de dolomit în calcarele nodulare, susținută și de concentrațiile constante de Mg rezultate din analizele geochemice, ar putea fi motivată prin eliberarea ionilor de Mg în apa din pori în timpul conversiei calcitului magnezian, facilitând precipitarea dolomitului (Preto et al., 2009). Cantitatea mică de Sr (12 ppm) este în accord cu stabilizarea calcitului magnezian.

#### **d) Grainstone cu Tubiphytes**

A fost observant un nivel mai intens dolomitizat. Valorile înregistrate pentru Mg au fost cuprinse între 0.2 și 12.7%, ceea ce apropie textura acestor roci de dolomite. Bioclastele însă au fost bine conservate, neafectate în totalitate de dolomitizare. Valorile izotopilor de O (-2.31‰) ar putea sugera precipitarea cristalelor de dolomite direct din apa marină (la temperaturi de 26°C) prin alterarea mălurilor aragonicite/calcitice (Tucker și Marshall, 2004). Concentrațiile mici de Fe și sub limita de detecție de Mn indică faptul că aceste elemente nu se găseau în cantități mari în apa mării, fiind un mediu oxigenat, iar absența Sr este datorată stabilizării carbonaților instabili care au fost înlocuiți cu cristalele de dolomit.

#### **e) Boundstone cu Tubiphytes**

În faciesul de tip boundstone, tot recifal, au fost efectuate măsurători pe mai multe generații de ciment și sediment micrit. Nu au fost observate diferențe semnificative în compoziția cimentului și a micritului probabil din cauză că după îngroparea progresivă compoziția s-a omogenizat. Absența Mn este corelată cu nonluminiscenta, iar explicația ar consta în lipsa lui din fluidele care au circulat prin pori.

### **Arhitecturi și modele de sedimentare în formațiunile Triasic-medii studiate**

La începutul acestui studiu, principalul obiectiv propus era demonstrarea posibilei origini chemosintetice a calcarelor anisiene (Triasic Mediu) din cariera Caeracul Mare Est, Mahmudia. Rezultatele pozitive ale acestui demers ar fi avut un impact științific semnificativ datorită faptului că la nivelul Triasicului nu a fost raportat până acum nicaieri în lume acest tip de sedimente carbonatice, de altfel intens studiate în ultimul deceniu. Analizând compoziția izotopilor de C și O ale diverselor generații de ciment selectate din depozitele de interes, nu au fost înregistrate valori negative ale  $\delta^{13}\text{C}$  care să indice degradarea bacteriană a

materiei organice, condiție esențială pentru confirmarea originii metanogenetice. Avansând cercetările, pe parcurs s-a constatat că rocile masive care adesea înglobau forme tubulare de calcit larg cristalizat, epigenetic, sunt de fapt structuri recifale cu *Tubiphytes*. Această abordare este deosebit de interesantă în contextul recuperării organismelor bioconstructoare după extincția în masă de la sfârșitul Permianului, când 80% din fauna marină a dispărut (Flügel, 2002). Platformele carbonatice din Alpii Calcaroși de Nord (Tyrol și Bavaria) și de Sud (Dolomiți), care au impresionat prin expunerea bună și peisajele spectaculoase, au fost regiunile unde originea maselor imense de depozite carbonatice triasice-medii și superioare a fost recunoscută pentru prima oară ca fiind recifală.

Pe lângă complexele recifale, în secțiunea Mahmudia au mai fost identificate secvențe cu depozite carbonatice de apă mai adâncă, aferente domeniului de taluz, cu structuri dominate de un volum mare de ciment radiaxial fibros și sparitic, dispuse în rețele interconectate paralel cu stratificația. Aceste structuri sunt descrise în literatură ca structuri stromatactis și sunt asociate în majoritatea cazurilor cu construcții carbonatice domale de tip mud mound. Însă studiate mai atent și la nivel microscopic, s-a observat o diferențiere a lor: structurile care au o amploare de câțiva centimetri diametru și aranjament sub forma lentilelor lungi de 1-2 m, un volum mai mic de ciment și mai mare de sediment intern sunt structuri stromatactis veritabile, iar structurile care apar sub forma crustelor de ciment radiaxial de 10-20 cm diametru și care ajung să cuprindă 75% din roca primară sunt structuri evinospongia. Atât structurile stromatactis, cât și cele evinospongia sunt caracteristice taluzurilor, iar prin volumul mare de ciment sindepozițional conferă rigiditate și stabilitate pantei. Studiate în detaliu până la momentul actual au fost structurile evinospongia, dat fiind faptul că diferențierea a fost făcută pe parcurs, inițial toate structurile dominate de ciment fiind considerate stromatactis.

Este cunoscut faptul că recifii al căror cadru este dominat de ciment influențează în mod determinant geometria taluzului, creând pante abrupte (Webb, 1996), în cazul de la Mahmudia, structurile evinospongia formate din cruste largi de ciment radiaxial fibros având același rol. În același timp, structurile evinospongia și faciesurile de tip boundstone cu *Tubiphytes* au reprezentat fabrica de carbonați a taluzului (Blendinger, 1994). Intercalate între cele două litofaciesuri dominante mai sus menționate, sunt calcarele nodulare, care prin microfauna conținută denotă un mediu liniștit, cu ape adânci. Dar dolomitizarea masivă, concordantă cu stratificația, ce dă rocii un aspect „zebrat” cu alternanțe de benzi închise la culoare și benzi cărămizii, denotă perioade de ridicare a platformei carbonatice sau de regresie marină pentru a permite formarea dolomitului în condiții temperatură ridicată a apei și cu evaporație intensă.

Recifii de dimensiuni mai mici, dominați de încrustații biotice, ce apar răzleț printre calcarele cu evinospongia reprezintă primele tentative de construcții recifale în care organismele microbiene, mai bine recuperate după criza permo-triasică, coexistă cu metazoare care însă nu au puterea necesară de a construi singure recifi. Primele construcții carbonatice care s-au format probabil în partea inferioară a taluzului au fost construcțiile domale, de tip mud mound, asociate cu structurile stromatactis identificate în partea sud-vestică a carierei.

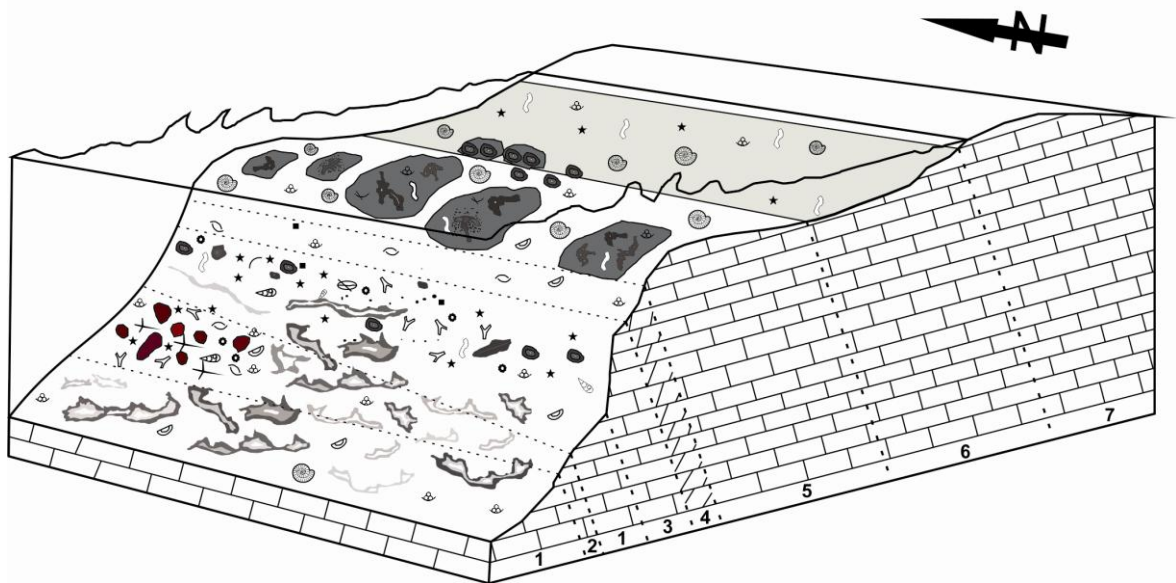
Procesul de dolomitizare este un fenomen omniprezent în platformele carbonatice triasice, în general (Marcoux et al., 1993), înlocuirea extensivă a calcitului cu cristale de dolomit distrugând fabricul original într-o mai mică sau mai mare măsură. Susceptibile spre a

fi înlocuite preferențial au fost componentele micritizate sau fin granulare, cimenturile calcitice fibros și fibros-radiaxial fiind aparent mai rezistente la dolomitizare (Kenter, 1990). Comparând situația din zona Mahmudia cu platformele Sella și Latemar din Dolomiți (Alpii Calcaroși de Sud, nordul Italiei), s-a observat o compoziție similară pentru zona Mahmudia: o parte superioară a taluzului ce constă din grainstone și o parte inferioară constând din calcirudite, cu dimensiunile particulelor având tendința de creștere spre partea bazală.

Întrucât este cunoscut faptul că fabricul sedimentelor influențează geometria marginilor platformelor carbanatice și a taluzurilor (sedimentele fin granulare creează flancuri cu pante line de 5-15°, iar sedimentele necoezive și un volum mare de ciment creează flancuri abrupte și stabile, Keim și Schlager, 1999), este important a înțelege caracterul ariei sursă și procesele depoziționale care alimentează profilul taluzului. Comunitățile de organisme de pe marginea platformei (organismele bioconstructoare) și intensitatea bioeroziunii au fost în continuă schimbare în timp geologic. Impactul acestor variabile asupra compoziției finale a sedimentelor de pe taluz și potențialul diagenetic (cimentarea) au o importanță deosebită. Celelalte variabile, precum nivelul mării, subsidența, climatul, mișcarea plăcilor tectonice și cadrul oceanografic au de asemenea implicații asupra geometriei platformelor, dar fabricul sedimentelor este cel care influențează decisiv unghiul taluzului flancurilor platformelor carbonatice.

În Fig. 14 este conturat un model ce ilustrează arhitectura domeniului de taluz, așa cum reiese din interpretările faciesurilor și microfaciesurilor carbonatice, precum și al modului de asociere al acestora.

Secțiunea Mahmudia, Bithynian-Anisian Mediu (Triasic Mediu)



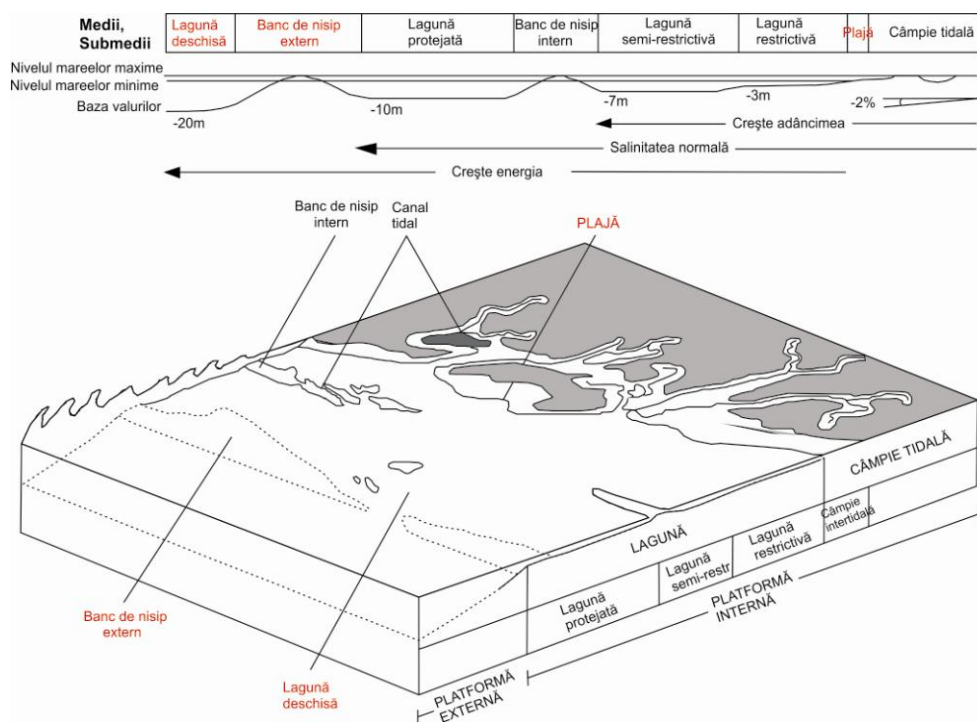
**Fig. 14 Model schematic al platformei externe în zona Mahmudia ce ilustrează marginea platformei cu domeniul de taluz, faciesurile și asociațiile bioclastice caracteristice (1-7). Recifii sunt întotdeauna sub nivelul mării, până la nivelul actual al cercetărilor neexistând indicii ale interiorului lagunar al platformei. 1-calcare cu evinospongia; 2-recifi microbieni de mici dimensiuni; 3-material alohton derivate din armătura recifală; 4-calcare nodulare; 5-armătura recifală, boundstone cu Tubiphytes; 6-laguna din spatele recifului, nestudiate depozitele care s-ar presupune să o reprezinte; 7-faciesuri lagunare (Model adaptat din Emmerich et al., 2005)**

Adițional, au mai fost cercetate două zone aparținând Formațiunii Murighiol, respectiv o secțiune în Dealul Duna, lângă Murighiol și trei secțiuni, în zona Dunavățu. Faciesuri

identificate în aceste zone sunt asemănătoare, se repetă ciclic și sunt tipice interiorului platformei.

În concordanță cu studiile care tratează sistemele carbonaților peritidali moderni și variabili în timp geologic (Laporte, 1967; Hardie și Ginsburg, 1977; Shinn, 1983; Strasser și Davaud, 1983; Pratt și James, 1992), interpretarea sedimentologică permite conturarea unui model de facies care să reflecte distribuția spațială a domeniilor și subdomeniilor definite în Triasicul Mediu (Anisian) din cea mai estică parte a Dobrogei de Nord (Fig. 15).

În timp, depozitele studiate au evoluat din Bithynian, în secțiunea de la Mahmudia, până în Pelsonian, secțiunile din zonele Murighiol-Dunavățu. Spațial, variația este din mediul lagunar (platform internă) până spre marginea platformei carbonatice, respective la taluz. Cu excepția lipsei unor domenii din cadrul platformei interne, dar și cu multe cercetări rămase de efectuat în zona Mahmudia, evoluția se poate considera una completă, permițând înțelegerea mai bună a factorilor care au condus la modelarea platformei carbonatice. Studiile viitoare cu siguranță vor scoate în evidență lucruri și mai interesante din etapele evoluției domeniilor din partea cea mai estică a Orogenului Dobrogei de Nord.



**Fig. 15 Distribuția spațială a mediilor depozitionale definite în Triasicul Mediu (Anisian) din zona Murighiol-Dunavățu, respectiv câmpia tidală și mediul lagunar (Model adaptat din Colombié și Strasser, 2005)**

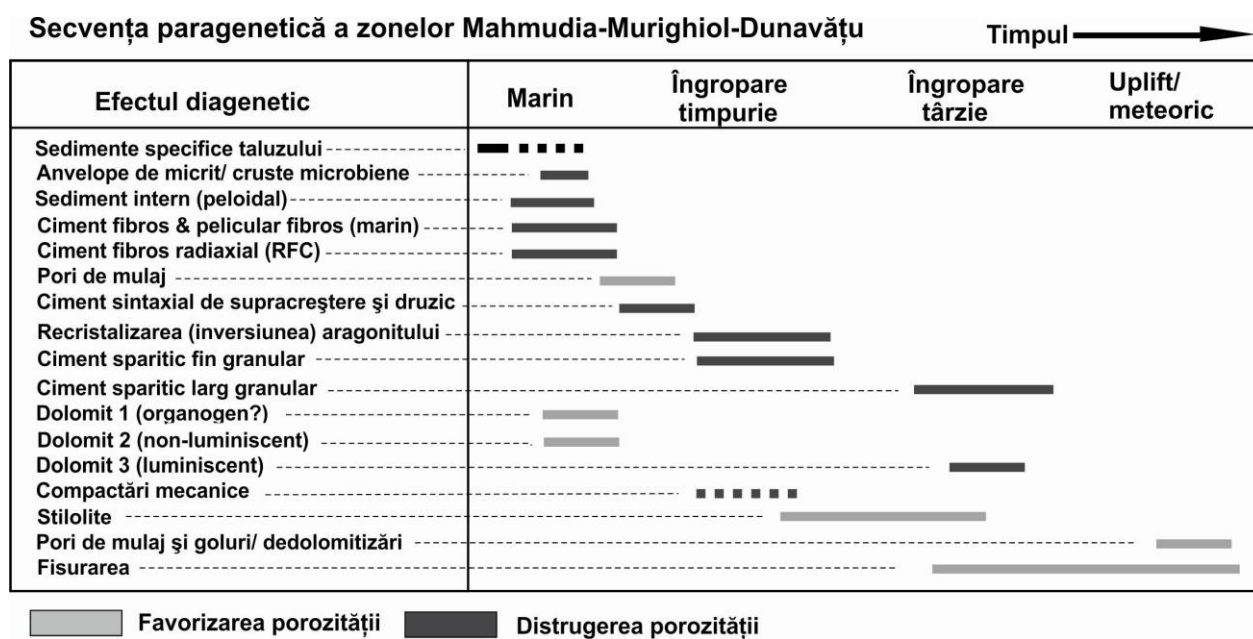
### ***Evoluția proceselor diagenetice în timp***

În rocile carbonatice, mai mult decât în oricare alt tip de rocă sedimentară, procesele sindiagenetice sunt foarte active conferind rocii aspect particulare a căror analiză permite reconstituirea evoluției diagenetice. Factorii care influențează procesele sindiagenetice în rocile carbonatice sunt: oscilațiile nivelului mării; variațiile climatice; rata de sedimentare; circulația fluidelor; activitatea tectonică timpurie.



Din evoluția proceselor diagenetice sintetizate se poate observa că în fazele sindiagenetice controlul asupra diagenezei a fost determinat de oscilațiile nivelului mării, iar în fazele anadiagenezei și telogenezei controlul major asupra diagenezei l-a deținut evoluția tectonică cu subsidență activă în primă fază și cu emersie și diagenază meteorică cuplată cu fracturări în fazele târzii.

Sindiageneza a avut loc într-un mediu marin, de apă puțin adâncă, spațiul interstițial fiind ocupat de fluide marine cu salinitate normală. O parte din sedimente s-au aflat într-o zonă în care apa a avut o circulație intensă, ce a împiedicat micritizarea și s-a putut forma cimentul pelicular fibros, fibros și precursorul cimentului fibros radiaxial (probabil calcit magnezian). Mediul în care a avut loc sindiageneza a fost oxidant, atât particulele cât și liantul fiind nonluminiscente. În această etapă s-a format și prima generație de dolomit nonluminiscent, care corespunde modelului mareic, care a favorizat o porozitate interstițială datorată dimensiunilor mai mici ale cristalelor de dolomite ce au înlocuit calcitul Anvelopele de micrit (întâlnite frecvent în faciesurile de apă puțin adâncă) și încrustațiile biotice (în cantități mari în zona Mahmudia) sunt produse ale diagenezei care au contribuit la micșorarea porozității.



**Tabelul 3** Reprezentare schematică a istoriei diagenetice pentru zonele studiate. A se observa diferența între factorii generatori și cei distructivi de porozitate (după Van Der Kooij et al., 2010)

Procesele specifice anadiagenezei sunt: dizolvarea sub presiune cu formarea de stilolite paralele cu stratificația, compactarea mecanică a sedimentelor, recristalizări ale bioclastelor și a cimentului aragonitic pelicular, supracreșterea dolomitului luminiscent peste dolomitul sindiagenetic non-luminiscent și apariția de fracturi cimentate. Analizând intensitatea acestor procese putem estima că adâncimea de îngropare nu a fost foarte mare, întrucât procesele de reechilibrare termodinamică (recristalizarea neomorfică neselectivă și de ampoare), deformări ductile sub influența stresului tectonic nu au avut loc. În susținerea acestei afirmații este invocată compoziția izotopilor de C și O, care pentru cele 18 probe analizate din zona Mahmudia are valori ale  $\delta^{13}\text{C}$  cuprinse între 1.88‰ și 3.78‰, iar pentru  $\delta^{18}\text{O}$  intervalul de variație este -2.08‰ - -5.45‰, cu excepția valorii -10.66‰. Intervalul mic

în care variază  $\delta^{13}\text{C}$  poate fi explicat prin aceea că probele au fost derivate în totalitate dintr-o sursă marină și au rămas neschimbate în ciuda transformării în produse diagenetice (Peterhänsel și Egenhoff, 2005). Valori negative pentru semnalul izotopic al C nu au fost înregistrate. Valorile negative pentru  $\delta^{18}\text{O}$  pot fi asociate cu temperaturi înalte sau ape sărăcite în oxigen. Diferența de 3‰ este întâlnită în multe calcare și este interpretată ca o consecință a formării calcitului sparitic, fiind precipitat la temperaturi înalte în timpul îngropării (Peterhänsel și Egenhoff, 2005).

În concordanță cu studiile centrate pe calcitul fibros radiaxial, acest tip de ciment este interpretat a fi fost precipitat într-un mediu marin cu o mineralogie calcitic-magneziană (indiciu este morfologia cristalelor, cu o tendință de alungire după axa c), dar a fost recristalizat sau afectat de neomorfism (inversiunea calcitului magnezian în calcit slab magnezian) într-o fază mai stabilă în timpul diagenezei de îngropare progresivă, sub influența apelor marine din pori. Cele mai alterate zone ale cimentului fibros radiaxial (care au fost luminescente sub catodoluminescență) au înregistrat un semnal izotopic  $\delta^{18}\text{O} = - 5.45\text{‰}$  și  $\delta^{13}\text{C} = 1.99 \text{‰}$  sugerând transformarea calcitului magnezian (HMC) în calcit slab magnezian (LMC) la temperaturi de aproximativ 34°C la adâncimi de 250-300 m (Satterley et al., 1994). Cimentul sparitic larg granular cu  $\delta^{18}\text{O} = - 10.66\text{‰}$  nu manifestă luminescență, ceea ce poate indica influența meteorică, cu fluide sărace în ioni de Mn și Fe. O parte din valorile semnalului izotopic încadrate în grupul B (Fig. 5-3) relevă faptul că sedimentele carbonatice (ciment și micrit) au fost alterate în fazele timpurii ale diagenezei (dolomitizare, uneori înlocuire cu calcit sparitic) și nu au mai precipitat din fluide cu o compoziție asemănătoare cu a apelor triasice, ci la adâncimi de până în 300 m. Măsurătorile de microtermometrie pentru incluziunile fluide găsite în generațiile de ciment ar aduce noi date pentru estimarea temperaturii la care au precipitat carbonații și ulterior pentru estimarea mediului în care s-au format.

În cadrul telogenezei au fost observate procese de dedolomitizare similare modelului mimetic, întâlnite sporadic în zona Murighiol-Dunăvău și mai frecvent în zona marginal a platformei în zona Mahmudia. Cristalele de calcit rezultate sunt idiomorfe păstrând aceeași formă cu cea a dolomitelor inițiale, iar adesea în zona Mahmudia creează o porozitate întragranulară foarte mare, distingându-se doar conturul cristalelor relict de dolomit. Procesul de dedolomitizare este asociat adesea cu infiltrații de fluide meteorice fie prin carstificare, fie prin fracturare de decompactare în timpul ridicării spre suprafață a rocilor. Marginea platformei carbonatice, cu faciesurile recifale, prin efectele dedolomitizării cu crearea porozității secundare mari relevă indicii pentru o expunere subaeriană.

Evoluțiile proceselor diagenetice care au afectat rocile din cele trei zone analizate denotă particularități locale evidențiind condițiile și mediile diferite prin care au trecut rocile. Evoluția temporală a proceselor diagenetice este cel mai bine evidențiată prin urmărirea raporturilor existente între generații successive de cimenturi formate în spațiile interstițiale.

O secvență tip a generațiilor de ciment care au obturat porozitatea primară sau secundară a putut fi elaborată pentru secvența carbonatică analizată în cariera Mahmudia. În zonele Murighiol-Dunăvău, cimentarea nu este foarte diversă, limitându-se la trei tipuri de ciment: pelicular fibros și sparitic granular de îngropare. Secvențele de ciment au fost identificate utilizând caracteristicile optice ale cristalelor precipitate în porii rocilor, aspectele de la catodoluminescență nefiind foarte elocvente întrucât rareori au manifestat luminescență.

Doar cimentul sparitic din pori mici, închiși complet, observați în calcarele cu recifi microbieni au avut un aspect zonat, în care au alternat benzi foarte luminescente cu benzi non-luminescente; și cimentul fibros radiaxial din structurile evinospongia a expus zonalități ample non-luminescente și foarte luminescente, care corelate cu imaginile de la fluorescența UV dau indiciu despre prezența materiei organice într-un mediu reducător, ce a permis încorporarea ionilor de Mn și Fe.

## Concluzii

De-a lungul vremii, cercetarea formațiunilor geologice ale Dobrogei de Nord, a reprezentat întotdeauna o provocare îndrăzneată, manifestată printr-un interes viu, complex, mereu nealterat. Plecând de la aceste premise, lucrarea de față își propune să aducă tributul său la continuarea demersului științific al cunoașterii succesiunilor sedimentare carbonatice triasice.

În acest sens, obiectivele principale, propuse pentru elaborarea acestui studiu, au fost următoarele:

1. Identificarea trăsăturilor petrografice și a efectelor diagenetice ce au afectat depozitele carbonatice triasice localizate în partea estică a Unității Tulcea;
2. Evoluția tempo-spațială a microfaciesurilor sedimentare triasice aparținând domeniului de platformă carbonatică, caracterizat prin prezența mediilor de taluz, margine a platformei și șelf intern, din zonele Mahmudia – Murighiol – Dunavățu;
3. Conturarea cadrului paleogeografic în care a avut loc sedimentarea în timpul Triasicului Mediu;
4. Reconstituirea sistemelor depoziționale, caracteristicilor bazinelor de sedimentare și evoluției platformei carbonatice a Unității Tulcea.

Aceste deziderate au fost în mare parte atinse, printr-un studiu petrografic detaliat ce a urmărit identificarea microfaciesurilor carbonatice; un studiu mineralogic-petrografic pentru conturarea proceselor diagenetice și un studiu geochimic pentru a descrie evoluția postdepozițională pe care a avut-o platforma carbonatică a Unității Tulcea.

Structura acestei teze de doctorat, dincolo de partea introductivă cu care debutează, cuprinde un prim capitol dedicat prezentării cadrului geologic oferit de către Orogenul Dobrogei de Nord alături de un scurt istoric al cercetărilor urmat mai apoi de localizarea și infatisarea obiectivelor și perimetrelor studiate. În cadrul celui de-al doilea capitol sunt introduse principalele concepte moderne de abordare a studiilor rocilor carbonatice, ce au reprezentat instrumentul de bază în realizarea prezentei lucrări. Capitolul al treilea se referă la metodele și tehnicile de teren, de laborator și interpretative, ca mijloc de susținere al acestei teze. În cadrul capitolului al patrulea sunt prezentate o parte din rezultatele principale ale cercetării efectuate, materializate prin identificarea, descrierea și gruparea microfaciesurilor carbonatice. Cel de-al cincilea capitol este dedicat prezentării aspectelor diagenetice reiesite din observațiile, analizele, și interpretările realizate. Ultimul capitol acestei lucrări, cel de-al șaselea, înglobează esența acestui studiu, prin prezentarea arhitecturilor și elaborarea modelelor depoziționale ce oferă imaginea de ansamblu a paleomediilor de sedimentare carbonatice, specifice domeniilor triasice cercetate. Lucrarea de față mai cuprinde și un număr de 35 de

planse dedicate prezentării structurilor specifice, microfaciesurilor și aspectelor diagenetice surprinse de-a lungul studiului petrografic, alături de figuri, diagrame și tabele aferente fiecărui capitol în parte.

Supportul material ce a stat la baza acestei lucrări a constat din aproximativ 250 de eșantioane colectate în campaniile de teren, din care au fost realizate 112 plachete lustruite și 105 secțiuni subțiri. Secțiunile lustruite și cea mai mare parte a secțiunilor subțiri (dintre care, cca. 20, cu dimensiuni generoase de 6X8 cm) au fost realizate personal în Laboratorul de Sedimentologie.

Analiza microfaciesurilor carbonatice a permis identificarea în zonele Mahmudia-Murighiol-Dunavățu a trei sisteme depoziționale în care a avut loc sedimentarea carbonatică în timpul Triasicului mediu: partea superioară a taluzului și marginea platformei cu complexe recifale și domeniile lagunar și al câmpiilor tidale corespunzătoare platformei interne.

Pe baza asociațiilor de microfacies, corelate cu observațiile din teren, în cadrul domeniului de taluz a fost semnalată prezența unor construcții carbonatice recifale. Complexele recifale sunt de două tipuri: recifi cu dimensiuni mici dominați de încrustații biotice și stromatolite amalgamate fin granulare; recifi cu dimensiuni mai mari în care rolul organismelor bioconstructoare a fost preluat de micro-organismele încrustante *Tubiphytes*, cimentate cu cantități mari de ciment fibros.

Absența organismelor bioconstructoare clasice, cum ar fi corali, spongierii, algele calcaroase, se datorează recuperării lente a faunei după extincția în masă de la sfârșitul Permianului. Abia din Ladinian aceste organisme au reînceput să populeze recifi. Structurile stromatactis care au fost recunoscute în teren, dar care au rămas spre a fi studiate detaliat în proiecte viitoare, sunt considerate indicii pentru construcțiile carbonatice domale. Asemănarea platformei carbonatice din Unitatea Tulcea cu platformele mult mai cunoscute din Dolomiți, demonstrată prin analiza microfacială face și mai interesant de urmărit probarea existenței construcțiilor domale care în Alpii Calcaroși de Sud au contribuit la reluarea sedimentării după extincția de la sfârșitul Permianului.

O etapă importantă a lucrării a fost conturarea principalelor procese diagenetice și a succesiunii lor în timp. Structurilor de tip evinospongia, ce cuprind până la 75% din volumul rocii primare, le-a fost acordată o atenție specială deoarece, prin volumul mare de ciment conținut, au avut un rol important în stabilizarea și definirea taluzului platformei carbonatice. Efectele diagenezei timpurii recunoscute în urma cercetării sunt: micritizarea, dizolvarea selectivă, cimentarea (ciment marin fibros, fibros radiaxial, druzic, sintaxial de supracreștere pe plăcuțe de echinoderme) și dolomitizarea. În timpul diagenezei timpurii au fost precipitate benzi de ciment aragonitic sau calcitic magnezian ce au umplut porii primari și creați prin dizolvare. Dolomitul format în această etapă este nonluminiscent, corespunzând modelului mareic. Procesele specifice anadiagenezei sunt compactările mecanice, dizolvările sub presiune cu formarea stilolitelor, inversiunea aragonitului din cochiliile bioclastelor cu calcite slab magnezian, substituția metasomatică a siliciului din testul radiolarilor cu calcite slab magnezian, precipitarea cimentului sparitic larg cristalizat, supracreșterea dolomitului luminiscent peste dolomitul eogenetic non-luminiscent și fisurarea. În timpul diagenezei de îngropare timpurii a avut loc stabilizarea carbonaților instabili din compoziția cimentului radiaxial precipitat în structurile evinospongia, prin înlocuirea cu calcite slab magnezian.

Diageneza de îngropare adâncă și integrarea platformei într-o centură orogenică a condus la deformări ductile care s-a materializat în apariția mai multor generații de microfracturi umplute cu calcit sparitic luminescent. Epidiageneza include procese de dedolomitizare cauzate de expunerea subaeriană a depozitelor.

În timp, depozitele din estul Unității Tulcea au evoluat pe parcursul Anisianului Mediu, din Bithynian, zona Mahmudia, până în Pelsonian, zonele Murighiol-Dunavățu.

Din punct de vedere spațial, evoluția lor s-a desfășurat de la flancul (taluzul) platformei și marginea ei, până la zona internă cu domeniile lagunare și ale câmpiilor tidale.

Prin existența unor construcții carbonatice în care rolul organismelor bioconstructoare a fost preluat de microbi, micro-organisme încrustante și ciment, zona Mahmudia se aseamănă cu Great Bank of Ghizou din China și Carbonate Bank of Camorelli din Alpii Sudici, contribuind la reconstituirea tabloului evoluției vieții după extincția permo-triasică. Studiile viitoare axate pe structurile stromatactis din partea vestică a carierei Mahmudia vor fi de mare impact pentru probarea existenței unor construcții domale care să completeze informațiile despre recuperarea „fabricii de carbonați” după extincția în masă de la sfârșitul Permianului.

Astfel, ca imagine generală, de ansamblu, în timpul Triasicului mediu, o platformă carbonatică s-a dezvoltat la extremitatea nordică a domeniului Tethys, în partea estică a Orogenului Dobrogei de Nord. În acest sens stau mărturie faciesurile descrise ce corespund Anisianului mediu cu fauna bazinului, taluzului și a sistemelor depoziționale ale platformei și procesele diagenetice care au marcat evoluția lor în timp geologic. O atenție deosebită a fost acordată foraminiferelor și micro-organismelor încrustante. Volumul mare de ciment, sub forma de benzi neregulate sau structuri evinospongia și stromatactis, împreună cu cantități mici de automicrit au indicat existența unui taluz abrupt, definit și stabilizat de componentele menționate anterior. Flancurile abrupte sunt o caracteristică a platformelor triasice din Dolomiți, în general.

Asociațiile recifale care s-au dezvoltat pe taluz și marginea platformei sunt caracterizate de abundența crustelor biotice, a micro-organismelor încrustante și a volumului mare de ciment sinsedimentar. Organisme bioconstructoare clasice în recifi precum spongierii și coralii nu au existat în timpul Anisianului mediu, fapt corelat cu situația platformelor din Alpii Calcaroși de Nord și de Sud.

Platforma internă este caracterizată de variații ciclice ale domeniilor lagunare și ale domeniilor câmpiilor tidale.

Este important să se menționeze faptul că ideea de bază de la care a pornit această lucrare a fost originea metanosintetică a calcarelor care afloră în cariera de la Mahmudia. Chiar dacă a fost infirmat ulterior de evidentele concrete ale metodelor specifice aplicate, acest demers științific a atras o bună parte din timpul și resursele dedicate acestui studiu – reprezentând totodată imboldul inițial și mai ales o reală provocare de a dovedi sau infirma o ipoteză foarte îndrăzneată.

Demonstrarea acestei ipoteze ar fi avut un impact științific semnificativ având în vedere faptul că la nivelul Triasicului nu au fost identificate până în prezent construcții carbonatice care să fie generate de emanațiile de metan, nicaieri în lume. Odată cu avansarea cercetărilor, subiectul inițial a suferit schimbări în concordanță cu rezultatele obținute. Astfel, valorile pozitive ale izotopilor de C au negat ireversibil ipoteza metanogenetică.

Următorul stadiu, existența unor construcții domale, spre care am fost ghidată de prezenta structurilor stromatactis, nu a putut fi demonstrat complet până la acest nivel al cercetărilor.

Rezultatele expuse în această lucrare reflectă ideea de a fi pornit de la niște depozite necunoscute și nestudiate în detaliu în literatură, în special în contextul conceptelor sedimentologiei carbonatice moderne. Deși realizările prezentate în acest studiu, s-au departat treptat de la ipotezele inițiale, parțial prin infirmarea pe criterii științifice bine elaborate se poate considera ca aceasta lucrare a încercat să aducă o contribuție importantă în definirea și conturarea imaginii platformei carbonatice triasice din Unitatea Tulcea.

Domeniul triasic reprezintă o componentă foarte interesantă în contextul evoluției geologice a Pamantului care oferă în continuare destul de multe dileme de elucidat, Dobrogea de Nord, în special, putând fi considerată în continuare un punct de lansare al multor provocări științifice viitoare.

În încheiere menționez faptul că cercetările au fost desfășurate în cadrul proiectului: „Suport financiar pentru studii doctorale privind complexitatea din natură, mediu și societatea umană” – Contract nr. POSDRU/6/1.5/S/24.

## Bibliografie selectivă

- Bathurst, R.G.C.** (1982). The replacement of aragonite by calcite in the molluscan shell wall. În Imbrie, J. și Newell, N.D. *Approaches to Paleocology*: New York, John Wiley and sons, 357-375.
- Blendinger, W.** (1994). The carbonate factory of Middle Triassic buildup in the Dolomites, Italy: a quantitative analysis. *Sedimentology*. 41: 1147-1159.
- Bourque, P.A., Boulvain, F.** (1993). A model for the origin and petrogenesis of the red stromatactis limestone of Paleozoic carbonate mounds. *J.Sedim.Petrol.*, 63, 607-619.
- Bourque P.A., Raymond L.** (1994). "Diagenetic alteration of early marine cements of Upper Silurian stromatactis ". *Sedimentology* 41: 255-269.
- Collin, P.-Y., Kershaw, S., Crasquin-Soleau, S., Feng, Q.** (2009). Facies changes and diagenetic processes across the Permian–Triassic boundary event horizon, Great Bank of Guizhou, South China: a controversy of erosion and dissolution. *Sedimentology*. 56: 677-693.
- Flügel, E., Senowbari-Daryan, B.** (2002). Triassic Reefs of the Tethys. În **Stanley, G.D.** The history and sedimentology of ancient reef systems. *Topics in Geobiology*. 17: 217-249.
- Flügel, E.** (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks*. 2<sup>nd</sup> Ed., Springer Verlag, Berlin. 984 p.
- Grădinaru, E.** (2000). *Introduction to the Triassic geology of North Dobrogea. Field Trip Guide, Workshop of the Lower-Middle Triassic (Olenekian-Anisian) Boundary*, 7-10 June 2000, Tulcea, Romania, 5-18.
- Harris, M.T.** (1993). Reef fabrics, biotic crusts and syndepositional cements of the Latemar reef margin (Middle Triassic), northern Italy. *Sedimentology*. 40: 383-401.
- Ionesi, L.** (1994). *Geologia unităților de platformă. Orogenul Nord Dobrogean. Editura Universității "Al. I. Cuza", Iași.*
- Keim, L., Schlager, W.** (1999). Automicrite Facies on Steep Slopes (Triassic, Dolomites, Italy). *Facies*. 41: 15-26.
- Lees, A.** (1964). The structure and origin of the Waulsortian (Lower Carboniferous) 'reefs' of west central Eire. *Philos. Trans. R. Soc., London B* 247: 483-531.
- Mamet, B., Pr at, A., De Ridder, Ch.** (1997). Bacterial origin of the red pigmentation in the Devonian Slivenec Limestone, Czech Republic. *Facies* 36, 173– 188.

- Marcoux, J., Baud, A., Ricou, L.E., Bellion, Y., Besse, J., Gaetani, M., Gallet, Y., Guirard, R., Krystyn, L., Moreau, C., Theveniaut, H.** (1993). Late Anisian palaeoenvironments (237–234). In: Dercourt, J., Ricou, L.E., Vrielynck, B. (Eds.), *Atlas Tethys, Palaeoenvironmental Maps*. Maps. BEICIP-FRANLAB, Rueil-Malmaison.
- Mirăuță, O.** (1966). Contribuții la cunoașterea formațiunilor paleozoice din partea sudică a Munților Măcin. *Studii și Cercetări de Geologie, Geografie și Geofizică. Seria Geol.* 11 (2), 497–512.
- Mutihac, V.** (1990). *Structura geologică a teritoriului României*. Editura Tehnică, București.
- Mutihac, V., Mutihac, G.** (2010). *Geologia României. În contextul geosuctural central-est-european*. Editura Didactică și Pedagogică. București. 648 p.
- Murgoci, G.M.** (1915). Etudes géologiques dans la Dobrogea du Nord. La tectonique de l'aire cimmerienne. - *An. Inst. Geol. Rom.*, 6/2, 443-568, 50 Fig., 3 hărți, București.
- Panaiotu, C.E.** (2000). *Platforma carbonatică din zona masivelor Bucegi și Piatra Craiului*. Teză de doctorat. Universitatea București. 200 p.
- Payne, J.L., Lehrmann, D., Christensen, S., Wei, J., Knoll, A.H.** (2006). Environmental and biological controls on the initiation and growth of a Middle Triassic (Anisian) Reef Complex on the Great Bank of Guizhou, Guizhou Province, China. *Palaios*. 21: 325-343.
- Peterhänsel, A., Egenhoff, S.O.** (2005). Sea level changes versus hydrothermal diagenesis: Origin of Triassic carbonate platform cycles in the Dolomites, Italy: Discussion. *Sedimentary Geology*. 178: 145-149.
- Preto, N., Spötl, C., Guaiumi, C.** (2009). Evaluation of bulk carbonate  $\delta^{13}\text{C}$  data from Triassic hemipelagites and the initial composition of carbonate mud. *Sedimentology*. 56: 1329-1345.
- Săndulescu, M.** (1984). *Geotectonica României*. Editura Tehnică, București.
- Seghedi, A.** (1999). *Petrologic study of magmatic and metamorphic rocks from Megina-Mircea Voda area, Dobrogea, Romania*. Ph.D. Thesis. University of Bucharest: 177 p.
- Stanley, S.M.** (2006). Influence of sea water chemistry on biomineralisation throughout Phanerozoic time: Paleontological and experimental evidence. *Palaeogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.* 232: 214-236.
- Tucker, M.E., Marshall, J.** (2004). Diagenesis and Geochemistry of Upper Muschelkalk (Triassic) Buildups and Associated Facies in Catalonia (NE Spain): a paper dedicated to Francesc Calvet. *Geologica Acta*. 2 (4): 257-269.
- Van Der Kooij, B., Immenhauser, A., Steuber, T., Bahamonde Rionda, J.R., Mérimo Tomé, O.** (2010). Controlling factors of volumetrically important marine carbonate cementation in deep slope settings. *Sedimentology*. 57: 1491-1525.
- Webb, G.** (1996). Was Phanerozoic reef history controlled by the distribution of non-enzymatically secreted reef carbonates (microbial carbonate and biologically induced cement)? *Sedimentology*. 43: 947-971.