

Sedimentologie ambientală

Reconstituirea mediilor de sedimentare prin analiza secvențială

ANALIZA SECVENȚIALĂ – principii și metode

Modul de succedare a termenilor litologici în cadrul unei asociații litologice și observarea atentă a ei a impus dezvoltarea analizei secvențiale ca o metodă eficientă de investigare a depozitelor sedimentare. Asociațiile naturale de roci sunt constituite din *secvențe litologice*, adică din termeni petrografici care se suprapun în continuitate de sedimentare. Ele cuprind simultan atât micro-secvențe sesizabile prin alternanța unor lamine de constituție diferită (de ex. varvele), cât și mega- sau magnasecvențe — succesiuni de strate cu grosimi mari sesizabile la scara unui afloriment sau a unui areal larg din cadrul zonelor cu ocurențe sedimentare.

Toate acestea poartă amprenta mediilor de sedimentare în care s-au acumulat și, în consecință, parametrii secvențelor pot fi utilizați în reconstituirea evenimentelor geologice care au contribuit la inițierea și evoluția acestor medii (sisteme depozitionale).

TERMINOLOGIE

Sistemul depozitional - un cadru structurat de produse ("efecte" cu atributele lor) și/sau procese aflate în interacțiune, care funcționează individual și în comun pentru a avea noi generații de produse (forme depozitionale și efecte erozionale).

Holon (H) - un sistem care se comportă simultan ca sistem și subsistem; el include aspecte structurale și funcționale complementare. Un holon este un subîntreg stabil într-o ierarhie - de exemplu, sistemul solar (H_2) este un subîntreg al galaxiei (H_1); aceasta la rândul ei este un subîntreg al universului (H_0).

Sistemul natural are următoarele trăsături esențiale:

- este un întreg structurat (funcționează ca o entitate);
- are identitate (își menține entitatea în condiții de schimbare a ambianței mediului);
- se autoorganizează (se creează prin răspunsul la schimbarea mediului, are capacitatea de a-și dezvolta structuri și funcții noi);
- are o structură ierarhică (sistemele conțin subsisteme care pot fi examinate de sine statator).

Facies - trăsătura texturală, structurală și compozițională a unei entități petrografice (litologice; corp de sedimente) care s-a format într-o anumită ambianță depozitională.

Facies descriptiv - o entitate petrografică (un volum de rocă) care poate fi caracterizat printr-un set de proprietăți (parametrii texturali, structurali, compoziționali, chimici, biotici) care-l deosebesc de alte entități, de exemplu facies arenitic, facies imbricat, facies carbonatic etc. Noțiunea de litofacies - care exprimă aceste trăsături - rămâne echivocă; de aceea, faciesul descriptiv poate fi exprimat mai riguros, mai clar și mai direct, prin următoarele subcategorii:

Granofacies-ul definește clasa de dimensiuni care grupează cele mai multe din particulele (granulele) unei entități petrografice; aplicat rocilor clastice, el poate fi: ruditic, arenitic, siltic, lutitic sau aplicat rocilor carbonatice chimice: micritic, sparitic etc.

Morfofacies-ul exprimă clasele și parametrii morfometrici ce caracterizează cel mai mare număr de claste și/sau cristale dintr-o entitate petrografică (ex. morfofacies oblat, rotunjit, euhedral).

Structofacies-ul definește relațiile tridimensionale dintre clastele sau cristalele unei entități petrografice, exprimate prin structuri depozitionale (ex. structofacies granoclasat, imbricat).

Clastofacies-ul definește natura mineralogică a clastelor ce domină o entitate petrografică în acord cu normele în vigoare de separare a categoriilor petrografice prin analiză modală (ex. clastofacies cuarțos, litic).

Petrofacies-ul exprimă tipul petrografic al acelei unități depozitionale (termen litologic), separat pe criteriile compoziționale, cantitative (ex. petrofacies arcozian, calcaros).

Faciesul interpretativ se constituie într-un set de generalizări care grupează criteriile de reconstituire a proceselor și mediilor de depunere ale acelei entități petrografice definite prin faciesurile descriptive menționate (ex. facies de canel, turbiditic, evaporitic).

Asociații de facies - un grup de faciesuri care apar împreună, generate de aceleași cauze și într-un același sistem (sub-) depozitional.

ANALIZA de FACIES

Analiza de facies cuprinde descrierea și sistematica faciesurilor în succesiune verticală (deci a "secvențelor"), sub controlul extinderii areale; ea are drept scop interpretarea proceselor și mediilor de depunere în termenii setului de variabile ce definesc sistemul (respectiv, modelul de facies). Acest set cuprinde :

PROCESE (mecanice, chimice, biotice)
AGENTUL (apa, aerul, gheata)
BAZINUL (poziția geografică, topografică, batimetria)
CONTEXTUL GEOTECTONIC (fundamentul, mobilitatea)
ARIA SURSA

Setul de informații (date primare/faciesuri descriptive) indispensabil oricărei analize secvențiale cuprinde:

- localizare (geologică, geografică);
- vârstă;
- grosime;
- limite (inferoară-bază, superioară-top);
- succesiunea litoanelor;
- granofacies, morfofacies, structofacies, petrofacies, biofacies;
- geometria secvenței: ThUS/TkUS - CUS/FUS;
- ritmicitatea; ciclicitatea;
- faciesuri diagnostic.

Schema desfășurării analizei secvențiale în vederea elaborării modelului de facies include următoarele trepte:

- 1 - Culegerea datelor de observație (aflorimente, carote).
- 2 - Intocmirea LOG-ului (coloana litologică).
- 3 - Definirea și precizarea unităților de facies (faciesuri descriptive); coduri de facies.
- 4 - Descifrarea contactelor (discontinuităților) dintre faciesuri și stabilirea, prin examenul relațiilor de facies verticale.
- 5 - Identificarea și precizarea "faciesului diagnostic" (cheie) și urmărirea poziției sale în cadrul secvenței; relația cu secvențele învecinate.
- 6 - Stabilirea granofaciesurilor și structofaciesurilor imediat învecinate faciesului "cheie" și schitarea faciesurilor interpretative.
- 7 - Analiza relațiilor verticale dintre faciesuri
- 8 - Ierarhizarea și revederea criteriilor, integrarea faciesurilor interpretative în termenii arhitecturilor specifice, ambiantelor de sedimentare și, în final a sistemelor ("mediilor sau domeniilor" de sedimentare).

MODELUL DE FACIES

Definirea și conturarea sistemului depozitional pregătește elaborarea modelului de facies care reprezintă "un sumar general al unui mediu de sedimentare specific, scris în termeni care-l fac utilizabil" (Walter, 1979).

El este: - o NORMA pentru acel mediu;
- un CADRU pentru observații viitoare;
- o BAZA pentru interpretări hidrodinamice;
- un INSTRUMENT de predicție.

Poate fi reprezentat:

- descriptiv - printr-o succesiune idealizată de faciesuri;
- geometric - prin harti, secțiuni și bloc diagrame;
- matematic - prin analiză factorială, analiză de tendință
- statistic - prin simulare pe computer.

Astfel, MODELUL de FACIES constituie expresia reconstituirii relațiilor intercauzale a fenomenelor naturale și a integrării proceselor (cauzelor) - pe baza cunoașterii riguroase a produselor (efectelor - respectiv, faciesurilor sedimentare).

Nivelul de analiză în elaborarea modelului de facies are în vedere scara la care se poate și este necesar de a fi emis. Astfel, se pot separa diferite ordine de

marime:

- I. Complex de sisteme limitrofe (ex. fluvio-deltaic).
- II. Sistemul (ex. fluvial).
- III. Subsistemul (ex. albia majora sau câmpia aluvială).
- IV. Asociația de faciesuri (ex. secvența de *point bar* în canal meandrat).
- V. Faciesul individual (ex. granofaciesul ruditic din baza canalului).

Rezultă că analiza de facies bazată pe informația obținută într-o unitate din scara V nu va fi pertinentă pentru realizarea unui model în scara I.

CONSTRUIREA MODELULUI DE FACIES urmează deducerii sistemului (sau subsistemului) depozitional, și integrează alături de elementele veridice, obiective, și elemente intuitive dictate de experiență, informația și inteligența cercetătorului.

Pentru exemplificarea analizei secvențiale și a pașilor necesari elaborării unui model de facies au fost alese două sisteme depozitionale controlate de factori și procese net diferite: din domeniul continental, sistemul fluviatil, iar din domeniul marin (oceanic) sistemul de ape adânci (*deep sea*), respectiv, cel turbiditic.

SISTEMUL FLUVIATIL

Sistem controlat și definit de distribuția rețelei hidrografice în ariile continentale. Un organism fluvial, având o scurgere continuă a apei, se manifestă în cursul mijlociu (zona submontană) și în cel inferior (zona de câmpie) ca un agent de transport și ca mediu de acumulare.

Formele acumulative sunt foarte variabile, iar criteriile de apreciere și delimitare a "mediilor de sedimentare" (subsistemelor) sunt foarte diferite:

I. După morfologia văii se disting:

a. forme de eroziune:

- * canalul de etiaj (talvegul) - cu scurgere permanentă și nedelimitat lateral;
- * albia minoră (canalul = *channel*) - corespunde profilului de scurgere permanentă a râului delimitat de mături;
- * albia majoră (lunca = *flood plain, overbank*) - corespunde profilului ocupat de râu la viituri (inundații)

b. forme de acumulare:

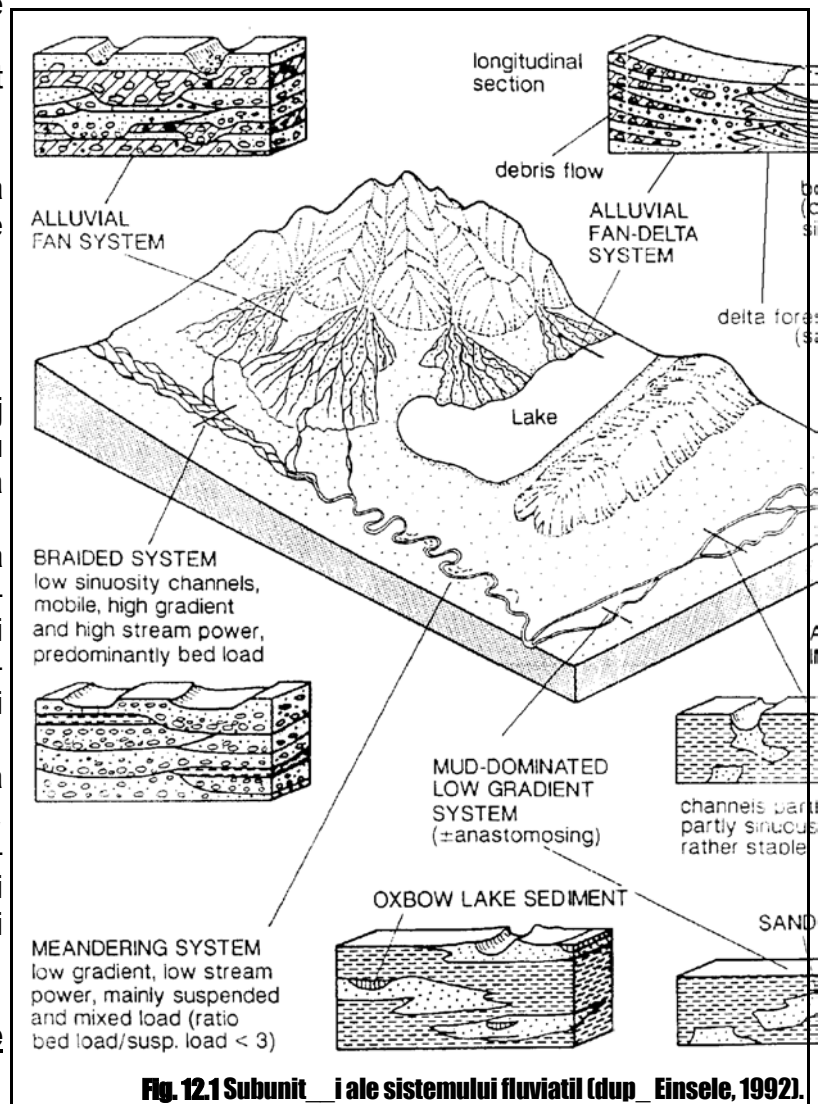
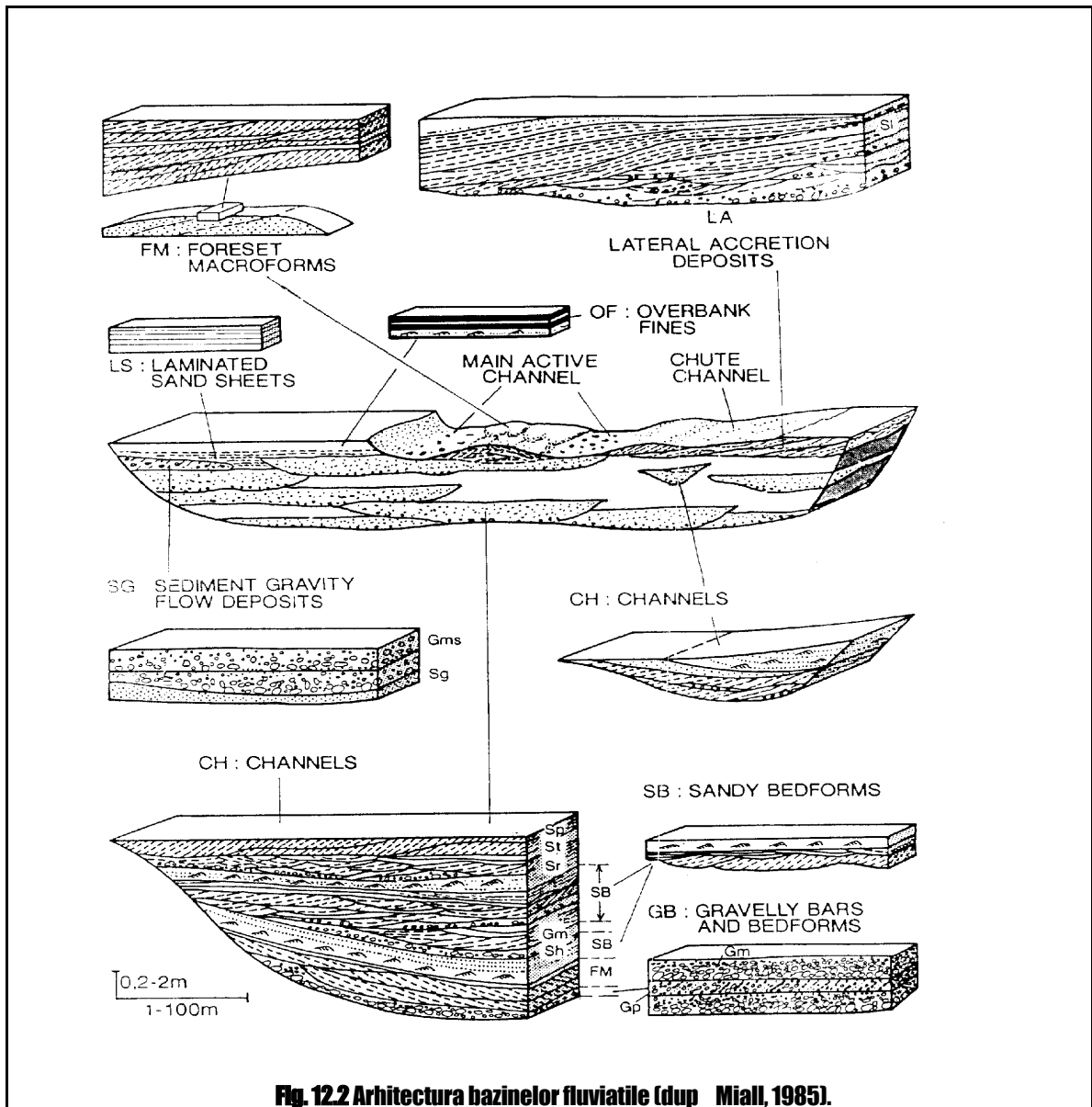


Fig. 12.1 Subunități ale sistemului fluvial (după Einsele, 1992).

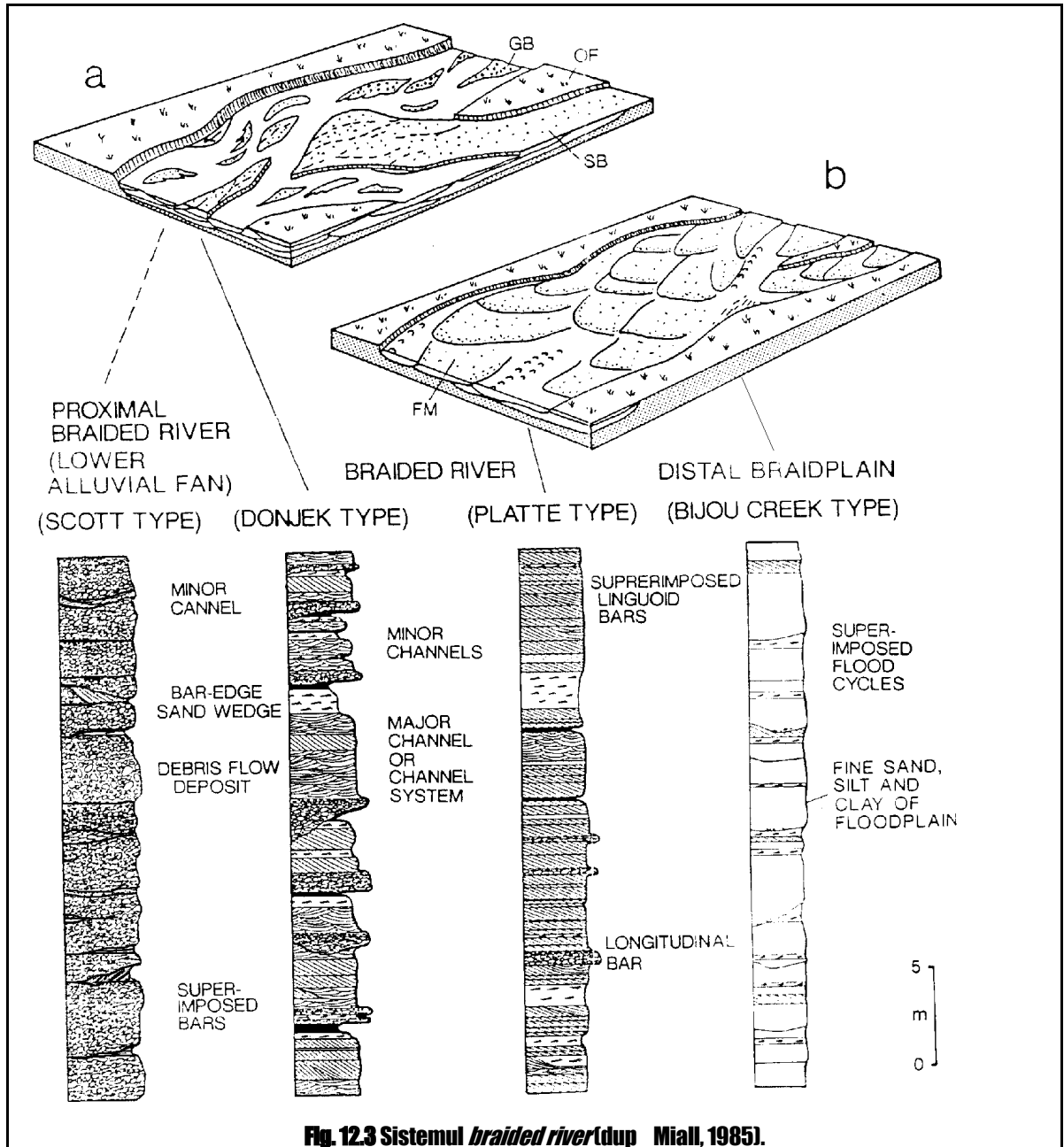
- * în albia minoră: aluviuni bazale (*channel floor, lag deposit*), bare axiale, transversale (*bars*), renii sau bancuri arcuite (*point bar*), bare de inundație (*chute bar*), canale colmatate și parasite (*fill channel*);
- * în albia majoră: câmpii aluviale (pânze aluviale = *flood plain*), grinduri de viitură (*natural levee*), conuri de crevasă (*crevasse splay*), meandre parasite (*oxbow*).
- * conuri de dejectie (*alluvial fan*).



II. După gradul de sinuozitate al traiectului râului
 în special în cursul inferior, se disting următoarele subsisteme:

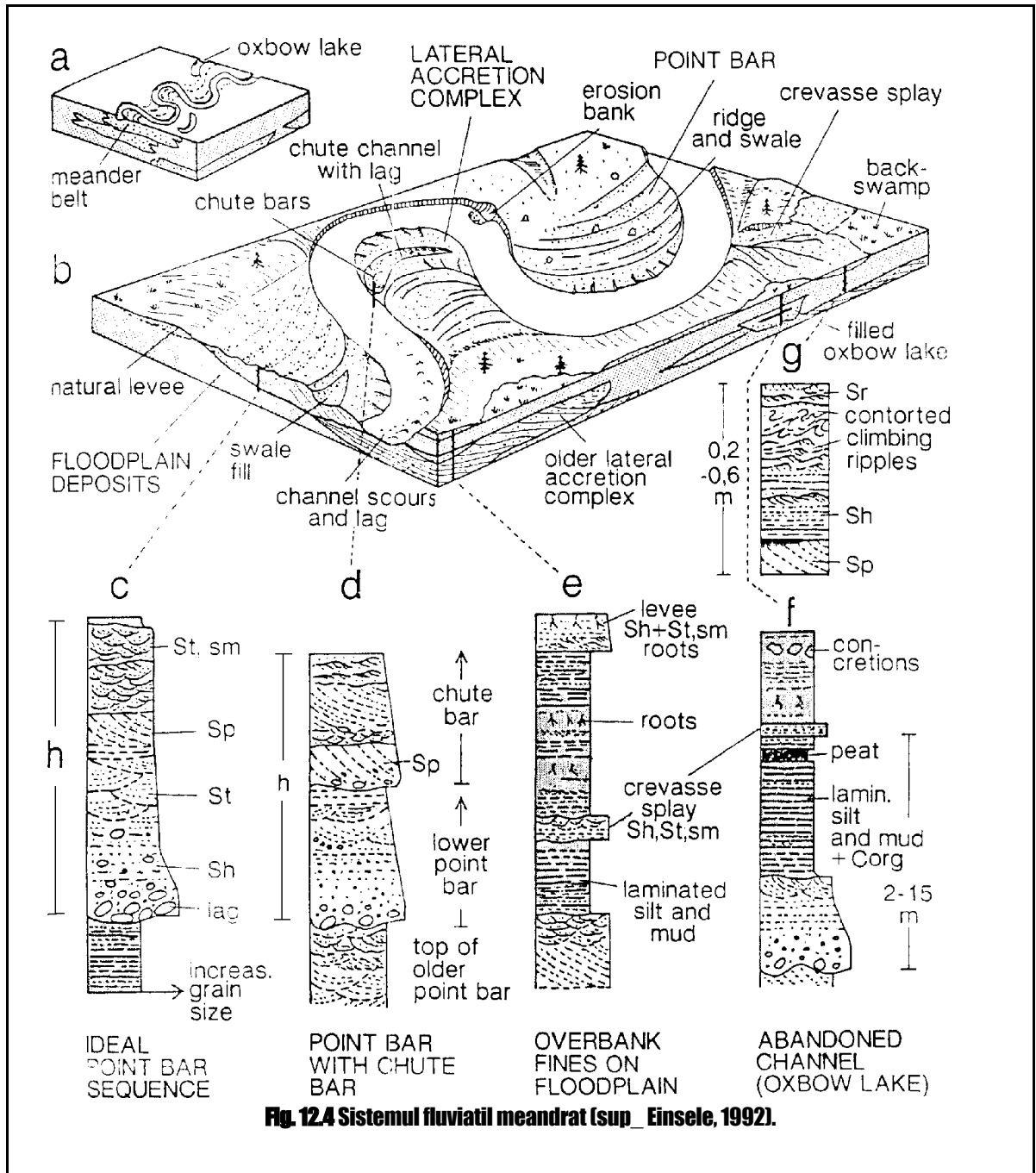
**** Râuri împletite (*Braided Rivers*)**

Caracteristici: debit tractat (*load bed*); viteza mare; sinuozitate scăzută = 1,1-1,2; canale dominante nisipoase. Exemplu: Brahmaputra: 20 km lățime; 40 m grosime; raport lățime/adâncime: 50:1 - 500:1



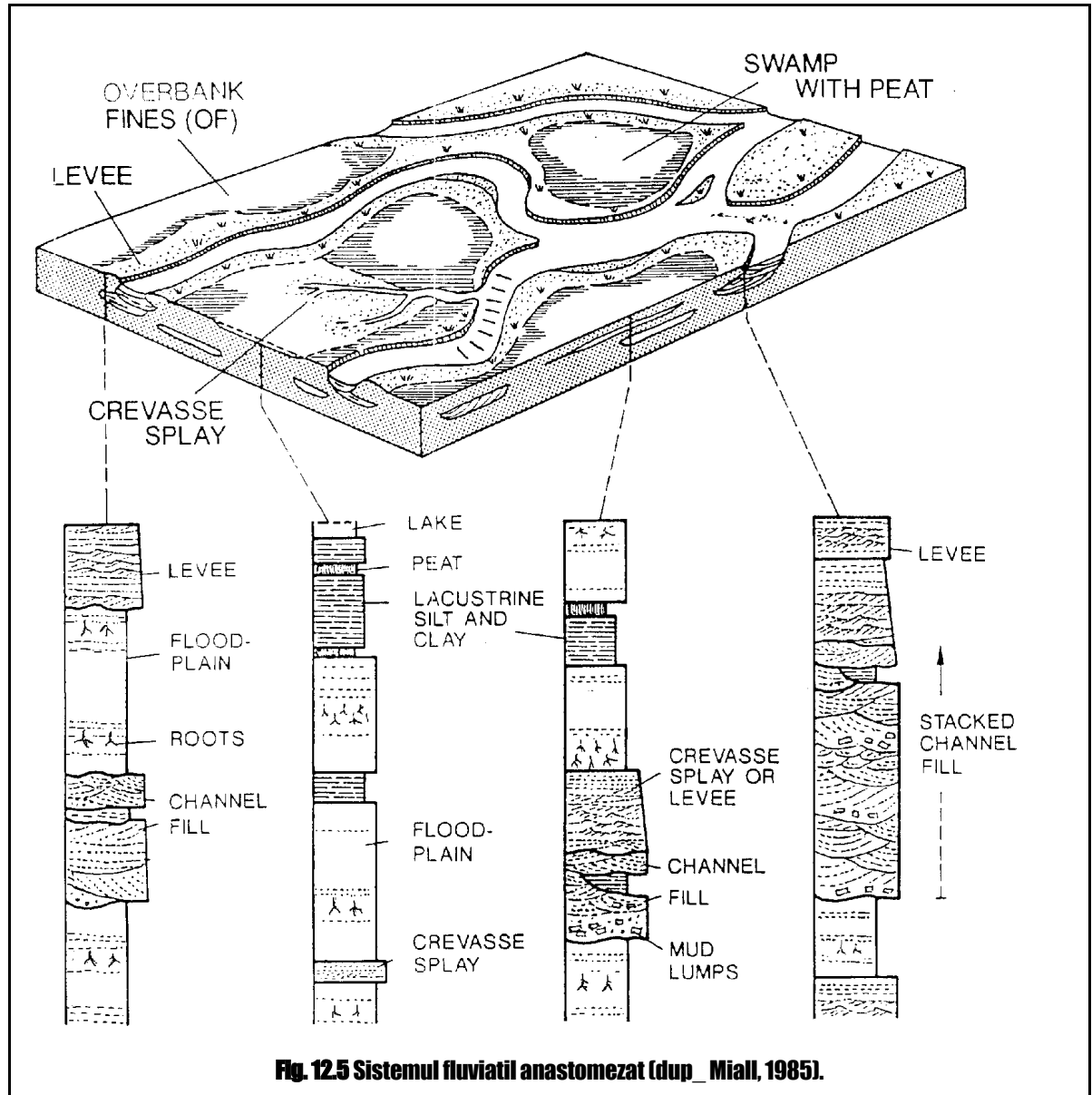
**** Râuri meandrate (Meandering Rivers)**

Caracteristici: transport în suspensie; viteza medie; sinuozitate > 1,5; dominant măloase; Exemplu: Maiandros, Mississippi



** Râuri anastomozate (*Anastomosed Rivers*)

Caracteristici: apar în cursurile inferioare afectate de creșterea nivelului de baza; dominant măloase; energie redusă. Exemplu: în centrul Australiei și vestul Canadei.



** Cursuri drepte (*Straight river*) (ex.Rin);

III. După ponderea și poziția debitului solid (sarcinei):

- * cu debit tractat (sarcina de fund) (*bed load*);
- * cu debit în suspensie (*suspended load*);
- * cu debit mixt (*mixed load*);

Factorii sedimentarii

Apariția formelor de acumulare este controlată de:

- natura rocilor din aria sursă și gradul lor de consolidare;
- volumul de apă și dinamica acesteia în profilul râului (viteza, regim de curgere, turbulentă, competență etc.);
- poziția organismului fluvial față de regimul climatic (ploios sau arid);
- ponderea mecanismelor de transport (tracțiune, suspensie, curgere în masă);
- adâncimea de sedimentare redusă (1-5 m, de regulă, rar mai mult).

Procese și unități depozitionale

Procesele de sedimentare sunt exclusiv mecanice și depind de tipul de transport al clastelor:

- individual în cazul debitului tractat și în suspensie, în zona albiei minore, majore și respectiv în zone torențiale;
- parțial în masă, în sectorul conurilor aluviale.

Acumularea sedimentelor are loc prin agardare, în zona centrală a canalului de scurgere (și în câmpia aluvială) și prin acretie laterală, în zonele marginale ale canalelor meandrate (în renii și grinduri).

Taboul 1 Ierarhia unităților depozitionale în sistemul fluvial:

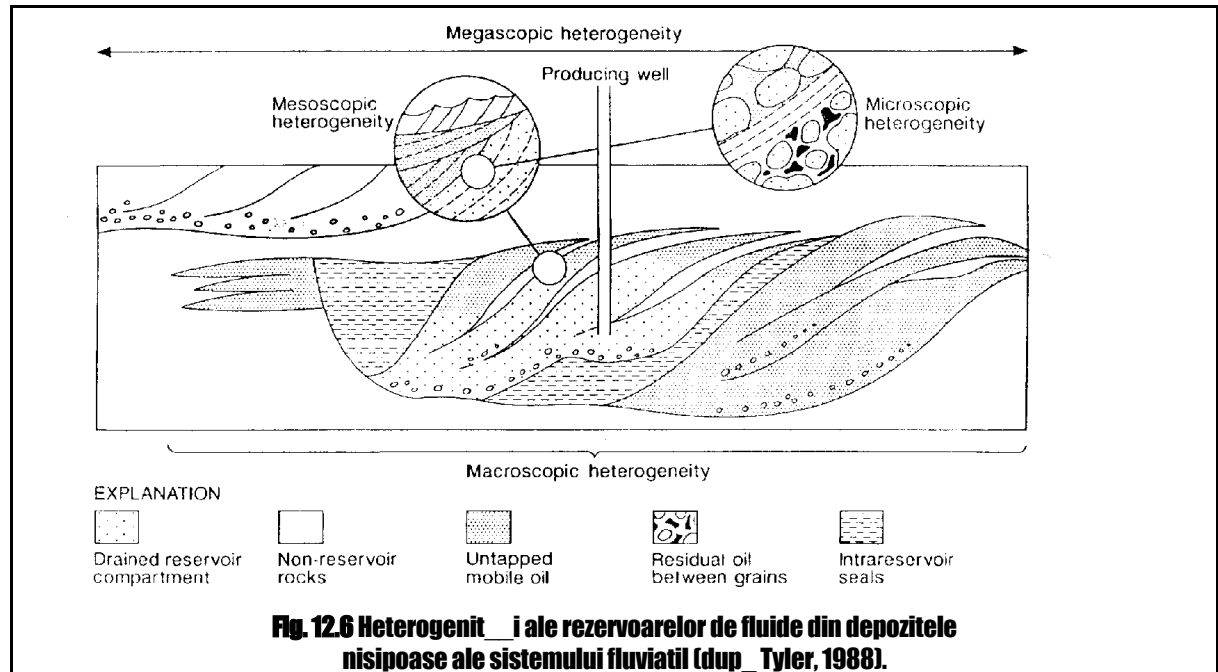
Procese:	Durata R.S.		Unități depozitionale	Scala și limite
1 ciclu "burst-sweep"	10^{-6}		lamina	ord.0
2 migrarea formelor de fund	10^{-5-4}	10^5	microforme, ripple	ord.1
3 " "	10^{-3}	10^5	dune diurne	ord.1
4 " "	10^{-2-1}	10^4	mesoforme, dune	ord.2
5 ev. sezoniere, inundații	10^{0-1}	10^2	macroforme	ord.3
6 migrația barelor	10^{2-3}	10^2	point bar, levee, splay	ord.4
7 pr. geomorfice de termen lung 10^{3-4}	10^{0-1}		canale, lob deltaic	ord.5
8 ciclu Milancovic ord. 5 10^{4-5}	10^{-1}		secvența de canal, flat	ord.6
9 ciclu Milancovic ord.4 10^{5-6}	10^{5-6}	10^{-2}	S.D. all.	ord.7
10 pr. tectonice-eustatice ord. 3 10^{6-7}	10^{-1}		complex, bazinal	ord.8

Precizări: macroforme = componente (la scara mare) ale morfologiei fluviale; reflectă efecte cumulate ale proceselor erozionale și depozitionale, desfășurate în zeci de mii de ani.

Ex.: canale și bare, point bar, insule, sand flat

Scări de heterogenitate a colectorilor potențiali:

- * magascopica: la scara bazinală, unitățile sedimentare majore (grupurile 8-10);
- * macroscopica: complexe de canale și bare (grupurile 5-7);
- * mesoscopica: nivelul unităților stratificate și a str. sedimentare (grupurile 1-4);
- * microscopica: porozitatea intergranulară.



Faciesuri depozitionale:

Produsele sedimentarii fluviale - aluviunile - se caracterizeaza printr-o mare varietate granulometrica, morfometrica si structurala:

Faciesuri depozitionale în ALBIA MINORA:

Aluviuni bazale (Channel lag deposits): pietrisuri si bolovanisuri în depresiuni ale canalului sau pe fundul sau; regim superior de curgere.

Bancuri arcuite (Point-bar deposits): repauzeaza peste aluviunile bazale; grosimea lor este proportionala cu adâncimea canalului. Granofaciesul variabil: rudite, arenite si silt-uri, slab sortate; variatiile de debit determina interstratificatia sedimentelor fine cu cele grosiere; secvente *fining-up*; au stratificatie oblica la scara mare cu înclinari reduse, spre aval. Este o unitate de acretie laterala.

Bare longitudinale si transversale (Channel bar deposits): sunt macroforme de acretie generate de curgeri rapide (dupa precipitatii abundente). Granofacies ruditic fin si arenitic grosier cu structuri oblic laminare sau stratificate, tabulare sau concoide. Barele situate în mijlocul canalului sunt acretionari în capatul din amonte al barei (din aval sau lateral); ating înaltimi de 1-15 m si lungimi de 10-1000 m. Reprezinta un "*downstream-accretion deposits*".

Canal colmatat (channel fill deposits): canal abandonat, uneori curbat, dominat de o energie mica si format din sedimente fine: silt-uri, mâluri laminate sau cu structuri tip *cross-lamination*.

"Chute canals" - acumulari alungite sau lobate, la capatul unor microcanale ce traverseaza o bara sau un *point bar*. Apar ca efect al cresterii energiei curentului, la viituri.

Faciesuri depozitionale în ALBIA MAJORA (*Overbank*):

Grinduri (*Levee deposits*): forme ale albiei majore cu secțiune triunghiulară și înclinare mică spre câmpia aluvială; materialul grosier trece lateral în nisip fin și silt; interstratificatii nisip grosier \ nisip fin-silt; laminatii și stratificatii oblice la scară mică; în zonele uscate (aride) poligoane de contractie și oxidări ale substanțelor organice.

Microdelte (*Crevasse-splay deposits*): acumulări lobate sau linguoide uneori sinuoase și înguste, de material grosier, moderat sau bine sortat, acoperit de vegetație; pe suprafața lobilor microondulații; grosimi mai mici de 30 cm.

Câmpii aluviale - Lunci (*Flood plain deposits*): acumulări tabulare sau elongate, de material fin (silt, măr) cu laminatii paralele (uneori ritmice); microsecvențe *fining-up*, deseori poligoane de contractie, fitoclaste, paleosoluri și resturi de radacini în top.

Lacuri - bazine curbate (*Oxbow lake*): = meandre parasite, colmatate cu sedimente fine.

CONUL ALUVIAL (*Alluvial Fan*) = Con de dejectie

Corp sedimentar subaerian, de formă conică, acumulat din cursuri intermitente, torențiale, la baza pantelor; apexul conului este situat proximal în punctul în care curentul paraseste canalul situat pe versant; baza conului este situată distal, pe patul plan pe care a avut loc acumularea (fig. 12.13).

Factorii sedimentarii.

- calitatea și poziția ariei surse; zonele alterabile și friabile (argile) generează conuri mai largi decât cele masive, cu roci dure (gresii);
- energia de relief, înclinarea pantelor și suprafața bazinului de drenaj; suprafața conului este condiționată de cea a bazinului; panta conului descrește cu mărirea suprafeței acestuia;
- clima (regimul precipitațiilor); în zonele umede conurile sunt mai plate decât în cele aride;
- lipsa vegetației;
- spațiul accesibil pentru depozitare determină suprafața conului; în spații largi conurile au tendința de dezvoltare pe laterala;
- tectonica; conurile din zone subsidente sunt mai groase și de două ori mai largi decât conurile acumulate în arii stabile;

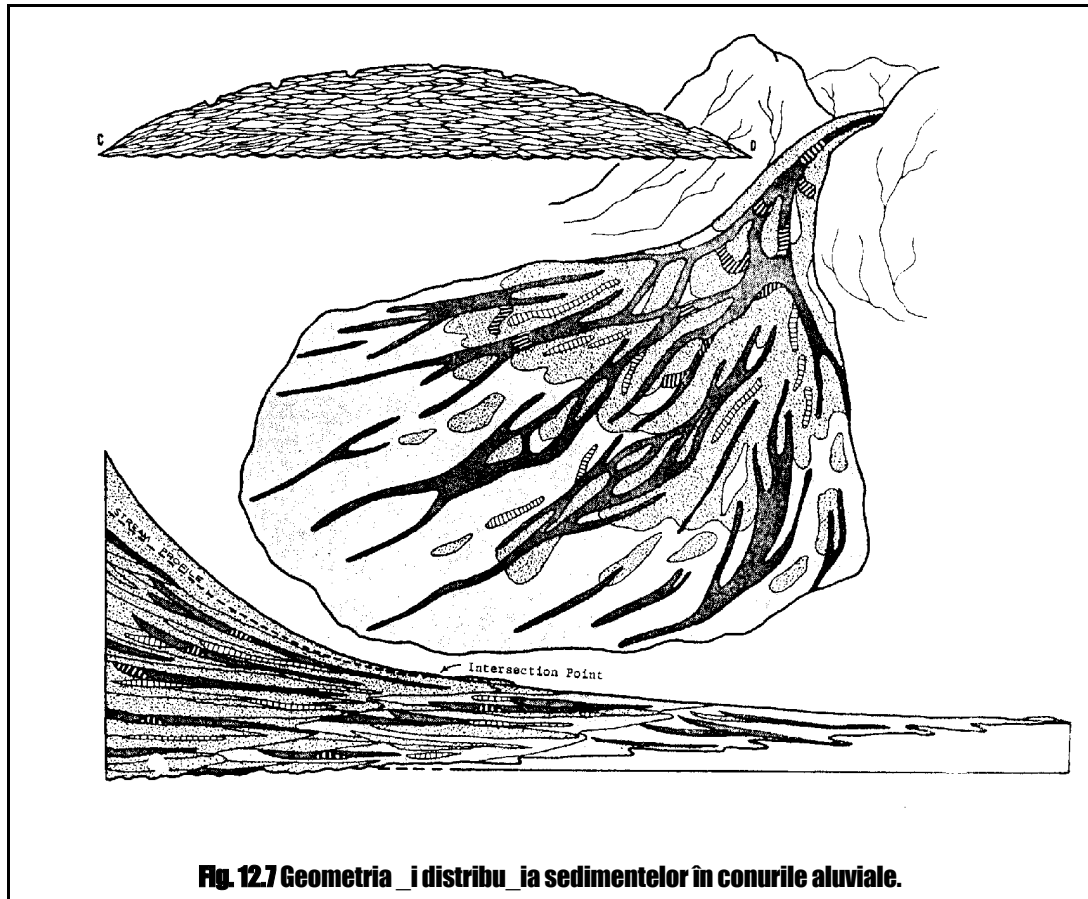


Fig. 127 Geometria și distribuția sedimentelor în conurile aluviale.

Procese și faciesuri depozitionale

Sedimentarea conurilor aluviale este controlată, în special, de scăderea vitezei, puterii și adâncimii curenților de apă pe măsură a refulării acestora pe suprafețele nou formate și a infiltrării apei în depozitele anterior acumulate.

Transportul aluviunilor se face prin curgere gravitațională (*debris flow*) și prin curgere individuală, turbulentă. Depunerea materialului grosier este urmată de infiltrarea apei și antrenarea mecanică, în spațiul intergranular generat anterior, a fracției fine, argiloase. Modelul radial al paleocurenților unidirecționali este tipic.

Rata de sedimentare, pentru conurile din regiuni umede: 15 m/2-3 ani (la precipitații de 1500-2500 mm/an)

Principalele faciesuri depozitionale, pentru CONUL ALUVIAL sunt:

1. debrite:

- blocuri unghiulare amestecate cu pietrisuri, prinse într-o matrice argilooasă în corpuri lobate, *levee* sau corpuri linguoide (spre apexul conului);
- contacte nete cu unitățile subiacente;
- flancurile interne ale canalelor au sortare mai bună decât flancurile externe;
- o posibilă sortare granulometrică a blocurilor și bolovanisurilor în josul curențului; această sortare lipsește la nivelul fracției fine;
- grosime variabilă de la 30 cm la câțiva metri

2. pietrisuri lobate (*sieve deposits*);
 - formează brâuri sau centuri lobate, de material grosier, bine sortat, prin care se infiltrează apele, aval de punctul de intersecție al profilului de echilibru erozional cu cel depozitional;
 - contactele lor sunt gradate, iar panta "*sieve deposits*" este mai mică decât panta conului;
3. pânze de nisipuri sortate (*sheet flood deposits = water-laid sediments*);
 - au marginile difuze, și acoperă faciesuri de canal;
 - se subțiază spre margini;
4. pietrisuri imbricate, aluviuni în canal (*stream channel deposits = water-laid sediments*) au granulometrie variabilă; sortare slabă.

Trasaturi globale:

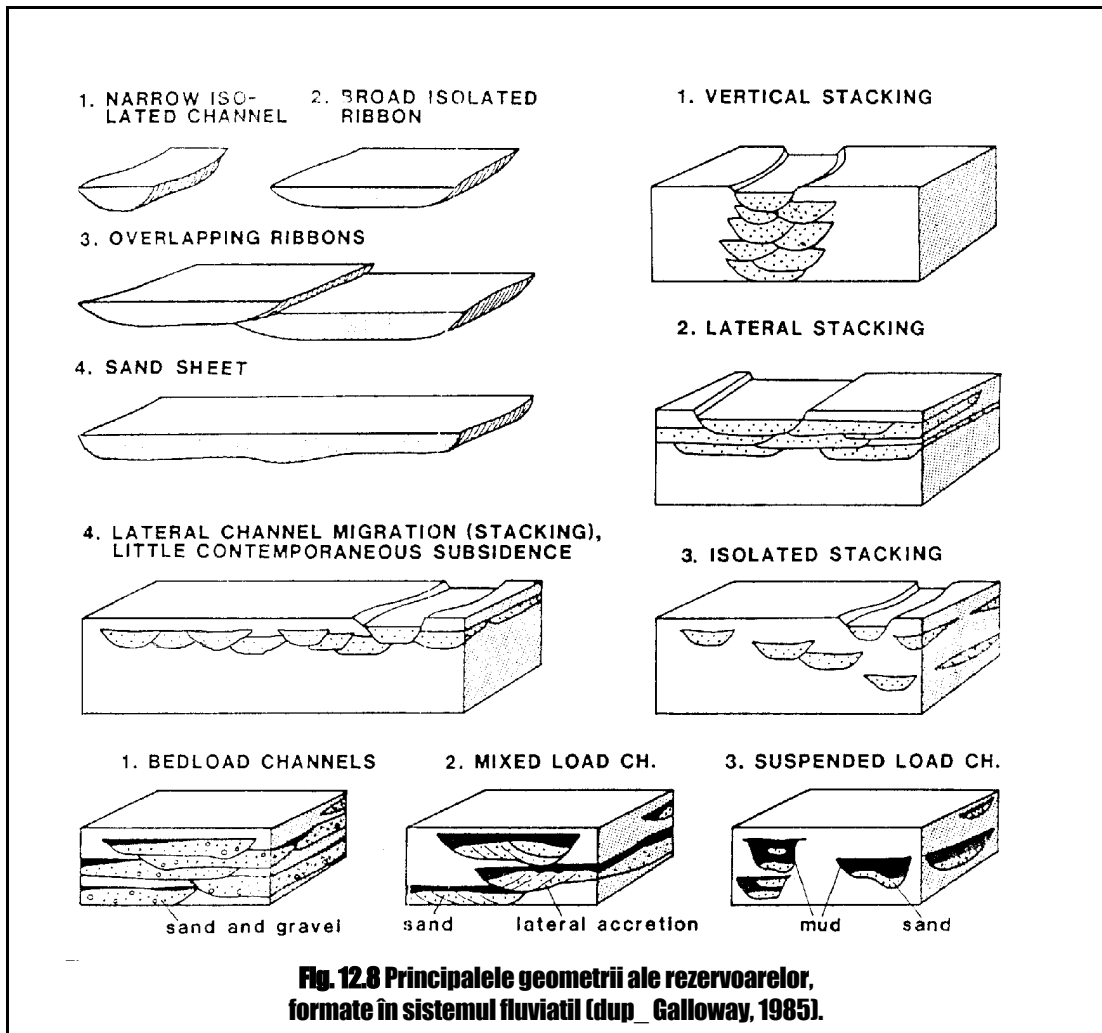
Granofaciesul este predominant grosier; fracția fină este specifică conurilor formate în zone reci. Sortarea este slabă, dar se poate trece brusc de la o clasă granulometrică la alta. Dimensiunile clastelor scad spre baza conului.

Morfofaciesul variază de la angular la rotunjit; există o relație liniară între rotunjimea (R_o) clastelor de aceeași dimensiune și distanța de transport (în special în zonele aride).

Structofaciesurile specifice reflectă trasaturile curgerilor individuale: stratificații gradate, laminatii, stratificații oblice, tabulare și concoide, imbricatii și structuri non-organizate; uneori *slump*-uri; mecanoglife de tracțiune (*groove casts*).

Geometria corpurilor (arhitecturi specifice):

- Conurile actuale variază ca dimensiuni între 1 km² și 900 km² și grosimi de până la 700 m; cele vechi au dimensiuni mult mai mari (4000-5000 m grosime).
- Panta suprafeței variază între 5° și 10°.
- O unitate depozitională (lob, pânză, cuvertura etc), care materializează o singură depunere, poate atinge câțiva km lungime și 150-500 m lățime.
- Grosimea minimă a unui interval depozitional: 1-10 cm; grosime maximă: metrii.
- Unitățile fin granulare cresc în frecvență și grosime spre baza conului.
- Sunt frecvente secvențele repetitive *fining-up* alcătuite din conglomerate-gresii.



SISTEMUL BAZINELOR ADÂNCI ("DEEP SEA")

Domeniul de sedimentare cu ape adânci cuprinde "bazinele" suprapuse peste marginea continentală și bazinele oceanice în care adâncimea apelor este mai mare de – 200 m. El este, astfel, mărginit; spre ariile continentale de sistemul de șelf și are un substrat alcătuit atât din litosferă continentală cât și din litosferă oceanică. Ocupă cea mai mare suprafață de sedimentare de pe glob.

Subsistemele separate după criteriul batimetric și geomorfologic (relieful fundului) corespund cel mai bine necesităților impuse de particularitățile sedimentologice ale bazinelor. Astfel:

A. Subsistemul cliniformelor (domeniul batial)

Correspunde domeniului de pantă subacvatică din zona de margine continentală și include diverse tipuri de "bazine" marginale. Din punct de vedere morfologic, cuprinde praguri, suprafețe de povârniș, microcordiliere, canioane submarine și conuri cu pantă medii de 3 – 6° (uneori 15° – povârnișul Floridei, sau chiar verticale – povârnișul Arhipelagului Bahama).

Factori. Sedimentarea este controlată de sursa de material, morfologia fundului, energia gravitațională, regimul hidrodinamic și mai puțin de salinitate, temperatură, lumină (fig. 2.21).

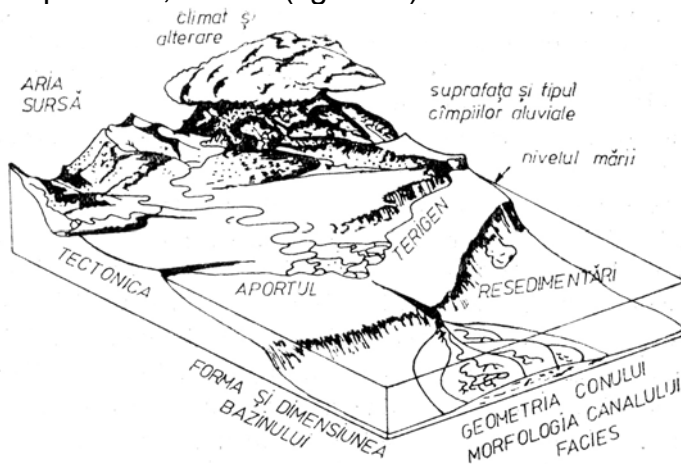


Fig. 2.21.

Factorii care controlează sedimentarea în sistemul abisal [17].

Sursa de material -poate fi:

- de origine terigenă: sedimentele din extremitatea oceanică a zonelor de șelf (siliciclastice sau carbonatice), aluviunile aduse de marile fluvii prin albiile submarine până deasupra taluzului, depozitele vechi aparținând substratului continental și care "aflorează" în zona de povârniș (roci sedimentare epiclastice, calcare, roci piroclastice);
- de origine pelagică: fracțiunea pelitică.

Morfologia fundului și energia gravitațională. Pantele înclinate reprezintă sectoarele de deplasare a sedimentelor, iar suprafețele plane cele de acumulare. Unghiul de pantă controlează viteza de înaintare a depozitelor și determină natura proceselor. Energia gravitațională crește direct proporțional cu valoarea acestui unghi.

Regimul hidrodinamic. Sistemul de curenți este determinat de:

- alunecarea pe pantă a clastelor și densitatea lor în apă (curenți de turbiditate cu densitate mare și mică, viteza 20 m/s);
- variațiile de salinitate (curenți haloclini);
- variațiile de temperatură (curenți termoclini).

Adesea, curenții termohalini sunt curenți de fund care se deplasează în lungul pantelor (de aceea se numesc și curenți de contur viteză – 5 m/s); forța de transport este direct proporțională cu densitatea lor. Energia de bazin în sectoarele afectate de curenți de turbiditate este ridicată; în zona curenților termohalini este scăzută. Rata de sedimentare este mare și foarte mare: 10^{-1} ...10 m/1 000 ani.

Geometria depozitelor. Sedimentele au grosimi foarte variabile, atingând sute și mii de metri grosime și îmbrăcând forma unor corpuri cu geometrie diversă: praguri de taluz (rampe de alunecare; engl. = *apron*); prisme conturite (în sectoarele centrale); cuverturi și conuri submarine (în partea bazală).

Procese și produse. Domeniul batial este dominat de procese mecanice; procesele biotice și chimice nu generează produse semnificative. În zonele superioare procesele sunt predominant erozive, iar în cele inferioare sunt preponderent acumulative. Mecanismele de sedimentare și resedimentare a clastelor sunt controlate de procesele gravitaționale, de pantă (fig. 2.22);

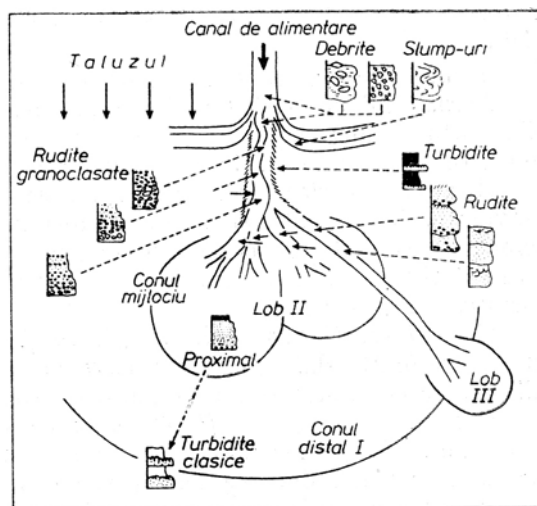


Fig. 2.22. Modelul distribuției sedimentelor la baza taluzului continental și principalele tipuri genetice și granulometrice [32].

1) Transportul în masă se manifestă prin "căderi libere", alunecări gravitaționale și curgeri gravitaționale exprimate spațial printr-o succesiune de depozite ruditice și arenitice care cuprind, din zona superioară spre cea inferioară: a) olistolite și acumulări de blocuri libere (engl. = *rock fall*), b) alunecări nestratificate (engl. = *slide și slump*); c) curgeri de sedimente (curgeri fluidizate, curgeri măloase, (engl. = *grain flow, debris flow, mud flow*) (ex.: Marele Bank $7,6 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$);

2) Curenții de contur, cu densitate scăzută (curenți termoclini) transportă și depun sub formă de *conturite* sedimente fine pelitice și siltice (ex. Curentul Arctic, pe marginea continentală estică a Americii de Nord).

Structuri specifice și alte caractere sedimentologice:

Formațiuni cu olistolite. Au compoziție polimictică, granulometrie variabilă, sortare slabă, elemente cu grad ridicat de angulozitate, matrice pelagică, contacte nete cu formațiunea subiacentă.

Alunecări nestratificate. Prezintă structuri interne deformate, adesea convolute, de dislocație și rupere, de distorsiune și rulare; suprafața stratelor deformate este adesea neregulată, acoperită de claste grosiere; unitățile alunecate pot fi separate prin seturi cu laminație paralelă și prezintă modificări importante în grosime.

Curgeri gravitaționale de tip "debris flow": claste într-o masă argiloasă cu sortare foarte slabă; strate masive cu grosimi uneori mari, lipsite de stratificație, și cu suprafețele de separație neregulate.

Curgeri de tip "grain flow". Apar ca strate groase, formând umplutura unor canale. Au partea superioară plană și structuri omogene, lipsite de orientări preferențiale. Clastele mai grosiere se află într-o matrice de nisip și/sau silt, cu sortare slabă. În baza stratelor sunt posibile granoclasări și filoane clastice; pe talpa stratelor, caneluri de eroziune.

Conturite. Strate subțiri (< 5 cm grosime) cu limite nete în bază și "top", predominant siltice și lutitice, bine sortate, cu stratificație gradată normală și inversă. Uneori, laminații oblice marcate de minerale grele; se dezvoltă paralel cu marginea bazinului.

Resurse minerale și energetice: stratele groase pot fi colectoare foarte bune pentru hidrocarburi.

Asociațiile litologice specifice sunt redată în coloanele din figura 2.24.

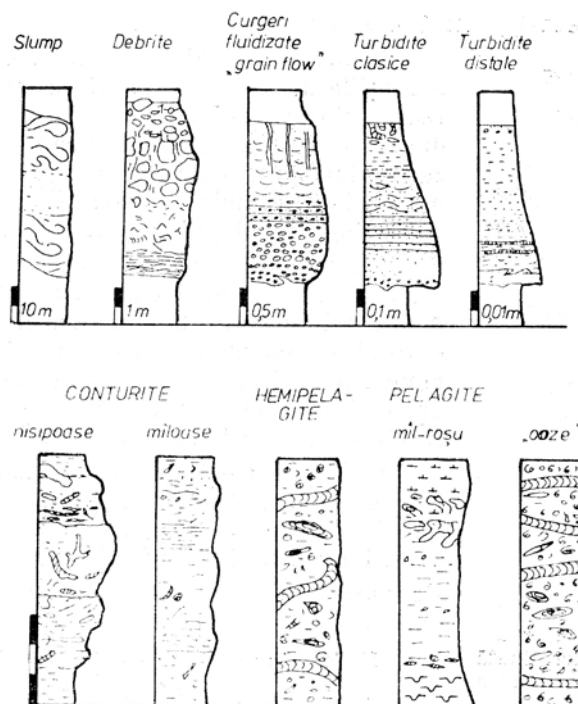


Fig. 2.24. Coloane litologice idealizate în sedimentele de apă adâncă (zona piemontului oceanic și a câmpiei abisale) [17].

Depozite vechi, considerate ca având la origine sedimente batiale acumulate într-un sistem de clinoforme sunt:

- Olistostromele cretacee din Munții Trascău, România;
- Calcarele de Adneth, cu alunecări nestratificate, din Alpi, Jura;
- Curgerile gravitaționale din flișul cretacic din Carpații Orientali (România) și flișul mezozoic și cainozoic din Apenini.

B. Subsistemul fondoformelor (domeniul abisal și hadal)

Correspunde bazinelor oceanice care au drept fundament o litosferă oceanică și o adâncime de sedimentare mai mare de 2 000 m. Din punct de vedere morfologic cuprinde piemontul oceanic (pante de 1:100, 1:700), câmpiile abisale (1:1000), cordilierile de rift și fosele.

Factorii care controlează sedimentarea sunt sursa de material, regimul hidrodinamic, salinitatea, temperatura apelor, conținutul de gaz, procesele de rift și activitatea biotică.

Sursa de material:

a) aportul terigen din zona taluzului prin intermediul curenților de turbiditate;

b) materialul pelagic, de larg oceanic, reprezentat prin suspensii fine și organisme (micro.) planctonice și material grosier (accidental) provenit prin topirea blocurilor plutitoare de gheață;

c) contaminarea cu produse endogene emantate în lungul zonelor de rift sau prin vulcanism subacvatic.

Regimul hidrodinamic. Este dominat de curenți oceanici de fund (termohalini) și influențat accidental de reflexele curenților de turbiditate. Energia de bazin se consideră scăzută, iar mediul calm, liniștit.

Salinitatea medie în bazinele oceanice este de 34,8 ‰ dar poate depăși 100 – 150 ‰ în zonele cu flux termic ridicat (ex. Marea Roșie, Golful Californiei). Poate influența declanșarea unor curenți haloclini.

Temperatura medie a apelor este de 4 °C... – 1 °C, dar crește vizibil în dreptul zonelor de rift (la peste 40 ... 60 °C) și determină apariția unor curenți de fund termoclini.

Conținutul de gaze. O₂ scade direct proporțional cu adâncimea, ajungând pe fundul bazinelor la conținuturi de 1 cm³/l; suprafața de sedimentare poate avea un $Eh > 0$, favorizând stabilitatea oxizilor de Mn, Fe. În bazinele cu circulație restrictivă, semiînchise, sub nivelul pragurilor O₂ dispare, iar locul lui este, de regulă, ocupat de H₂S; mediul devine *euxinic*, favorizând conservarea substanței organice și stabilitatea sulfurilor. CO₂ crește cu adâncimea atingând pe fundul oceanelor concentrații de 25 cm³/l; conținutul de CO₂ în apă controlează stabilitatea carbonaților. Limita de compensație a carbonaților (**CCD**) – la cca. 4,5 km adâncime – și lysoclina CaCO₃ explică repartiția sau lipsa sedimentelor carbonatice în și din zonele abisale (sau hadale).

Procesele de rift. Fluxul termic ridicat, aportul de gaze (CO₂, H₂S, Cl⁻, SO₃²⁻) și de coloizi metalici (Zn, Cu, Fe, Mn, Al) modifică vizibil condițiile de sedimentare din zonele respective.

Organisme specifice: nanoplancton (coccolite), alge și microorganisme pelagice (diatomee), radiolari, globigerine, pteropode, silicoflagelate, spiculi de spongieri; organisme bentonice rare.

Procese și produse. Sedimentarea în mări deschise este dominată de evenimente "normale"; acumularea verticală a materialului fin de origine terigenă cu o rată de 0,1 – 1 mm/1 000 ani și/sau biogenă cu o rată de 1 – 5 cm/1 000 ani, și de procese chimice de autigeneză a unor compuși de Fe, Mn, S etc. (cu o rată de 1 cm/10⁵... 10⁶ ani). Zonele marginale ale bazinelor oceanice corespunzătoare piemontului ("continental rise") sunt acoperite cu material terigen provenit prin evenimente accidentale sau întâmplătoare din zona taluzului: turbidite.

Sedimentele piemontului oceanic

Turbiditele sau produsele curenților de turbiditate, îmbracă faciesuri proximale, grosiere, în apropierea taluzului, și faciesuri distale, fine spre largul oceanului; se întâlnesc în toate bazinele oceanice în apropierea marginilor continentale; uneori ajung și în fose. Din punct de vedere litologic se identifică turbiditate siliciclastică și turbidite carbonatice, cu foarte multe caractere comune: formează depozite cu grosime mai mare în apropierea sursei și mai redusă în sensul de transport al materialului; se extind pe suprafețe largi

- cuprind alternanțe de sedimente fine (argile, siltite, calcilitite) cu sedimente grosiere (nisipuri, calcarenite);
- depozitele sunt moderat sau slab sortate și conțin cantități mari de fracțiune argiloasă;
- asociațiile turbiditice au limita inferioară netă și evidențiată de structuri erozionale direcționale, iar limita superioară se pierde treptat în formațiunea acoperitoare,
- de obicei sunt lipsite de fosile.
-

Curenții de turbiditate cu densitate scăzută generează nivele turbide (sau *nepheloide*) măloase, puțin stabile.

Termeni, procese și produse specifice "subsistemului turbiditic":

Turbidit - produsul unui curent de turbiditate (curent episodic de densitate mare sau scăzută), cu traiect unidirecțional, care antrenează volume mari de sedimente dintr-un punct de alimentare (extremitatea selfului, rampa pe taluz) spre baza taluzului și câmpia abisală.

Transportul: în cadrul covorului de tracțiune, prin curenți tractivi (fracția grosieră), și în suspensie (fracția fină).

Curentul pierde treptat sarcina (încărcatura) sedimentară și regimul hidroenergetic scade progresiv; sunt generate astfel granoclasări.

"Turbiditul" (ss) - este un depozit stratiform, delimitat prin hiatusuri non-depozitionale sau partial erozionale si este rezultat al unui singur eveniment depozitional (deci al unui singur curent de turbiditate, al unui singur "puls"). Grosimea unui astfel de turbidit poate ajunge pâna la 60 cm si poate fi echivalat cu:

Secventa Bouma - este o succesiune de cinci termeni litologici sau intervale depozitionale: Ta, Tb, Tc, Td, Te cu trasaturi granulometrice si structurale distincte.

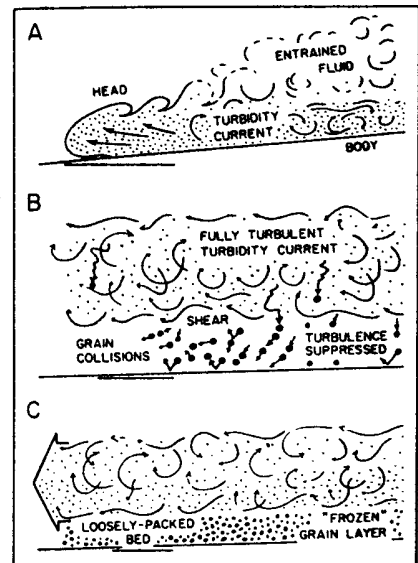


Fig. 9.9 Curenti de turbiditate.

Asociatia turbiditica - este alcatuita dintr-o succesiune de "turbidite" cu grosimi variabile (descrescatoare sau crescatoare) spre topul ei. Astfel, ea cuprinde alternante de evenimente depozitionale si erozionale, si desi are ritmicitate interna este un produs disciclic. In acest context un "turbidit" are valoarea unui "ritm" alcatuit din doi sau mai multi termeni litologici. Multe turbidite sunt incomplete, adica nu au toti termenii "secventei Bouma" (clasica).

Rata de sedimentare: 100-1000 m/Ma;

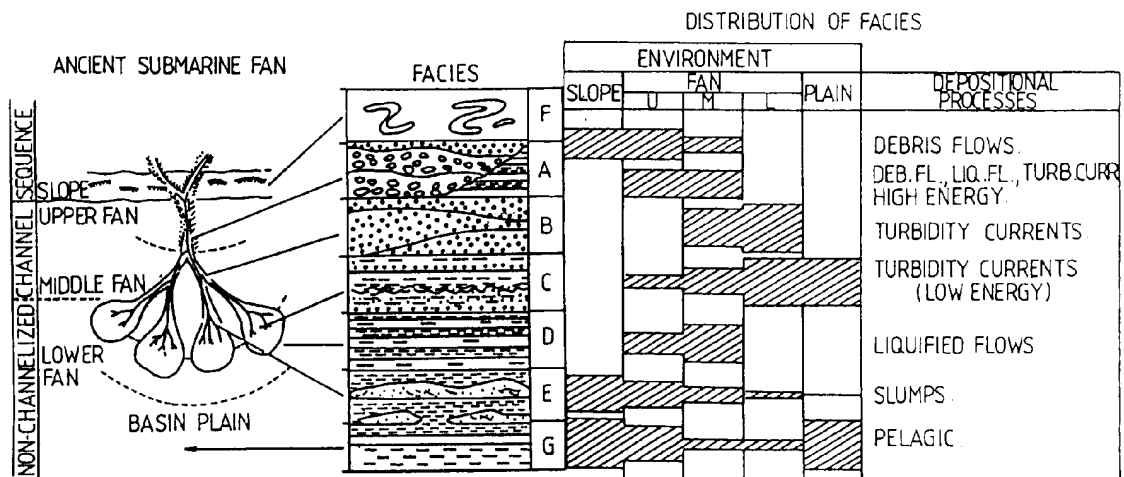
Frecventa: pentru cele fine: 50 pâna la sute de ani;
pentru cele grosiere: 50000 pâna la 1 milion de ani.

Taboulul 9.1. Nomenclatura, codificarea și caracterizarea faciesurilor turbiditice după Mutti și Lucchi (1975):

Cod	Facies	Proces	Potential hidrodynamic
A	<i>slope, upper-middle fan</i>	<i>debris flow</i> curgeri lichefiate	mediu
B	<i>upper-middle fan</i>	<i>debris flow</i> curgeri turbulente (densitate mare)	bun
C	<i>middle-lower fan</i>	curenți de turbiditate	foarte bun
D	<i>upper-lower fan, abyssal plane</i>	curgeri turbulente cu energie scăzută	mediu
E	<i>upper-middle fan</i>	curgeri turbulente și lichefiate, curenți tractivi	mediu
F	<i>slope, upper-middle fan</i>	<i>slump, debris flow</i>	slab
G	<i>slope, abyssal plain, upper fan</i>	sedimentare pelagica și semipelagica	slab

Taboulul 9.2. Caracteristicile comparative ale faciesurilor de canal și lobi ale conurilor submarine:

Caracteristici	Canal	Lobi
Grosime	1-50 m	1-50 m
Procese	transport în masă, <i>slump, debris flow</i>	curenți de turbiditate
Petrofacies	conglomerate, gresii, argile, mudstone	gresii, argile
Structuri	neorganizate, limite erozionale	secvența Bouma
Geometrii	canale colmatate și corpuri lenticulare	corpuri tabulare, pânze
Secvențe	<i>fining upward, thinning up</i>	<i>coarsening upward, thicker up</i>

**Fig. 9.10 Caracterizarea faciesurilor turbiditice.**

FACIESURI TURBIDITICE (Clasificarea turbiditelor).

Criteriul compozitional:	- siliciclastice - carbonatice (alodapice)
Criteriul granulometric: (Facies)	Criteriul structural: (Subfacies)
turbidite grosiere G - Gravel (Rudă) GS - Gravel-Sand GyS - Gravelly Sand	m - massive g - graded s - plane-stratified
turbidite nisipoase (grozoase) S - Sand (Arenă) SM - Sand-Mud	x - cross-stratified c - cross-laminated
turbidite măloase (argiloase) TM - Silt-Mud (Silt) MT - Mud-Silt M - Mud (Lutit)	b,d - parallel-laminated e - pelitic q - liquefied (fluidizat)

unde:

m = transport în masă, curgeri gravitaționale;

g = granoclasare, transport "particul cu particul", suspensii turbulente;

s = transport prin curenți tractivi cu densitate mare;

x = curgeri turbulente, cu dese schimbări de direcție; apar forme de fund erozionale și construcționale;

b,c,d = curenți tractivi ce antrenează fracția fină și determină forme de fund;

e = curenți de turbiditate cu densitate scăzută, se depun suspensii siltice și lutice;

q = eliberarea rapidă a lichidului interstițial, sin- sau postdepozițional.

Pentru definirea faciesurilor și subfaciesurilor se aleg codurile de mai sus; codul structurilor devine un prefix la codul faciesurilor (codul granofaciesului).

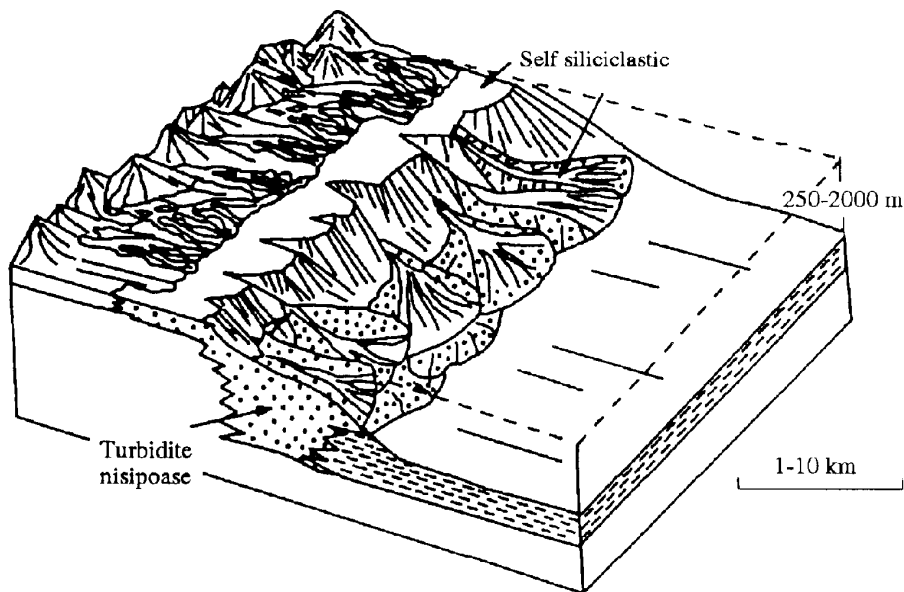


Fig. 9.11 Turbidite nisipoase, situate la baza pantei cu surs liniar de material.

Faciesuri turbiditice în medii depozitionale:

Faciesuri proximale - pe taluz și în vecinătatea sa:

- * de canal (*channel*)
- * de terasa (*terasse*)
- * de grinduri (*overbank = levee*)
- * de con proximal (*upper fan*)

Faciesuri distale spre câmpia abisala:

- * lob (con) inferior (*lower fan*)
- * lob (con) mijlociu (*mid fan*)

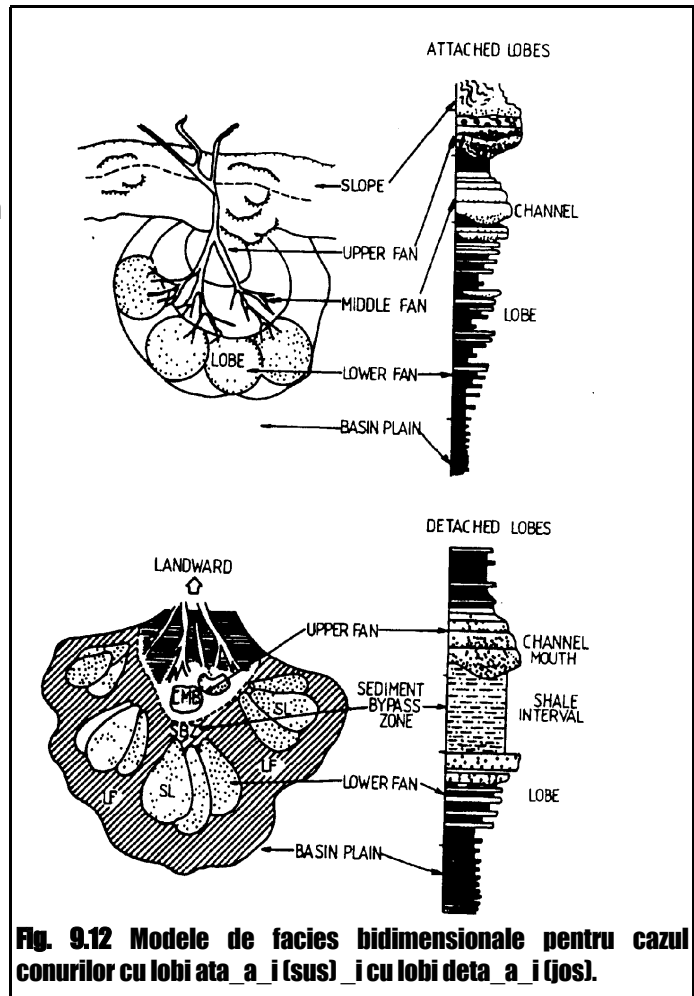


Fig. 9.12 Modele de facies bidimensionale pentru cazul conurilor cu lobi atașate (sus) și cu lobi detașate (jos).

Sedimentele câmpiilor abisale

1) *Sedimente pelagice* cu < 25 % fracțiune terigenă, vulcanogenă sau neritică de dimensiuni > 5 μm și $Md < 5 \mu\text{m}$, reprezentate prin:

a) argile pelagice (argilă roșie) < 30 %, bioclaste carbonatice sau silicioase;

b) mълuri organogene ("ooze") cu > 30 % bioclaste, reprezentând mълuri carbonatice (marne, crete) și mълuri silicioase cu radiolari, cu diatomee.

2) *Sedimente hemipelagice* cu > 25 %, fracțiune terigenă, vulcanogenă sau neritică cu dimensiuni > 5 μm și $Md > 5 \mu\text{m}$ reprezentate prin:

- mълuri calcaroase ("calclutite") cu > 30 % CaCO_3 și bioclaste (foraminifere, nanoplancton); mълuri terigene cu < 30 % CaCO_3 , dominate de cuarț, feldspați și miche; mълuri vulcanogene: cenușă, palagonite.

3) *Sedimente autigene* de precipitare, sin- sau postdepoziționale în raport cu sedimentele pelagice și hemipelagice:

- chert-uri (silicolite);
- calcare pelagice;
- noduli polimetaliți (de Mn, Fe, Cu, Ni, Co);
- mълuri cu sulfuri, zeoliți și baritină.

4) *Sapropelite*: acumulări de substanță organică și argile negre.

Structuri specifice: laminații paralele și structuri de tipul varvelor; suprafețe de strat plane și rare bioturbații; structuri diagenetice de remobilizare și concreționare a silicei, fierului și manganului. Resurse (foarte variate): mълuri sapropelice, sulfuri de Cu, Zn, Fe, oxizi de Mn, Fe, baritină.

Depozite vechi rezultate din sedimente abisale asociate cu complexe ofiolitice:

- argilitele și radiolaritele jurasice din Munții Drocea;
- argilele negre și silicolitele cambrian-ordoviciene din Scoția;
- silicolitele manganifere și calcarele albe mezozoice din Apeninii Ligurici;
- argilele negre cu sulfuri din masivul Troodos, Cipru;
- nodulii de mangan și argilele roșii cretacice din Timor.

Sedimentele foselor

Au fost apreciate indirect prin profile de reflexie seismică, la adâncimi ale apei de 6 000 – 11 512 m (Fosa Cook). Au grosimi variabile: 100 – 200 m în fosele Tonga și Peru – Chile din Oc. Pacific și mai mari de 1 500 m în Fosa Puerto Rico (Oc. Atlantic) și Fosa Kamceatka (Oc. Pacific). În constituția lor intră sedimente hemipelagice (Fosa Mariane, Fosa Filipine) și turbidite (fosele Puerto-Rico și Peru Chile). În nivelele superioare prezintă stratificație gradată (nisip-silt-argilă) și nu sunt deformate tectonic.

Criterii de recunoaștere pentru depozitele sistemului de mare adâncă:

- repetarea monotonă a unor secvențe pelitice și carbonatice cu laminație paralelă de ordinul mm;
- alternanța unor strate mai groase de sedimente carbonatice cu strate mai subțiri de marne;
- structuri sedimentare care indică curenți sporadici și alunecări submarine;
- suprafețe de stratificație cu "hardground" și structuri de dizolvare;
- din punct de vedere petrografic claste resedimentate, claste cu cruste de mangan, silicolite abundente, sedimente negre datorită sulfurilor de fier, acumulări de glauconit sub planele de discontinuitate;
- microorganisme sesile încrustate cu Mn și Fe;
- absența borings-urilor algale;
- nivele de fauna condensată.

Indrumator bibliografic:

Anastasiu, N., 1992. Sisteme depozitionale. T.U.B: 57pag.

Anastasiu, N., 1998. Sedimentologie si petrologie sedimentara.401 pag. EUB,

Pt. Sistemul fluviatil:

Collinson J.D., 1986. Alluvial sediments. In: Sedimentary environments and facies (ed by Reading H.G.). Blackwell Sci. Publ., Oxford, 20-62

Einsele G., 1992. Sedimentary basins: Evolution, Facies, and Sedimentary Budget. Springer-Verlag, Berlin, 29-53.

- Galloway, W.E. and Hobday K.D., 1983. Terrigenous Clastic Depositional Systems - applications to petroleum, coal and uranium exploration. Springer New York, Heidelberg, 423p.
- Miall A.D., 1990. Principles of sedimentary basin analysis. Springer-Verlag, New York, 668p.
- Miall A.D., 1992. Alluvial Deposits. In: Facies Models - Response to sea level change (ed. by Walker R. and James N.), Geol. Assoc Canada, 119-142.
- Reading, H.G., 1982. Sedimentary Environment and Facies. Springer Verlag.

Pt Sistemul turbiditic:

- Bouma A.H., 1962. Sedimentology of some flysch deposits. Elsevier, Amsterdam, 168p.
- Bouma A.H., Normark W.R., Barnes N.E. (eds), 1985. Submarine fans and related turbidite systems. Springer-Verlag, Berlin, 351p.
- Einsele G., 1992. Sedimentary basins. Springer-Verlag, Berlin, 214-231.
- Lowe D.R., 1982. Sediment gravity flows. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. J. Sedim. Petrol., 52, 279-297.
- Mutti E., 1985. Turbidite systems and their relation to depositional sequences. In: Provenance of arenites (ed. by Zuffa G.G.) Riedel Publ. Comp., Dordrecht, p: 65-93.
- Pickering K.T., Hiscott R.N., Hein F.J., 1989. Deep marine environments: clastic sedimentation and tectonics. Unwin Hyman, London, 416p.
- Stow D.A.V., 1986. Deep clastic seas. In: Sedimentary Environments and Facies (ed. by Reading), Blackwell, Oxford, p: 399-44.
- Walker R.G., 1992. Turbidite and submarine fans. In: Facies Models - response to sea level change (ed. by Walker R.G., James N.P.). Geol. Soc Canada, 329-363.