

ASUPRA ORIGINII BIMODALITĂȚII DEPOZITELOR DE ALBIE ALE RÂURILOR EST-CARPATICE

MARIA RĂDOANE*, NICOLAE RĂDOANE*, DAN DUMITRIU**, CRINA MICLĂUȘ***

Cuvinte cheie: depozite de albie, „downstream fining”, „downstream coarsening”, distribuții granulometrice, producție de aluviuni, bimodalitate, bazinul hidrografic Siret

On the origin of the bed material bimodality in the East-Carpathian streams. Taking as examples 6 big streams draining the east side of the Eastern Carpathians, a comprehensive study on the bed material was realised. This study has in attention the most discussed problems of the „downstream fining” and „downstream coarsening”, of the bed material bimodality, of the gravel-sand transition. One of the conclusion is that bimodality may be explained by the superposition of two grain size distributions with a different origin. Firstly, an unimodal distribution with a right skewness and with a strong downstream fining. This distribution characterises the blocks, cobbler and gravel mode and its origin is autochtone (by hydraulic sorting and abrasion mechanisms). Secondly, an unimodal distribution with a left skewness characterising the sand deposits and its origin is allochtone (by major lateral input of sand from the basin area).

1.Introducere

Alături de alte proprietăți ale albiilor de râu, depozitele de albie au reprezentat unul din primele fenomene observate și studiate de oamenii de știință. Se precizează faptul că Leonardo da Vinci a publicat cel dintâi comentariu cu privire la reducerea progresivă a dimensiunii sedimentelor fluviale (downstream fining) în „Codex Hammer” (1504-1506) (Richter et al., 1939, cit. Gomez et al., 2001). După această observație au apărut și explicațiile asupra cauzelor posibile ale fenomenului. Dacă majoritatea autorilor îl citează pe Sternberg (1875) ca fiind descoperitorul „legii de reducere a greutatei particulelor sedimentelor fluviale”, Gomez et al. (2001) au realizat o investigație mult mai adâncă în istoria cunoașterii și așa am aflat că încă din secolul XVII s-a emis ipoteza că *uzura materialelor de albie* în timpul transportului este cauza principală a reducerii progresive a dimensiunii sedimentelor, iar puțin mai târziu a fost invocat și cel de al doilea proces, *sortarea hidraulică* care, împreună cu uzura, sunt la baza explicării fenomenului. Plecând de la aceste cunoștințe s-au dezvoltat două direcții ale cercetărilor și experimentelor, funcție de care s-au polarizat și oamenii de știință.

Deși lista rezultatelor științifice în acest domeniu este cuprinzătoare și s-au lămurit numeroase semne de întrebare în legătură cu fenomenul de „downstream fining”, persistă încă și la această dată necesitatea unor cercetări de teren sistematice de mai mare avengură, acumularea unei baze de date comprehensive pentru a înțelege și mai bine diversitatea situațiilor din teren privind fenomenul de diminuare a materialului de albie. Este o opinie susținută de mai mulți autori (Sambrock Smith and Ferguson, 1996; Rice, 1998; Gomez et al., 2001) la care ne asociem și noi prin acest studiu.

* Profesori, Departamentul de Geografie, Universitatea „Stefan cel Mare” Suceava, str. Universitatii, 13, 720229, Romania

** Lector dr., Departamentul de Geografie, Universitatea „Al.I.Cuza” Iasi, Bdul Carol I, 11, Iasi 700506, Romania

*** Lector dr., Departamentul de Geologie, Universitatea „Al.I.Cuza” Iasi, Bdul Carol I, 11, Iasi 700506, Romania



Foto 1. Albiile de râu din bazinul râului Siret (R. Trotuș – sector superior). R.Putna la Valea Sării. R.Moldova, avale de Gura Humorului. R. Suceava la Ițcani.

Urmărind literatura de specialitate pentru domeniul nostru de cercetare, am avut un moment de satisfacție că un studiu caz din investigațiile noastre (fenomenul de „downstream coarsening” în lungul râului Siret) a fost larg exemplificat (Pizzuto, 1995; Sambrook Smith and Ferguson (1995), Sambrook Smith (1996); Ferguson et al., 1996; Rice and Church, 1998; Rice, 1999; Surian, 2002; Gasparini et al., 2004 etc.) pentru a explica unele din situațiile care contrazic legea lui Sternberg. Acesta a fost un motiv în plus pentru noi de a continua cercetările și de a le extinde și pe alte râuri din același sistem hidrografic. Timp de 10 ani ne-am concentrat atenția asupra râurilor din bazinul Siret, unul din afluenții importanți ai Dunării pe teritoriul României. Având ca suport experiența numeroșilor autori în studii de mare rafinament privind variabilitatea granulometrică pe un singur râu sau un sector de râu (Brierley and Hickin, 1985; Parker, 1991; Werrity, 1992; Paola and Seal, 1995; Ferguson et al., 1996; Rice and Church, 1998 și mulți alții), la rândul nostru, ne-am gândit dacă o abordare spațială a variabilității materialului de albie pe mai multe râuri în cadrul unui sistem fluvial de peste 43.000 km² nu ar putea să aducă noi repere de cunoaștere asupra unui fenomen care încă nu a fost pe deplin elucidat. Este o cale dificilă pentru că eșantionarea volumetrică în albiile cu pat de pietriș reprezintă o adevărată încercare pentru cei ce se angajează în studierea fenomenului (de exemplu, în partea superioară a râurilor carpatice eșantionate, greutatea probei cernute in situ a depășit mereu 1000 kg, ceea ce a fost un efort extraordinar pentru echipa de lucru). Dar ne-am angajat cu entuziasm în această cercetare pentru că nimic nu se compară cu satisfacția intelectuală

dată de cunoașterea unui sistem atât de minunat alcătuit precum sistemul fluvial, unde „râurile sunt niște canale prin care curg ruinele continentelor” (Leopold, Miller și Wolman, 1964, p. 97).

În concluzie, lucrarea noastră își propune să abordeze fenomenul variabilității materialului de albie în lungul unei rețele de 1640 km de râuri din bazinul Siret ca segment de legătură între sursele aluviunilor și efluența lor. În mod cu totul deosebit ne vom concentra asupra variabilității spațiale a tipurilor de distribuții ale materialelor de albie și vom încerca să aducem în discuție originea bimodalității depozitelor fluviale.

2. Zona de studiu și metoda de lucru

Pentru argumentarea observațiilor proprii, cercetările noastre s-au axat pe râurile importante care drenează flancul estic al Carpaților Orientali și sunt afluențe directe ale râului Siret. În total sunt 10 râuri (din care doar 6 au fost monitorizate sub aspectul depozitelor de albie) și acțiunea lor a fost și, așa cum vom vedea, continuă să fie la originea dezvoltării ariei piemontane de la exteriorul Carpaților Orientali. Câteva date generale asupra lor sunt conținute în tabelul 1.

Râurile au fost investigate asupra formei profilelor longitudinale, aplicându-se o serie de modele matematice pentru a deduce forma profilului de echilibru (Rădoane et al., 2003); s-au făcut cercetări asupra tendințelor în dinamica actuală a patului albiilor (Rădoane et al., 1991), utilizând informația de la peste 60 de secțiuni transversale în zona posturilor hidrometrice. Dar cea mai importantă și laborioasă investigație s-a făcut în legătură cu depozitele de albie ale râurilor din bazinul Siretului asupra cărora vom insista în mod deosebit în această lucrare. Depozitele de albie ale râului Trotuș au fost comprehensiv cercetate în cadrul unei teze de doctorat (Dumitriu, 2003).

Tabel 1. Date generale asupra râurilor studiate.

Nr. crt.	Râul	Secțiunea	Suprafața bazinului hidrografic Sb (km ²)	Lungimea râului L (km)	Debitul lichid mediu anual Q (m ³ s ⁻¹)	Debitul solid în suspensie mediu anual Qs (kg/s)	Producția de aluviuni, PA (t/ km ² /an)
1	Suceava	Cf. Siret	2616	172.3	14.1	13.6	180.4
2	Moldova	Tupilati	4016	169.9	32.8	35.3	277.74
	Moldova	Roman	4316	205.0		16.1	117.64
3	Bistrița	Frunzeni	6974	239.8	52.0	8.30	37.53
	Bistrița(reconstituit)	“	5695	278.8	62.8	20.23	98.15
4	Trotuș	Cf. Siret	4456	149.2	33.0	38.45	394
5	Putna	“	2518	146.5	13.4	91.80	1400
6	Milcov	Cf. Putna	395	73.5	1.1	16.9	1349
7	Ramna	“	334	63.0	0.6	36.0	3399
8	Rm. Sarat	Cf. Siret	935	139.5	2.65	32.2	1086
9	Buzau	Racovita	5264	293.0	25.7	80.30	811
10	Siret	Siret	1647	140.0	14.2	8.64	165.4
		Hutani	2164	207.9	16.9	13.5	196.7
		Lespezi	5945	306.8	37.2	52.9	280.6
		Dragesti	11899	446.1	78.8	62.1	164.6
		Racatau	19639	516.2	170.0	114.0	183.0
		Lungoci	36123	651.8	211.0	261.0	227.9
		Cf. Dunare	43933	725.8	254.0		

3. Sursa aluviunilor râurilor est-carpătice și rata lor de transfer

Sursa pietrișurilor aflate în albiile râurilor carpatice se află în arealele cu litologie diferită ale bazinului hidrografic. Repartiția unităților litologice ale bazinului hidrografic Siret se prezintă ca o dispunere de benzi cu orientare nord – sud și care se succed de la vest la est. Din punct de vedere

geologic, acestea aparțin vulcanismului neogen și vulcano- sedimentar al Carpaților Orientali (în extremitatea nord-vestică), zonei cristalino-mezozoice, zonei flișului cretacic – paleogen (în partea mijlocie), a molasei neogene și a Platformei Moldovenești în jumătatea estică a bazinului.

Un alt aspect care vine să ilustreze morfodinamica accentuată în zona de bordură a Carpaților și Subcarpaților Orientali este cel în legătură cu producția și transportul de aluviuni în bazinul râului Siret. Acest fenomen reflectă condițiile morfodinamice ale perioadei actuale de evoluție a reliefului, respectiv, ultimile decenii de când avem observații sistematice asupra transportului de aluviuni în suspensie ale râurilor. Pe baza acestora am schematizat fluxul transportului de aluviuni în lungul principalelor râuri din bazinul Siret, așa cum este el în prezent în zona noastră de referință.

Analiza succintă a acestor materiale cartografice (fig. 1) rezultă în următoarele observații:

- pe spațiul de analiză considerat ($S_b = 43.933 \text{ km}^2$) există o desfășurare a întregii game de producții specifice de aluviuni determinate pentru teritoriul României, de la cele mai mici, de sub 0.5 t/ha/an , până la cele mai mari valori, de peste 25 t/ha/an .

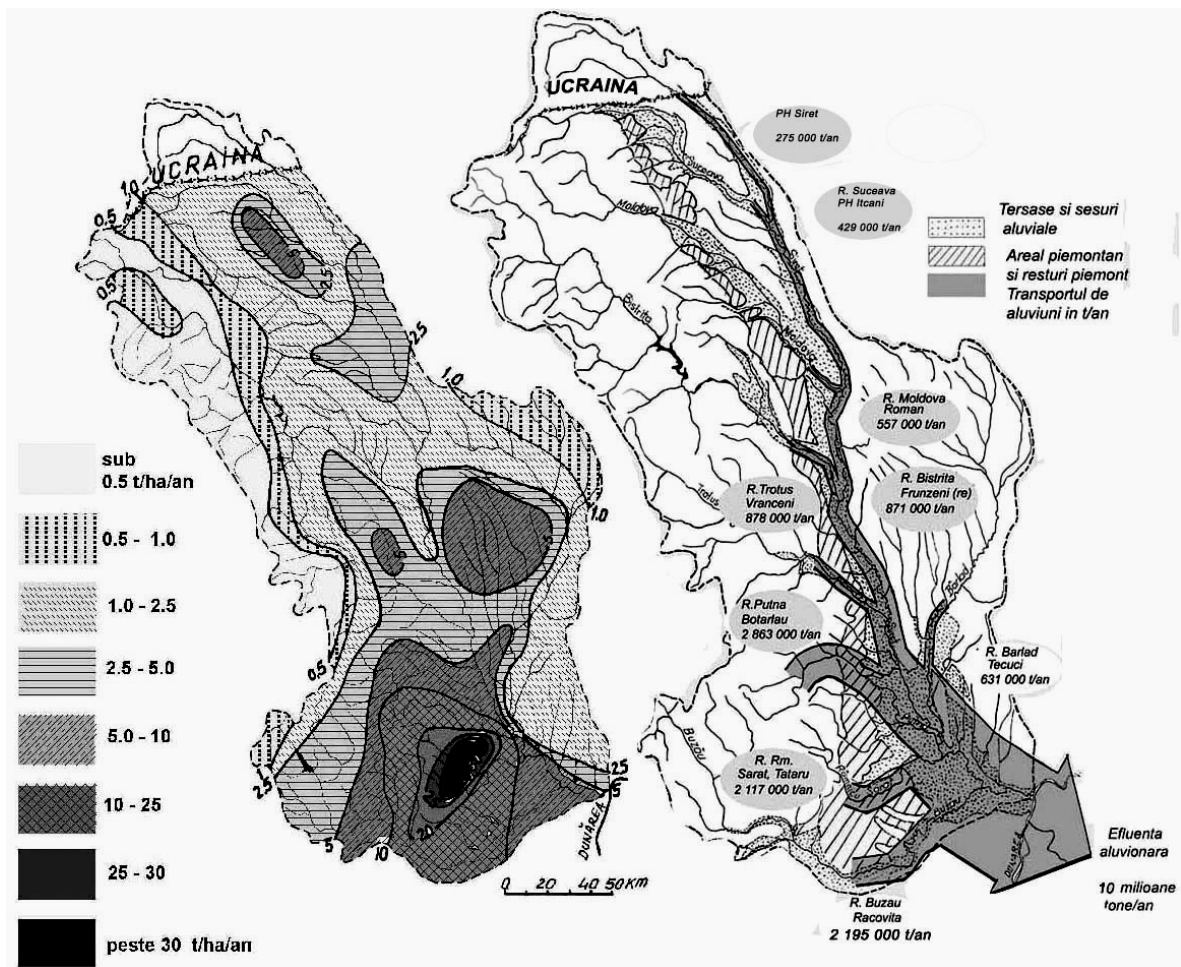


Fig. 1. Harta surselor de aluviuni în bazinul hidrografic Siret (Rădoane și Olariu, 2005). Harta transportului de aluviuni în bazinul hidrografic Siret.

- alcătuirea litologică a substratului generator de aluviuni și mărimea bazinelor hidrografice sunt factori majori ce asigură o selectare a volumelor de aluviuni tranzitate de la aria sursă spre cea

de efluență (Walling, 1983 ; Rădoane and Rădoane, 2005). Astfel, bazinele mici din zona cristalină a Carpaților Orientali contribuie cu cele mai mici cantități de aluviuni pentru transportul în cadrul rețelei de râuri, sub 0.5 t/ha/an. Bazinele situate pe roci de fliș (gresii, marne, calcare, conglomerate acoperite de o cuvertură deluvială ce depășește frecvent 10 m grosime), în special, la nord de Troțuș, dar și cele situate pe roci nisipoase de origine sarmatică în partea superioară a Bârladului, producțiile de aluviuni sunt în jur de până la 2 t/ha/an. Contribuția la cantitatea de aluviuni în suspensie evacuate în rețeaua de transport crește ușor în sectoarele inferioare ale Sucevei, Moldovei, Troțușului cu toți afluenții lui, dar mai ales Bârlad, la peste 2.5 t/ha/an. Cele mai mari valori ale transportului de aluviuni în suspensie din aria sursă în sistemul de drenaj se înregistrează în bazinele râurilor Putna și Buzău situate în partea de sud a regiunii studiate de noi (peste 30 t/ha/an). Aceste bazine împreună cu cel al Râmnicului Sărat reprezintă arealele cu cea mai mare rată a eroziunii pe unitatea de suprafață din România, dar și cel mai mare transfer de aluviuni în rețeaua de drenaj. Susceptibilitatea mare a terenurilor la eroziune este dată în principal de extinderea rocilor friabile, fragmentarea mare a reliefului, potențialul ridicat de eroziune.

- fluxul transportului de aluviuni în suspensie așa cum se prezintă el după măsurătorile ultimilor decenii realizate în rețeaua națională (perioada de referință fiind 1950 - 2002) indică foarte clar contribuția fiecărui afluent major al Siretului. De la nord la sud, Siretul însuși, apoi Suceava, Moldova, Bistrița (valori reconstituite pentru a îndepărta efectul lacurilor de baraj construite în lungul acestui râu) și Troțuș au valori ale intrării de aluviuni din ce în ce mai mari, de la 275 000 t/an Siretul la intrarea în țară, la peste 800 000 la intrarea Troțușului în Siret.

- toate râurile est-carpatică înregistrează o creștere a producției de aluviuni cu cât se apropie de confluența cu Siret, singurul la care se observă o diminuare este Bârladul, datorită manifestării unui puternic stocaj în partea mijlocie și inferioară. Într-un alt studiu am apreciat că râul Bârlad evacuează doar 4% din cantitatea de aluviuni pusă în mișcare în arealele sursă ale bazinului (Rădoane and Rădoane, 2001).

- imediat la sud de confluența Troțușului, fluxul transportului de aluviuni ale râurilor est-carpatică devine foarte mare, fiecare din cele trei râuri mai importante aducând în Siret peste 2 milioane t/an, ceea ce face ca Siretul să evacueze la rândul lui o cantitate de 10 mil. tone de aluviuni într-un an.

- dacă am suprapune dimensiunea grafică a acestui transport aluvionar peste aria ocupată de terase și șesuri aluviale ale Siretului și afluenților, am constata o potrivire destul de apropiată, ceea ce ne duce la observarea că tendințele actuale observate în transportul de aluviuni s-au păstrat întocmai, cel puțin pe timpul Holocenului.

- să specificăm că în fluxul transportului este reprezentat doar volumul de aluviuni transportat în suspensie; dacă se adaugă și cel târât, cel care de fapt contribuie la formarea depozitelor de albie grosiere, imaginea acestei dinamici a aluviunilor ar fi cu adevărat întregită și ar căpăta semnificația reală a contribuției ariei surse carpatice la dezvoltarea și în prezent a ariei piemontane est-carpatică.

În concluzie, tendințele actuale observate în dinamica transportului de aluviuni din aria sursă în aria de stocaj și de evacuare din sistemul fluvial al Siretului păstrează moștenirea unei îndelungi evoluții care, pentru zona amonte de Troțuș, datează încă din Sarmațian. Diferențierea constă în ritmul de desfășurare a procesului, mai rapid sau mai lent, dar niciodată întrerupt ca tendință. Or, dacă râurile est-carpatică nu și-au uitat această moștenire, avem tot dreptul să considerăm că funcționalitatea piemontului est-carpatic nu s-a întrerupt niciodată în mod definitiv, el doar a avut perioade firești de creștere și descreștere.

În continuare, ne propunem o analiză a *dimensiunii aluviunilor și formei distribuțiilor granulometrice*, de la sursă la efluență, în spațiul de peste 43 000 km² a bazinului râului Siret. Și cum emisarii responsabili de mișcarea a milioanele de tone de aluviuni sunt râurile cu forța lor de prelucrare și transport, depozitele de albie înmagazinează multă informație despre procesele și mecanismele responsabile de toată această acțiune. Deocamdată, atenția noastră este îndreptată

asupra unuia dintre parametri care descriu calitatea aluviunilor - granulometria. Alți parametri cum sunt morfometria și petrografia particulelor sedimentare vor face obiectul unui studiu separat.

4. Granulometria depozitelor de albie

4.1. Variația dimensiunii materialului de albie în lungul râurilor.

Investigațiile noastre asupra variabilității materialului de albie ale râurilor din bazinul Siretului au avut în atenție, în primul rând, verificarea modelului exponențial de reducere a dimensiunii în lungul râului, conform așa-numitei « legi a lui Sternberg » care arată că particulele din albie își reduc dimensiunea proporțional cu lucrul mecanic efectuat împotriva frecării în lungul râului. Fig. 2 prezintă această variație pentru șase mari râuri din bazinul Siretului, a căror lungime este cuprinsă între 150 km și 725 km. Funcție de lungimea râului, diametrul median, D50, se reduce, pe ansamblu, exponențial, dar pe lungimi importante ale râurilor diminuarea exponențială este serios perturbată. Râurile Trotuș și Siret prezintă chiar o creștere a dimensiunii materialului pe cea mai mare parte a lungimii lor. Singurele râuri care aplică apropiat modelul exponențial pe toată lungimea lor sunt Suceava și Moldova.

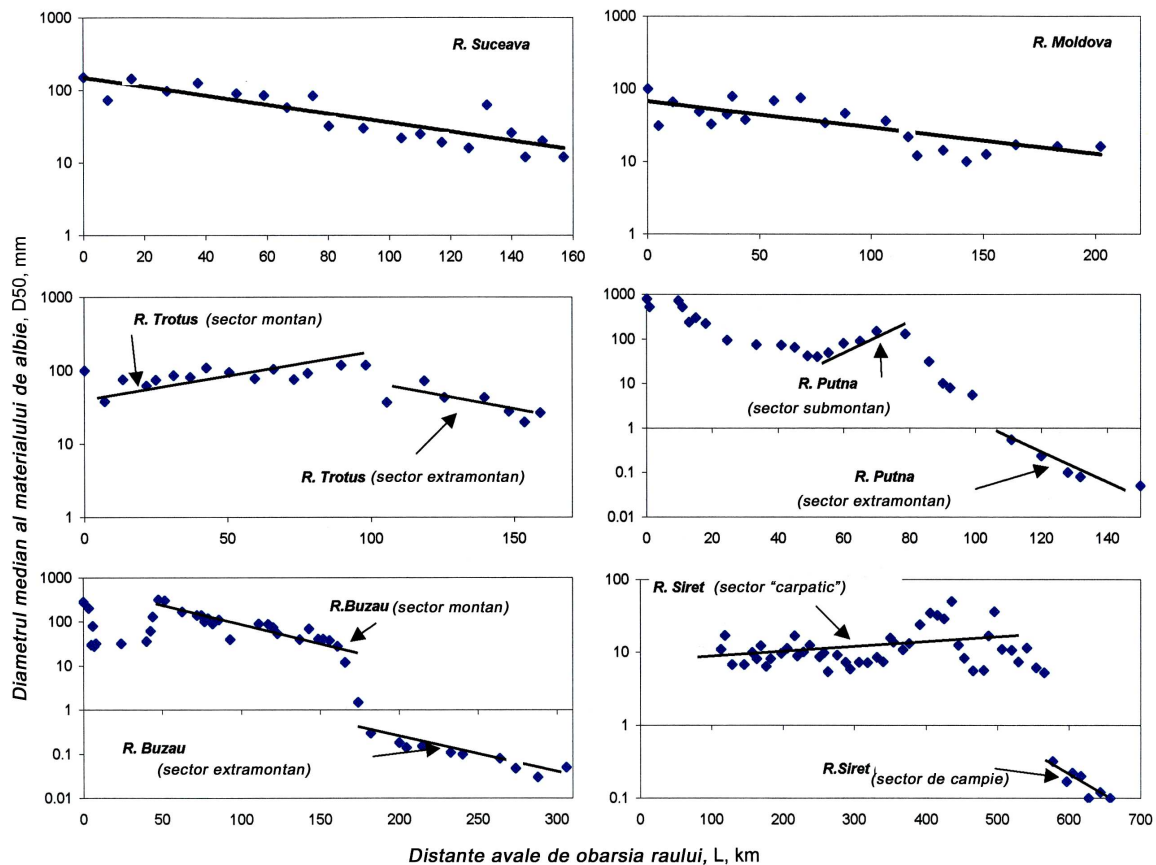


Fig. 2. Variația în lungul râurilor din bazinul hidrografic Siret a diametrului median al materialului de albie.

Cauza principală pentru care modelul Sternberg nu este verificat la celelalte patru râuri se află în contribuția tributarilor cu o masivă intrare de aluviuni în râurile respective, mult mai mare decât puterea lor de prelucrare. Fenomenul îl putem înțelege și mai bine dacă suprapunem râurile respective pe harta producției de aluviuni și a transportului de aluviuni (fig. 1). Vom constata o strânsă legătură între rata de generare cu aluviuni în bazinele secundare și în sectoarele de râu cu tendință de creștere a dimensiunii materialului de albie (“coarsening downstream”). Râurile din nordul regiunii de studiu, Suceava și Moldova, au bazine în care producția de aluviuni este mai redusă comparativ cu partea sudică a regiunii (fig. 1) și, în consecință, nici tributarii lor nu transportă mult material în suspensie și târât. Astfel, râurile colectoare reușesc să realizeze o diminuare exponențială a materialului de albie, coeficienții de “fining” fiind apropiați ca valoare pentru cele două râuri (-0.0143 km^{-1} și, respectiv, -0.0102 km^{-1}).

În schimb, la râurile din partea de sud a regiunii de studiu (Trotuș, Putna, Buzău), a căror bazine se suprapun pe areale de mare producție de aluviuni, variabilitatea dimensiunii materialelor de albie crește. Un caz reprezentativ este Trotușul în sectorul montan unde agresivitatea tributarilor asupra râului principal este așa de mare, încât fenomenul de creștere exponențială a materialului de albie se manifestă pe o lungime de peste 100 km. De asemenea, râul Putna, pe un sector mai scurt, și râul Buzăul, în sectorul de defileu. Dar cel care a stârnit o adevărată avalanșă de citări în literatura de specialitate este cazul Siretului, unde fenomenul de creștere a dimensiunii materialului de albie (deci o răsturnare a clasicului model exponențial negativ) se manifestă pe 566 km lungime, adică 80% din lungimea lui și aceasta fără ca râul să străbată o zonă montană la fel de lungă. Doar activitatea geomorfologică deosebit de viguroasă a afluenților carpați a reușit o astfel de performanță.

Observațiile în teren și simulările numerice ale “downstream fining” (Parker, 1991; Hoey and Ferguson, 1994) au atras atenția asupra faptului că o concavitate puternică a profilului longitudinal poate forța realizarea unei mai rapide diminuări a materialului de albie, ceea ce s-a confirmat și în cazul nostru (Rădoane et al., 2003).

Trecerea de la sectorul de “coarsening” la cel de « fining » se face printr-un prag sau « salt granulometric » care variază între 7 km la Trotuș, 10 km la Siret și 22 km la Buzău și, respectiv, 30 km la Putna. Distanța pe care are loc acest salt este foarte scurtă, așa cum s-a constatat și în alte situații raportate în literatură (Ashworth, Ferguson, 1989; Sambrook Smith and Ferguson, 1995; Ferguson et al., 1996), iar interesul oamenilor de știință a fost unul foarte mare în încercările de a explica acest salt (Yatsu, 1955; Ibbeken, 1983; Sambrook Smith and Ferguson, 1995; Sambrook Smith, 1996; Rice, 1998; Constantine et al., 2003; Gasparini et al., 2004) fără se se ajungă la o concluzie fermă. Cercetările au atras atenția asupra unei alte caracteristici ale depozitelor de albie și anume caracterul bimodal al distribuțiilor granulometrice ale acestora. Observațiile noastre asupra bimodalității depozitelor de albie ne-au condus la un posibil răspuns al cauzei acestui fenomen, inclusiv, asupra cauzei « saltului granulometric ».

4.2. Asupra bimodalității depozitelor de albie

Depozitele de albie ale râurilor cu pat de pietriș (fig. 3) au o caracteristică distinctă față de alte tipuri de depozite și anume, bimodalitatea, definită prin existența a două mode (vârfuri) în distribuția granulometrică, separată de o penurie de material în categoria pietrișului mărunț, respectiv, fracțiunea 1-8 mm. Există încă o largă dezbatere privind acest fenomen, sintetizată de Sambrook Smith and Ferguson (1995) și Sambrook Smith (1996) din care am reținut că nu s-a ajuns la o singură explicație unanim acceptată privind fenomenul în ansamblul lui. Autorii sintetizează trei cauze posibile, demonstrate în studii pertinente: (i) efectul nivelului de bază (care se pare are cele mai mari șanse de a fi întâlnit la un număr mai mare și variabil de râuri), (ii) intrarea laterală de

aluviuni fine (care necesită surse importante de aluviuni) și (iii)uzura materialului de albie (valabilă mai ales pentru râurile mari).

Cercetările noastre au arătat că intrarea laterală de aluviuni fine (a doua cauză în sinteza autorilor citați mai sus) este cauza principală a bimodalității distribuțiilor granulometrice ale râurilor cu pat de pietriș din bazinul Siretului. În această direcție ne-am concentrat pe răspunsurile la următoarele întrebări :

Cât de mare trebuie să fie cantitatea de nisip din albie ca să apară fenomenul de bimodalitate ?

Care este sursa nisipului din cea de a doua modă ? Este preponderent din albie (adică rezultată prin uzura particulelor mai mari) sau din bazinul versant (prin procesul de eroziune și transport)?

De ce apare o penurie de material cuprins între 1 – 8 mm ? Nu cumva această penurie nu există atâta timp cât cea de a doua modă, a nisipului, este alohtonă râului?

Așa cum am precizat mai sus, am dispus de o impresionantă bază de date ($n = 190$ pentru șase mari râuri), astfel că am putut evalua tipurile de distribuții granulometrice, distinct, pentru stratul de pavaj, stratul din subpavaj și proba globală (aceasta din urmă ca mixaj al probelor de pavaj și subpavaj), toate acestea considerate în profilul longitudinal al râurilor.

Analiza lor ne-a condus la următoarele observații:

1. Așa cum era de așteptat, probele din pavaj prezintă o modă foarte puternică axată pe clasa pietrișurilor și bolovanișurilor, iar clasa nisipurilor aproape că nu există. Stratul de aluviuni pe care albia minoră îl expune este de regulă spălat de materialul fin de sub 2 mm, respectiv nisipul, ceea ce rămâne fiind în proporție covârșitoare (90-95%) pietriș, bolovaniș și blocuri. În această situație distribuțiile sunt unimodale, cu o mare asimetrie de dreapta. În acest fel, distribuțiile probelor de pavaj sunt aproape general unimodale, cu excepția sectoarelor de tranziție de la pietriș la nisip unde, pe distanțe scurte, de 10-15 km, bimodalitatea se manifestă și în cazul probelor de pavaj. În stratul de dedesubt, nisipul începe să devină foarte sesizabil, chiar să impună o modă distinctă.

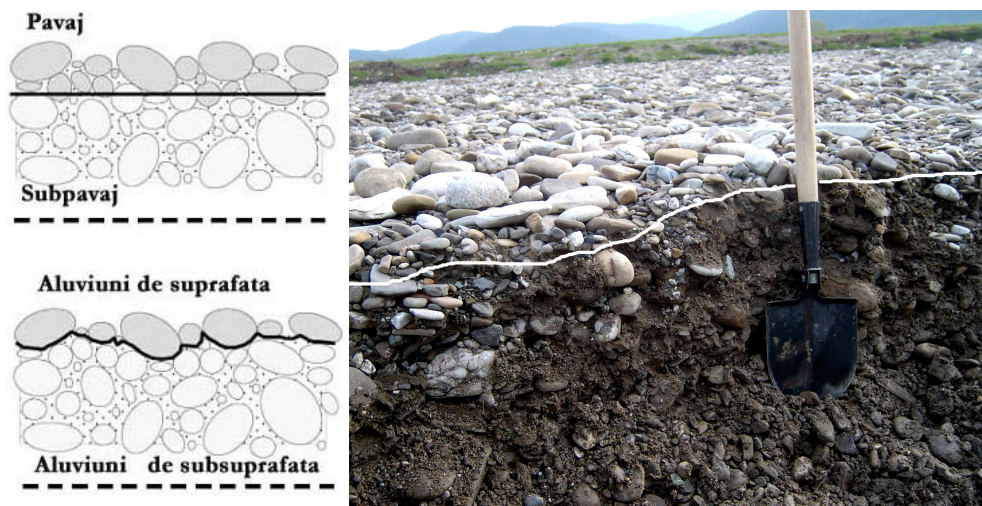


Fig. 3. Ilustrarea modului de aranjare a depozitelor de albie (foto N. Rădoane).

2. În probele de subpavaj, unde materialul fin este ceva mai abundent (între 5 – 26 %), distribuțiile tind să aibă în componența lor cea de a doua modă, cu vârful pe clasele granulometrice ale nisipului. Între cele două mode se face vizibilă, într-adevăr, o penurie de particole în intervalul 1 – 8 mm. Având în vedere eșantionarea volumetrică a materialului de albie pe care am realizat-o

pentru toate secțiunile cercetate (și care au necesitat dimensiuni ale probelor de sute de kilograme), este exclusă posibilitatea neidentificării intervalului din cauza metodelor de eșantionare.

3. Bimodalitatea se manifestă limitat la râurile carpatice, tributare Siretului, comparativ cu Siretul unde bimodalitatea este cvasigeneral întâlnită (tabel 2). Pentru aceste râuri, cu lungimi între 150 – 300 km, ne-am fi așteptat să existe o evidentă tendință de creștere a bimodalității în lungul lor așa cum s-a observat pe râuri din diverse medii fizico-geografice, cum sunt cele din Italia (Ibbeken și Schleyer, 1991), Japonia (Kodama, 1991), Canada (Shaw și Kellerhals, 1982) și Scoția (Sambrook Smith, 1996). Or, așa cum indică statistica pe totalul celor 190 probe globale (tabel 2), distribuțiile unimodale sunt dominante la toate râurile carpatice, tributare Siretului. Bimodalitatea se manifestă pe ultimii 40 km la râurile Suceava și Moldova, la Trotuș numai într-o singură secțiune. Doar la Putna și Buzău bimodalitatea s-a înregistrat pe lungimi de sub 100 km în partea mijlocie-inferioară ale râurilor.

Tabel 2. Sinteză asupra tipurilor de distribuții granulometrice ale râurilor din bazinul râului Siret, asupra ponderii materialului parental în bazinul sursă, a fracțiunii 1 – 8 mm în albie și a fracțiunii sub 1 mm (valori medii pentru întreg râul).

Râul	Toate secțiunea eșantionate (probe globale)	Distribuții unimodale	Distribuții bimodale	Material parental în bazin (roci de molasă și cuaternare) (%)	Ponderea fracțiunii 1 – 8 mm în materialul de albie (%)	Ponderea nisipului (sub 1 mm) în patul de albie (%)
Suceava	17	14	3	62.2	14	9.34
Moldova	18	7	5	20.2	17.4	9.38
Trotuș	21	20	1	24.6	6.35	5.43
Putna	16	7	9	38.9	10.24	14.27
Buzău	41	31	10	21.6	10.96	13.84
Siret	53	6	47	58.2	23.24	26.51

4. Bimodalitatea depozitelor de albie se corelează cu ponderea și potențialul morfodinamic al materialului parental care reprezintă sursa nisipului din albie. Pentru această demonstrație am apelat la harta surselor de aluviuni (fig. 1) care ne indică arealele cu potențial mai mare sau mic de eliberare a aluviunii (în t /ha/an) în bazinele tuturor râurilor cercetare.

De exemplu, bazinul râului Suceava expune pe 62,2% un material parental susceptibil pentru eliberarea de aluviuni fine, dar rata eroziunii terenurilor în această zonă este relativ redusă la sub 2 t/km²/an. În consecință, în depozitele de albie vom găsi relativ puțin nisip (9.34%) și asta înseamnă și o redusă bimodalitate a materialului de albie (doar în trei secțiuni situate în partea inferioară a râului). În cazul bazinului Moldovei, atât materialul parental, cât și rata eroziunii și transferului aluviunilor sunt relativ reduse, iar în albie, ponderea nisipului este, de asemenea, mică (9.38%). În consecință și bimodalitatea se manifestă foarte puțin. La Trotuș am înregistrat cea mai mică cantitate de nisip la probele analizate (în medie de 5.43%) și așa se face că doar o singură secțiune de albie a prezentat bimodalitate.

În schimb, în bazinele Putna și Buzău unde rata de transfer a aluviunilor fine din bazin spre râu este foarte mare, de peste 20 t/ha/an, ponderea nisipurilor ajunge la 14% în medie (în unele secțiuni acestea depășesc 30-35%), conturându-se destul de clar cea de a doua modă.

Este interesant de urmărit și ponderea fracțiunii 1 – 8 mm ca valori medii pe râurile studiate (tabel 2), din care deducem că aceste fracțiuni sunt în cantitate mai mare decât fracțiunile sub 1 mm la râurile Suceava, Moldova și Trotuș și abia la râurile Putna și Buzău raportul se inversează. Altfel spus, la trei mari râuri nu s-a identificat nici o penurie de material în clasa granulometrică atât de

mult discutată, ceea ce intrigă dacă avem în vedere constatările cvasi-afirmative ale fenomenului în literatura de specialitate. De aceea, sintetizând toate observațiile de mai sus, am conchis că :

5. Bimodalitatea are o explicație în rata transferului de aluviuni fine din aria sursă spre albia de râu. Aceste aluviuni alcătuite din nisipuri și silturi, prin volumul lor mare, copleșesc, pur și simplu, distribuțiile log-normale ale materialelor de albie existente, bine sortate și distribuite conform legii lui Sternberg. Practic, are loc o suprapunere a unei noi distribuții log-normale cu vârful axat pe nisipuri, a cărei origine se află în bazinul versant și care au ajuns în albie prin intermediul transportului în suspensie. Demonstrația acestei idei este făcută în fig. 4 prin exemplificarea distribuțiilor distincte ale pietrișurilor și ale nisipurilor la două râuri diferite. Albia râului Suceava pe toată lungimea ei de 150 km a prezentat doar trei secțiuni cu distribuție bimodală, aproape de confluența cu Siret, în rest depozitele fluviale sunt unimodale cu vârful pe clasa bolovănișurilor și a pietrișurilor. În bazin, sursa materialelor fine este foarte bogată (peste 60% din bazin ocupat de roci friabile), dar aceste materiale nu ajung în albie pentru că rata eroziunii și a transferului spre albie este redusă. Așa se face că distribuțiile granulometrice în albie nu sunt perturbate de intrări masive de aluviuni, « downstream fining » -ul se manifestă conform legităților exponențiale. Asta nu înseamnă că în albie lipsesc cu desăvârșire fracțiunile nisipoase, dar ele au o pondere care nu perturbă distribuția log-normală unimodală a materialului de albie. O situație apropiată de cea prezentată pentru Suceava s-a constatat și la Moldova și Trotuș. În schimb, în cazul râurilor Putna și Buzău, a căror bazine se află localizate pe areale cu cea mai mare rată de eroziune a terenurilor și transfer de aluviuni fine spre albiile de râu, cantitatea de nisip crește în lungul râului atât de mult încât depășește competența râurilor de a o îndepărta. Frațiunile nisipoase se stochează și prezența lor a fost evidențiată printr-o distribuție distinctă cu vârful pe 1 - 2 phi și cu o ușoară asimetrie de stânga (fig. 4).

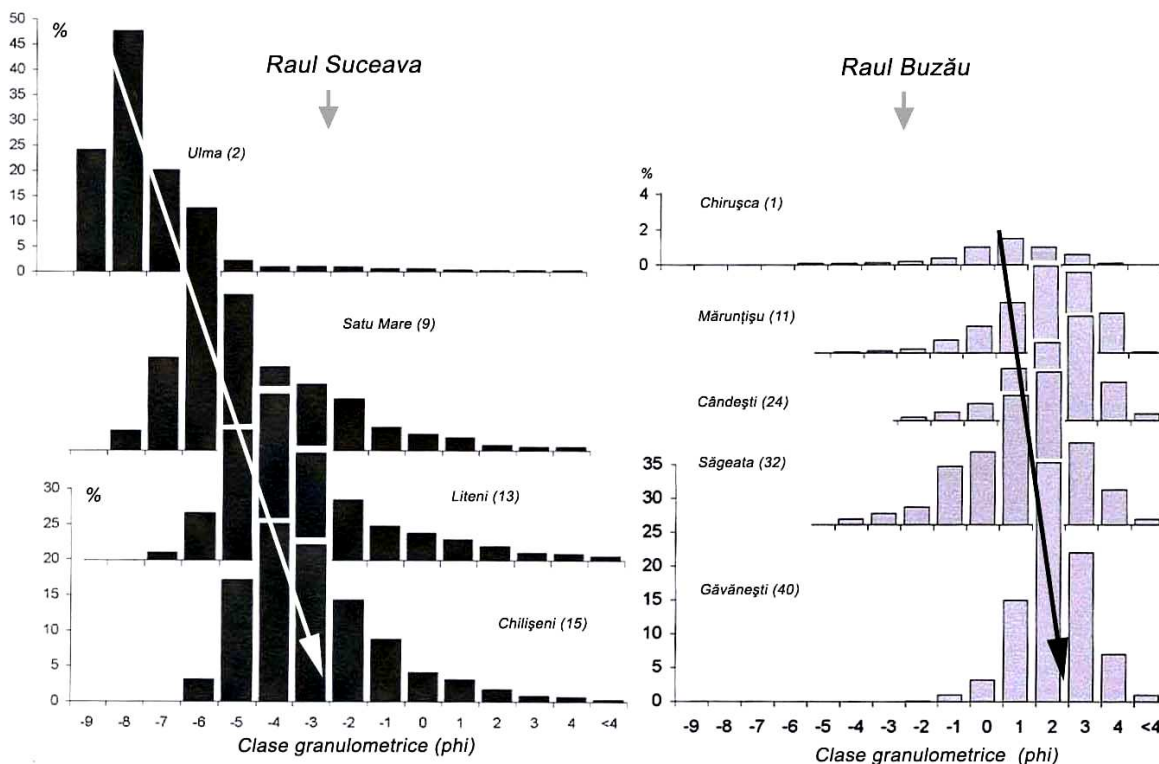


Fig. 4. Distribuția granulometrică a modei pietrișului în lungul râului Suceava (stânga). Săgeata albă indică „downstream fining”. Distribuția granulometrică a modei nisipului în lungul râului Buzău (dreapta). Săgeata neagră indică creșterea cantității de nisip.

6. Prin suprapunerea distribuțiilor unimodale ale nisipurilor provenite din bazin peste distribuțiile unimodale ale pietrișurilor prelucrate de râu prin uzură și sortare hidraulică apare bimodalitatea distribuțiilor depozitelor de albie. Situația este exemplificată pentru mai multe secțiuni în lungul râului Buzău (fig. 5). Intersectarea celor două distribuții are loc în zona fracțiunilor 1 - 8 mm, dând impresia unei penurii a acestor fracțiuni în materialul de albie. De fapt, aceste fracțiuni ar fi în cantitate mai mare decât nisipul dacă materialul parental nu ar furniza aluviuni fine în albie.

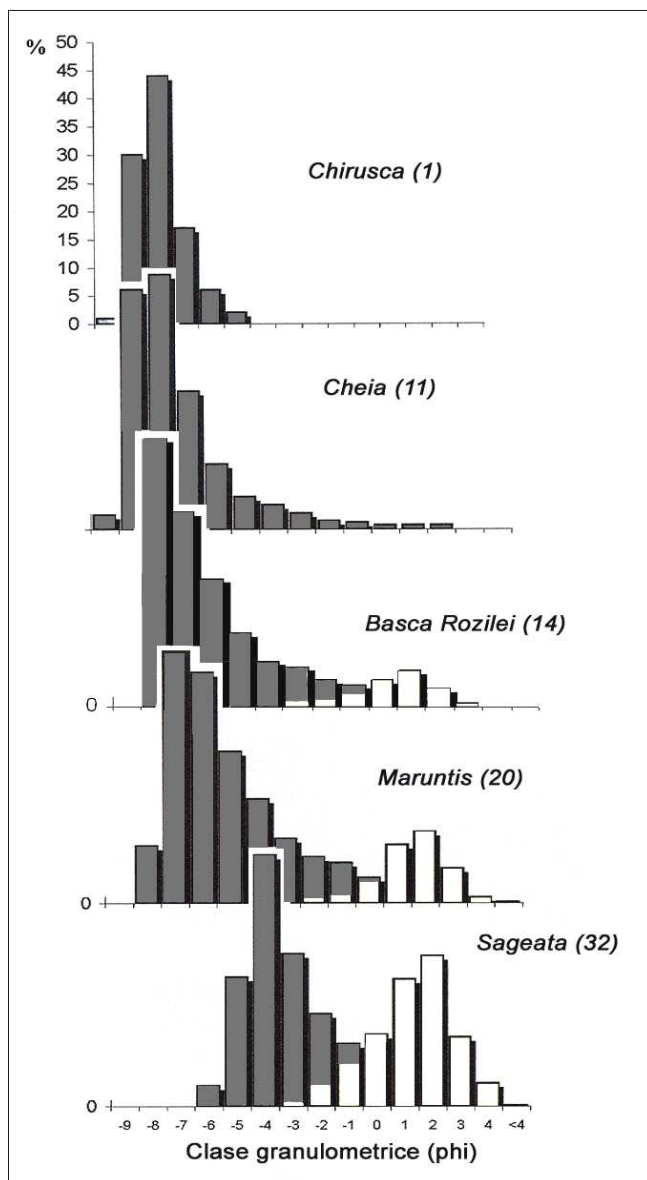


Fig. 5. Apariția bimodalității prin mixajul celor două distribuții (ale pietrișului și ale nisipului). Exemplificarea albiei r. Buzău . Numerele secțiunii de măsurare indică poziția punctelor de eșantionare de la obârșie spre gura râului.

Am lăsat la final cazul râului Siret care pe cea mai mare parte din lungimea lui manifestă o puternică bimodalitate. Raționamentul aplicat la tributarii carpatice se extinde și la Siret, cu mențiunea că moda pietrișurilor are preponderent sursa alohtonă. Dacă la afluenții carpatice moda pietrișurilor are un „downstream fining” ce le indică clar sursa autohtonă a prelucrării și ordonării lor, în cazul Siretului avem de a face cu un râu pregătit mai degrabă pentru a transporta preponderent particule fine și care a fost nevoit să facă față unei „avalanșe” de pietrișuri a căror dimensiune crește în lungul râului în conformitate cu intrările laterale. Altfel spus, pe o distribuție granulometrică relativ fină a albiei râului Siret s-a suprapus o distribuție granulometrică grosieră, alohtonă. Evident, între cele două distribuții se manifestă o scădere puternică a ponderii diametrelor cuprinse între 1 - 4 mm pentru că în acest

sector se întretaie cozile modei pietrișurilor și a modei nisipurilor.

« Legăturile sedimentare » (cf. Rice, 1998, 1999) se manifestă nu numai în ce privește « downstream fining », dar și în impunerea bimodalității. În lungul râului Siret, între două confluențe carpatice bimodalitatea materialului de albie este maximă amonte de confluență și foarte puțin sesizabilă imediat aval de confluența carpatică. Intrarea masivă de pietrișuri determină

unimodalitatea imediat avale de confluență, dar care diminuează rapid datorită unei cantități de nisip autohton foarte mare (20 – 30%) ce se face remarcant cu deosebire amonte de confluențe.

În concluzie, *bimodalitatea depozitelor fluviale este explicată în cazurile studiate de noi prin suprapunerea a două distribuții granulometrice cu origine diferită.*

Pentru râurile est-carpătice afluate Siretului (Moldova, Suceava, Trotuș, Putna, Buzău) blocurile, bolovănișurile și pietrișurile au o distribuție unimodală cu asimetrie de dreapta, cu evidentă reducere dimensională exponențială în lungul râului. Modul de prelucrare și de dispunere în lungul râului este controlat puternic de râul însuși prin binecunoscutele procese de uzură mecanică și sortare hidraulică.

La aceste râuri apare și a doua distribuție unimodală axată pe clasa nisipurilor, foarte puțin evidentă la râurile Suceava, Moldova și Trotuș și bine conturată la râurile Putna și Buzău. Sursa celei de a doua distribuții se află în cea mai mare parte în cantitatea de nisip ajunsă în albie prin eroziunea terenurilor din bazinul versant. La celelalte râuri unde furnizarea de materiale fine din bazin este redusă, nici în albie nu există prea mult nisip astfel încât să se evidențieze o a doua modă.

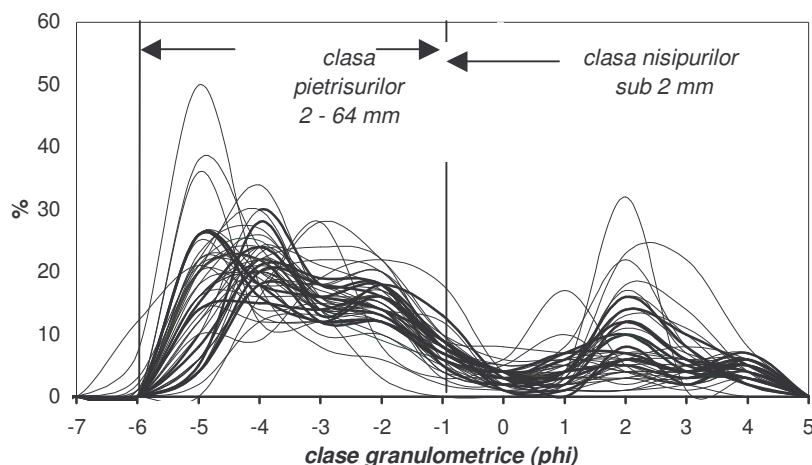


Fig. 6. Bimodalitatea depozitelor de albie ale râului Siret.

Intersecția celor două mode are loc în zona fracțiunilor cuprinse între 1 – 8 mm, unde de fapt se intersectează cozile

histogramelor cu asimetrie de dreapta (la pietrișuri) și asimetrie de stânga (la nisipuri). Probabil că, făcând apel la imaginație, un râu cu pat de pietriș care ar curge printr-o albie cu maluri din roci dure și un bazin care nu furnizează aluviuni fine, am avea o distribuție unimodală pe clasa pietrișurilor și cu o asimetrie din ce în ce mai puternică pe partea dreapta. În această coadă, fracțiunile între 1 – 8 mm ar fi în cantitate mai mare decât fracțiunile sub 1 mm, așa cum se prezintă situația la Suceava și Moldova, unde în penurie sunt nisipurile și nu pietrișul mărunț. Cu alte cuvinte este falsă ideea că fracțiunile între 1 – 8 mm (după Yatsu (1955) între 2 – 4 mm, după Ibbeken et al. (1992) între 1 – 20 mm) ar fi în penurie în depozitele de albie.

Bimodalitatea puternică a depozitelor râului Siret se explică, de asemenea, prin originea diferită a celor două distribuții care se intersectează, cu deosebire că sursa primei mode, cea a pietrișurilor, este alohtonă râului Siret, iar moda nisipurilor este proprie râului. Această distribuție cu tendință unimodală pe clasa pietrișurilor se face vizibilă mai ales aval de confluențele carpatice (fig. 6), odată cu intrarea de material grosier. *În lipsa acestor tributari carpatici, Siretul ar fi un râu cu transport preponderent de aluviuni fine.*

Tranziția de la pietriș la nisip sub forma aceluși binecunoscut « salt granulometric » identificat și de noi la râurile Buzău și Siret se explică în mod asemănător, prin sursa diferită a distribuțiilor granulometrice care, în evoluția albiilor, se suprapun, iar la intersecția lor are loc și saltul granulometric mai sus arătat. În mod evident, prin acțiunea de uzură mecanică și sortare hidraulică, râul nu își poate alimenta albia cu fracțiuni fine în cantitatea pe care am găsit-o în râurile studiate

dacă nu ar fi și o altă sursă. Iar în cazul de față sursa este dată de materialul parental susceptibil la eroziune și procesele geomorfologice responsabile de transferul aluviunilor.

Bibliografie

- Ashworth, P.J., Ferguson, R.I.(1989), *Size-selective entrainment of bed-load in gravel bed streams*. Water Res. Res., 25, 4, 627 – 634.
- Brierly, G.J., Hickin, E.J.(1985), *The downstream gradation of particle sizes in the Squamish River, British Columbia*, Earth Surf. Processes Landf. 10, 597 – 606.
- Dawson, M.(1988), *Sediment size variation in a braided reach of the Sunwapta River, Alberta, Canada*. Earth Surf. Processes Landf., 13, 599 - 618.
- Dumitriu, D.(2003), *Geomorfologia bugetului de aluviuni a bazinului râului Trotuș*. Teză de doctorat. Institutul de Geografie al Academiei Române, București.
- Ferguson, R. Hoey, T., Wathen, S., Werritty, A.(1996), *Field evidence for rapid downstream fining of river gravels through selective transport*. Geology, 24, 2, 179 – 182.
- Gasparini, N.M., Tucker, G.E., Bras, R.L.(2004), *Network-scale dynamics of grain-size sorting: implications for downstream fining, stream-profile concavity and drainage basin morphology*. Earth Surf. Processes Landf. 29, 401-532.
- Gomez, B., Rosser, B.J., Peacock, D.H., Murray Hicks, D.(2001), *Downstream fining in a rapidly aggrading gravel bed river*. Water Res.Res. 37, 6, 1813 – 1823.
- Hoey, T.B., ferguson, R.(1994), *Numerical simulation of downstream fining by selective transport in gravel bed rivers: Model development and illustration*. Water Res.Res., 30, 7, 2251 – 2260.
- Ichim, I., Rădoane, Maria (1990). *Channel sediment variability along a river: a case study of the Siret River (Romania)*. Earth Surf. Processes Landf., 15, 211 - 225.
- Ichim, I., Radoane, Maria , Radoane, N., Miclaus, C.(1995), *Carpathian gravel bed rivers in recent time – a regional approach*. Transactions, Japanese Geomorph. Union, 17-3, 135 – 157.
- Ichim, I., Rădoane, Maria , Rădoane, N., Grasu C., Miclăuș, C.(1998), *Dinamica sedimentelor. Aplicație la râul Putna – Vrancea*. Ed. Tehnica, Bucuresti, 192 p.
- Ibbeken, H.(1983), *Jointed source rock and fluvial gravel controlled by Rosin's law: a grain-size study in Calabria, South Italy*. J. of Sedimentology Petrology, 53, 4, 1213 – 1231.
- Surian, N. (2002), *Downstream variation in grain size along an Alpine River, analysis of controls and processes*. Geomorphology, 43, 137 – 149.
- Rădoane Maria, Rădoane N.(2001), *Eroziunea terenurilor și transportul de aluviuni în sistemele hidrografice Jijia și Bârlad*. Revista de Geomorfologie, București , vol. 3, 73-86.
- Rădoane, Maria , Rădoane, N., Dumitriu, D.(2003), *Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians*. Geomorphology, 50, 293 – 306.
- Rădoane, Maria , Rădoane, N.(2005), *Dams, sediment sources and reservoir silting in Romania*. Geomorphology, 71, 112-125.
- Rice, S.(1998), *Which tributaries disrupt downstream fining along gravel-bed rivers?* Geomorphology, 22, 39 – 56.
- Rice, S., Church, M. (1998), *Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial patterns and sedimentary links*. Earth Surf. Processes Landf. 23, 345 – 363.
- Rice, S.(1999), *The nature and controls on downstream fining within sedimentary link*. J. Sediment. Res. 69A, 32 – 39.
- Knighton, A. D.(1980), *Longitudinal changes in the size and sorting of stream - bed material in four English rivers*, Bulletin of the Geological Society of America, 91, 483 - 502 .
- Knighton, A.D.(1982), *Longitudinal changes in the size and shape of stream bed material evidence of variable transport conditions*. Catena, 9, 25 - 34.

- Kodama, Y.(1992), *Effect of abrasion on downstream gravel-size reduction in the Watarase River, Japan: Field work and laboratory experiments*. Environmental Res. Center Papers, 15, 88 p.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P.(1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco, W.H. Freeman.
- Mosley, N. P. and Tindale, D. S.(1985), *Sediment variability and bed material sampling in gravel - bed rivers*. Earth Surf. Processes Landf., 4, 465 - 483.
- Pizzuto, J.E.(1995), *Downstream finning in a network of gravel-bedded rivers*. Water Res.Res. 31, 3, 753-759.
- Powell, D.M.(1998), *Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers*. Progress in Physical Geography, 22, 1, 1 – 32.
- Sambrock Smith, G.H., Ferguson, R.I.(1995), *The gravel-sand transition along river channels*, J. Of Sedimentary Research, A65,2, 423 – 430.
- Sambrock Smith, G.H., Ferguson, R.I.(1996), *The gravel – sand transition: flume study of channel response to reduced slope*. Geomorphology, 16, 147 – 159.
- Sambrock Smith, G.H.(1996), *Bimodal fluvial bed sediments: origin, spatial extent and processes*. Progress in Physical Geography, 20, 4, 402 – 417.
- Shaw, J., Kellerhals, R.(1982), *The composition of recent alluvial gravels in Alberta river beds*: Alberta River Council, Bulletin 41,151 p.
- Sternberg, H.(1875), *Untersuchungen ueber laengen-und querprofil geschiebefuehrende flusse*. Zeitschrift fuer das Bauwesen, 25, 483-506.