

RĂSPUNSUL UNEI ALBII ADÂNCITE ÎN ROCI COEZIVE LA ACȚIUNEA FACTORILOR DE CONTROL NATURALI ȘI ANTROPICI

MARIA RĂDOANE, NICOLAE RĂDOANE

Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, str. Universității, 13, Suceava 722290

Cuvinte cheie: modificarea secțiunii transversale, intervenții antropice, tendințe de meandrare, râul Bârlad

Abstract: Morphological response of one alluvial channel incised in the coesive rocks to human disturbances. Almost all the alluvial rivers, either with gravel or with sand bed, have undergone important changes in the last decades. The anthropic modifications stand out as dominant control factors of the river beds in almost all the regions of Europe. Strictly connected with this common tendency, our work will assess the behaviour of a river bed deepened in fine materials and which were rectified and embanked. The river bed of Bârlad river (247 km long and with a drainage basin area of 7395 km²) was examined from the point of view of the geometry of the cross-sections, of the plane geometry and of the type of deposits from the perimeter of the river channel. The data basis obtained represented the foundation of the following problems: (i) the modification of shape of the longitudinal profile through sediments storing from the drainage system; (ii) the shape of the cross-section and the tendencies of change under the influence of the human interventions; (iii) the role of the channel deposits in the control of the channel morphology. The main conclusion of the work is that new river bed of the Barlad river, intensely rectified and embanked after 1974 – 1985 presents all the premises to develop to the initial meander shape of its trajectory. In this case, the geomorphological memory of the river (proved by the existence of some generations of meanders, among which some of the type “goose neck”) influences in a special way the establishment of this tendency.

1. INTRODUCERE

Anul 2005 a fost unul cu totul exceptional în ce privește activitatea hidrologică și geomorfologică a râurilor din România. Precipitațiile înregistrate în august 2005 au avut valori de 120-130 l/m² în decurs de 2 sau 3 ore în bazinele râurilor Aries, Mureș, Târnave, Crișuri, Someș, Jiu, Bârlad, Trotuș și Buzău (aproximativ un sfert din suprafața României de 238,391 km²). Aceste valori s-au repetat de câteva ori și au determinat realizarea unor debite pe râuri cu valori de până la 5000 m³/s (în cazul râului Siret care în mod normal are un debit mediu multianual de 190 m³/s) sau 2000 m³/s (în cazul râului Trotuș, afluent al Siretului, care realizează un debit mediu multianual de 35 m³/s). Răspunsul albiilor la aceste debite cu frecvență foarte mică a fost, cel mai adesea, prin apariția fenomenului de avulzie (râurile au spart digurile și au creat noi trasee de albie minore). Efectele puternic negative asupra vieții locuitorilor și a bunurilor lor au inclus România în rândul țărilor cu cele mai mari pierderi prin dezastre naturale în anul 2005.

Râul Bârlad asupra căruia vom face cele mai multe exemplificări a fost și el traversat de debite foarte mari, dar numeroasele intervenții antropice realizate imediat după viiturile catastrofale din 1970 s-au dovedit bine calibrate și benefice în controlul inundațiilor din august 2005. Activitatea geomorfologică deosebit de intensă pe râurile din România în acest an meteorologic excepțional a fost unul din motivele ce ne-au determinat să explorăm modul cum un râu adâncit în depozite coezive a răspuns de-a lungul timpului la diferite tipuri de factori de control, naturali sau antropici.

Și pentru alte regiuni europene se manifestă un interes și o preocupare accentuate din partea cercetătorilor pentru a evalua tipul și rata modificărilor istorice ale albiilor de râu (Petts et al., 1989 ; Liebault și Piegay, 2002; Surian, 2002 ; Kondolf et al., 2002 ; Rinaldi, 2003). Mai multe studii au arătat tendințe similare ale modificărilor albiilor de râu pentru o perioadă istorică ce se desfășoară până la începutul secolului al XIX-lea. Tendințele observate se caracterizează prin procese de agradare ce afectează diferite componente ale sistemului fluvial (albia minoră, albia majoră, zonele terminale precum deltele). Acestea au fost urmate de o inversare a tendințelor agradaționale în timpul

secolului XX, ca urmare a diferitelor tipuri de intervenții antropice. Adâncirea și îngustarea albiilor a fost observată în multe zone din Franța (Liebault și Piegay, 2002) și Italia (Rinaldi, 2003), atât în cazul râurilor cu pat de pietriș, precum și a râurilor mici din zona montană. Cea mai mare rată de adâncire a albiilor s-a înregistrat în perioada 1950 – 1970. Îngustarea albiei s-a datorat clar unei intervenții umane, atât în bazin, cât și în lungul albiilor majore. Geometria albiei se poate ajusta în timp la schimbările care afectează direct rata transportului de apă și aluviuni și se poate ajusta și la schimbările în tipul și densitatea vegetației din maluri și albia majoră. Efectele schimbării vegetației asupra formei albiei au inclus atât lărgirea albiei după îndepărtarea vegetației, cât și îngustarea albiei după dezvoltarea vegetației în zona malurilor (Graf, 1979; Liebault și Piegay, 2002; Rinaldi, 2003). O altă categorie importantă a fost documentarea asupra răspunsului proceselor de albie la acțiunea lucrărilor ingineresti și de regularizare a albiilor (Petts, 1977; Knighton, 1989; Surian, 1999).

În strânsă relație cu această situație generală ne propunem să evaluăm comportarea unei albie de râu supusă regularizării pe care am monitorizat-o complex sub aspectul geometriei și a tipului de depozite din perimetrul albiei. Ca geomorfologi, am abordat această problemă în contextul identificării unor particularități de evoluție a râului Bârlad, a relațiilor dintre variabilitatea depozitelor de albie și unii factori de control specifici acestei regiuni din punct de vedere morfogenetic. O importantă parte a observațiilor efectuate de noi au fost deja publicate (Rădoane, Rădoane, 2003).

În această lucrare interesul nostru este îndreptat spre investigarea răspunsului unei albie cu pat nisipos și maluri în care domină materialele fine, nisipo-prăfoase, la acțiunea unor intervenții antropice (de tipul îndiguirilor și rectificărilor de albie) cu efect pozitiv la apărarea terenurilor împotriva marilor inundații din iulie 1991 sau august 2005. În plus, am fost atrași spre cercetarea unui tip de albie diferit de acela pe care se bazează experiența noastră, respectiv, cercetarea albiilor cu pat de pietriș (Ichim și Rădoane, 1991; Rădoane et al., 1992; Rădoane et al., 2003).

2. ZONA DE STUDIU ȘI METODA DE LUCRU

Râul Bârlad are 247 km lungime și un bazin cu o suprafață de 7395 km². El se află situat în partea de est a României, fiind afluent pe partea stângă a Siretului (fig. 1). Roca de bază pe care se suprapune bazinul este formată din orizonturile litoral-neritice ale sarmațianului mediu și superior, respectiv Basarabian și Kersonian, care ocupă jumătatea nordică a bazinului și se caracterizează prin dominarea nisipurilor, argilelor și marnelor argiloase, orizonturi de calcare oolitice. În partea mijlocie a bazinului are loc o trecere de la Kersonian la Meoșian, fără o diferențiere litologică distinctă. Predomină în continuare nisipurile, argilele și cineritele andezitice. Înclinarea generală a stratelor sedimentare de vârsă sarmațiană este 5 – 8 m/1000 m pe direcția NV – SE, fenomen care a favorizat dezvoltarea formelor de relief asimetrice de tipul cuestelor (fig.1). Partea sudică a bazinului este ocupată de depozitele în general nisipoase ale Pontian-Dacianului și Romanianului peste care se suprapun nisipuri, pietrișuri și depozitele loessoide de vârstă cuaternară. De concluzionat pentru caracterizarea faciesului depozitelor de albie este că alcătuirea litologică a bazinului sursă de aluviuni nu impune mari diferențieri, rocile dominante fiind nisipurile și argilele.

Din punct de vedere hidrologic, râul Bârlad este prezentat ca având caracter torențial (Ujvari, 1972), peste 70% din debitele anuale realizându-se în anotimpurile de primăvară și vară. Debitul mediu anual al râului este de 9,01 m³/s la stația hidrometrică Tecuci, 3,37 m³/s la stația Bârlad și de 2,37 m³/s la stația hidrometrică Vaslui. Odată la 3 – 5 ani râul își iese din matcă, inundând întreaga albie majoră, fenomen care a fost diminuat odată cu lucrările de îndiguire și de canalizare din anii '70 - '80.

Relieful aparține unității Podișului Central Moldovenesc cu o distribuție altimetrică între 561 m în partea mijlocie-superioară a bazinului și 11 m la închiderea bazinului. Formele de relief dominante sunt văile consecvente și văile subsecvente. Acestea din urmă au un profil transversal asimetric, dominante de un versant mai înclinat al frunților de cueste. Evoluția utilizării terenurilor pentru ultimele două secole, arată că în această regiune aria pădurilor s-a redus de la 75% la 25%, iar în prezent acestea reprezintă doar 15% (Băcăuanu et al., 1980). În prezent, dominanța o dau folosințele agricole în care se menține, încă, exploatarea nerațională a terenurilor de pășunat. Eroziunea efectivă a versanților în condițiile Podișului Moldovei variază între 2380 t/km²/an – 4000 t/km²/an pentru teren

nud, iar dacă se adaugă volumul eroziunii în adâncime și volumul dislocat prin alunecări de teren, eroziunea brută a versanților (*gross erosion*) poate depăși $8000 \text{ t/km}^2/\text{an}$.

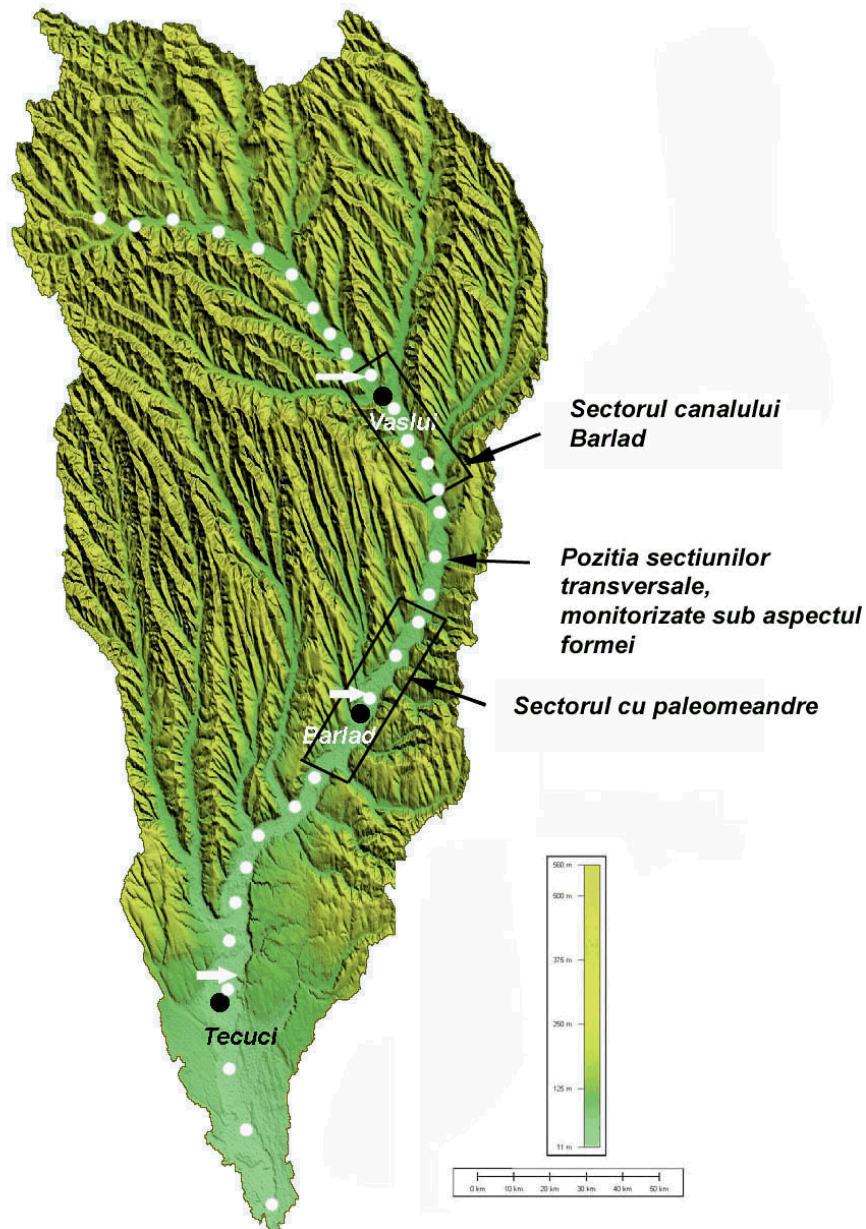


Fig. 1. Harta hipsometrică a bazinului râului Bârlad și evidențierea sectoarelor de detaliere a cercetărilor.
Hipsometrical map of the Bârlad drainage basin and the position of sampling sectors.

Albia minoră a râului Bârlad a fost monitorizată pe timp lung în patru secțiuni transversale: Vaslui I, Vaslui II, Bârlad și Tecuci (indicate de săgețile albe pe fig. 1). Secțiunea Vaslui I se află într-un sector de albie naturală, sinuoasă. Monitorizarea albiei s-a realizat până în 1973, după care mira a fost mutată pe noul curs (Vaslui II), un canal cu traseu rectiliniu, amenajat în depozite de luncă, cu maluri pereate. Aici are o lățime de 12 m și o adâncime medie de 2,5 m. Debitul mediu anual a fost de $2,37 \text{ m}^3/\text{s}$, iar debitul de formare a albiei a fost evaluat la aproximativ $45 \text{ m}^3/\text{s}$ cu o perioadă de repetare de 1,4 ani. Secțiunea transversală Bârlad are o lățime medie de 64 m și o adâncime medie de 2,40 m. Debitul de formare a albiei este de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ cu o perioadă de repetare de 1,6 ani, iar debitul mediu multianual este de $3,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Secțiunea Tecuci este amplasată pe un sector de albie larg sinuoasă, cu malurile pereate; are o lățime de 45 m și o adâncime medie de 3,5 m. Debitul de formare a albiei este de circa $80 \text{ m}^3/\text{s}$, cu o perioadă de repetare de 1,5 ani, iar debitul mediu multianual este $9,01 \text{ m}^3/\text{s}$.

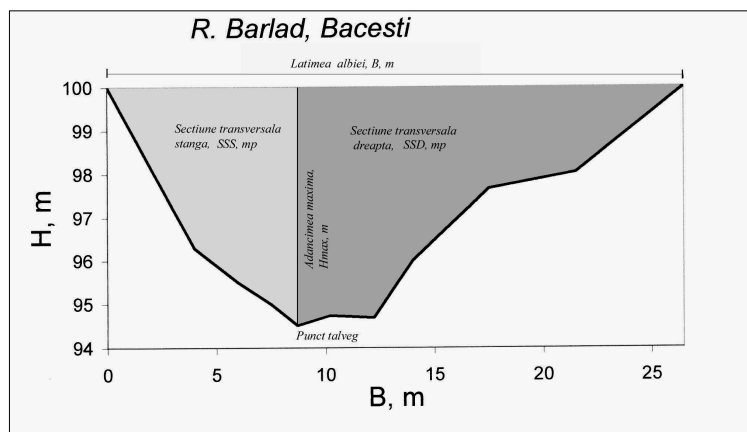


Fig. 2. Model pentru determinarea variabilelor morfometrice ale secțiunii transversale.
A model for determining the morphometric variables of the cross section.

Forma secțiunii transversale a fost monitorizată de-a lungul a 30 de puncte în lungul râului la o distanță de 5 – 8 km unul de altul (fig. 1). După realizarea expresiei grafice a secțiunii transversale, s-au realizat o serie de măsurători morfometrice, așa cum se arată în fig. 2. Variabilele morfometrice determinate au fost următoarele: distanța de la obârșie în lungul râului Bârlad, L , km; suprafața bazinului hidrografic amonte de secțiunea de măsurare, A , km²; lățimea albiei, B , m; adâncimea maximă, D_{max} , m; adâncimea medie, D_{med} , m; raza hidraulică, Rh , m; suprafața secțiunii transversale, SA , m²; panta albiei, S , m km⁻¹; suprafața secțiunii mal drept, RCS , m²; suprafața secțiunii mal stâng, LCS , m². Pentru măsurarea gradului de asimetrie (AS) a secțiunii transversale am folosit formula lui Knighton (1982) și anume :

$$AI = (RCS - LCS)/SA$$

Baza de date astfel obținută a fost prelucrată după metode statistice pentru a putea extrage cele mai pertinente corelații, interdependențe și tendințe în lungul râului.

3. FORMA SECȚIUNII TRANSVERSALE ȘI TENDINȚELE DE MODIFICARE SUB INFLUENȚA INTERVENȚIILOR ANTROPICE

Albia râului Bârlad este adâncită în depozite relativ fine și reflectă tipul de debit solid transportat de râu, respectiv, aluviuni în suspensie. Cercetările hidraulice și geomorfologice au arătat că secțiunea transversală a albiei minore are o formă stabilă care poate fi identificată cu ajutorul unui așa-numit „coeficient de formă”, calculat ca relație între suprafața secțiunii albiei și suprafața unei forme geometrice (parabolă, dreptunghi, trapez) în care se înscrie secțiunea respectivă (cf. Lane, 1935). Cercetările pe o mare populație de secțiuni de albie au evidențiat cca două tipuri de forme cu o mare stabilitate: *forma parabolică largă* pentru albiile cu perimetrul din nisipuri omogene necoezive, factorul formă calculat ca raport între suprafața secțiunii transversale și suprafața secțiunii unei parabole a fost determinat ca având valori între 0,5 - 1; *forma rectangulară, trapezoidală* pentru albiile cu perimetrul din depozite argilo-prăfoase cu mare coezivitate. Variația factorului formă, calculat ca raport între suprafața secțiunii transversale și suprafața secțiunii unui trapez sau dreptunghi înscris secțiunii, este între 0,5 - 0,9, dar poate ajunge și la 1,0 (cazul albiilor unor râuri din India).

Pentru albia râului Bârlad, forma secțiunii transversale, așa cum a rezultat din măsurătorile proprii, este în general trapezoidală, o caracteristică a albiilor adâncite în materiale argilo-prăfoase coezive. Pe numeroase sectoare, mai ales în partea mijlocie-inferioară a râului, secțiunea transversală este modificată antropic în timpul amenajărilor și rectificărilor din anii 1975-1980. Coeficientul de formă a secțiunilor în lungul râului Bârlad, calculat ca relație între suprafața secțiunii albiei și suprafața unui trapez înscris secțiunii, a înregistrat valori între 0,56 și 0,98.

Am fost preocupați să urmărim dacă forma secțiunii transversale în condițiile de mai sus este stabilă în timp și care anume porțiune din perimetru este cea mai afectată. Pentru aceasta am folosit înregistrările la postul hidrometric Bârlad timp de zece ani, analizând 600 de poziții ale secțiunii (fig. 3). Coeficientul de formă mediu pentru această secțiune a fost de 0,81, variind între 0,76 și 0,98. Deformarea secțiunii s-a datorat unui accentuat proces de agradare, care a determinat supraînălțarea

patului. Datorită coezivității malurilor, secțiunea transversală nu a avut de suferit prea mult în ce privește lățimea ei, modificările cele mai spectaculoase au avut loc la nivelul patului albiei. Astfel, în 1969 adâncimea maximă a albiei în secțiunea postului hidrometric era de 1.8 m, în 1971 s-a redus la 1.5 m, în 1975 la 0,8 m iar în 1979 a ajuns la 0,5 m, punând în pericol stabilitatea secțiunii pentru măsurătorile hidrometrice curente. La originea procesului a stat o schimbare bruscă în rata debitului solid (datorită modificărilor în tipurile de utilizare a terenurilor din bazin) în relație cu debitul lichid.

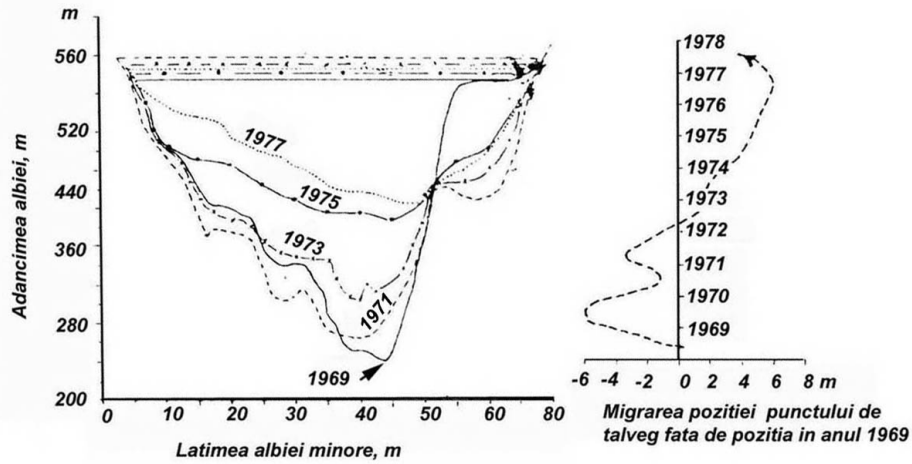


Fig. 3. Modificarea secțiunii transversale a albiei râului Bârlad, p.h. Bârlad.
Changes of the Barlad river bed cross section at the Barlad gage station.

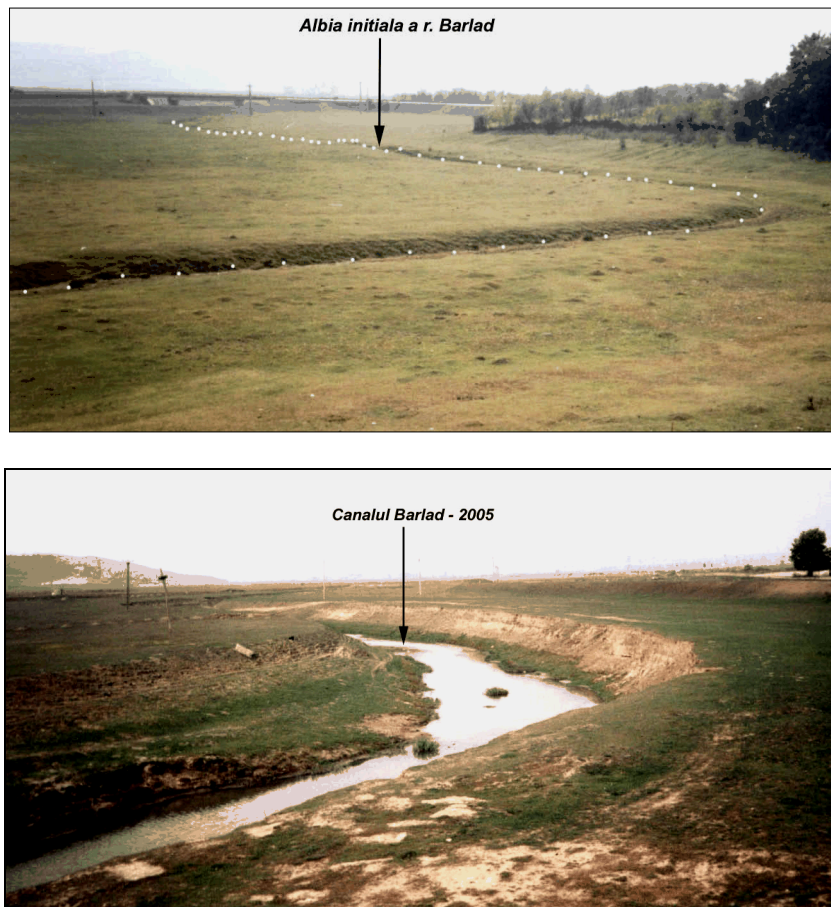


Fig. 4. Albia râului Bârlad la Bârlad. Situația inițială, înainte de rectificarea (sus) și situația actuală (jos).
Barlad river channel before the channel cutting (up) and present situation in the Barlad cross section (down).

Debitul de aluviuni în suspensie a înregistrat o creștere de la 9,6 kg/s în 1969 la peste 120 kg/s în 1972-1975, timp în care rata scurgerii lichide a scăzut în permanență datorită folosirii apelor în irigații. Perioada de precipitații abundente din 1969-1970 a declanșat eliberarea unei mari cantități de aluviuni din bazinul versant. În această situație, o mare parte din aluviunile care au intrat în secțiune a fost stocată, întrucât scurgerea lichidă a fost lipsită de competență pentru a o prelua integral. După 1980 monitorizarea albiei râului Bârlad în această secțiune a încetat din cauza tăierii unei alte albiei, rectificate. În prezent, traseul albiei naturale a râului Bârlad în secțiunea Bârlad abia se mai poate urmări pe albia majoră, fiind aproape în totalitate colmatată (fig. 4 sus); noua secțiune a albiei canalizată și îndiguită preia în întregime scurgerea lichidă din amonte (fig. 4 jos)

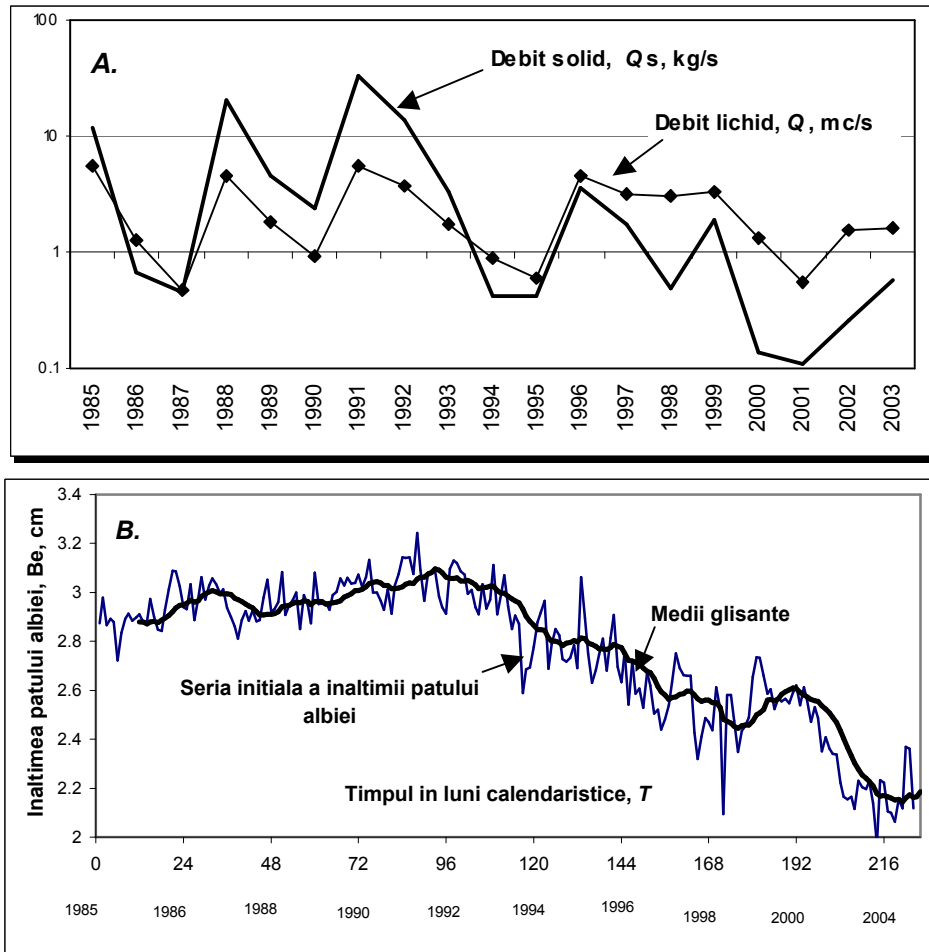


Fig. 5. A. Variația debitului lichid și a celui solid în suspensie la postul hidrometric Vaslui. B. Înălțimea patului albiei râului Bârlad la postul hidrometric Vaslui (nr.10) între 1985-2004.

A. *Streamflow and sediment transport variation in the Vaslui cross section (nr. 10 in fig. 1) between 1985-2004.*

B. *Channel Bed elevation of the Bârlad river channel to the Vaslui cross section (nr. 10) between 1985-2004.*

Începând cu anul 1974 monitorizarea albiei s-a mutat la postul hidrometric Vaslui II, pe noua albie creată. Lucrările de rectificare a albiei au avansat din amonte spre avale, canalul Bârlad (Rediu-Paiu) fiind finalizat în 1978. În această nouă albie, înregistrările privind oscilația patului albiei arată o variație destul de accentuată pe un trend negativ (mai ales după 1991).

Analizând poziția înălțimii patului albiei ca serie de timp am putut separa două faze distincte (fig.5B): până în 1991 s-a evidențiat o cvasi-stabilitate sau mai degrabă o agradaire a albiei în jurul a 20–30 cm; după 1991, patul albiei s-a adâncit continuu cu peste 1 m.

Care fenomen anume a declanșat aceasta comportare a albiei? Răspunsul trebuie să îl căutăm în suma de factori care au concurat la realizarea acestui prag în variația patului albiei. Factorii cei mai

importanți și cei mai sensibili la înregistrarea efectelor din bazin sunt debitul lichid și debitul solid în suspensie ce au tranzitat secțiunea de albie în perioada monitorizată (fig. 5A).

Astfel, observăm că în perioada studiată, debitul lichid a avut o variație constantă în jurul a 2 – 3 mc/s, pe un trend ușor negativ. În schimb, în ce privește cantitatea de aluviuni ce a traversat secțiunea Vaslui II variabilitatea a fost mult mai accentuată. A crescut până în 1991 la valori medii anuale de 33 kg/s, după care aluviunile în suspensie s-au micșorat la 0,5 kg/s media anuală în 2003. Putem conchide astfel, ca mărirea debitului de aluviuni ce a tranzitat secțiunea Vaslui II a avut răspuns direct în comportarea patului albiei: reducerea drastică în transportul de aluviuni după 1991 s-a repercutat direct în instalarea tendinței de adâncire a albiei.

Diminuarea transportului de aluviuni a fost în relație directă cu intervenția antropică în bazinul versant și mai ales în lungul râului Bârlad. Anul 1991 a avut o activitate hidrologică excepțională, dar a fost și perioada când lucrările de rectificare și îndiguire erau terminate și încep să devină eficiente în controlul tranzitului de aluviuni spre albie. Din păcate, înregistrările hidrologice ale anilor 2005 și 2006, ani cu totul excepționali pentru România, nu au fost prelucrate la această dată ca să putem evalua concret modul cum intervențiile antropice au influențat traversarea unora dintre cele mai mari debite lichide înregistrate în ultimii 100 de ani. Cert este că în lungul râului Bârlad nu au fost înregistrate pagube, distrugerii, dezastre ca în cazul altor râuri, precum Trotuș sau Siret.

O caracteristică obișnuită a albiilor râurilor naturale este tendința de a prezenta o secțiune transversală cu grade diferite de asimetrie și aceasta nu numai pentru sectoarele de albiu meandrate. Chiar dacă în plan albia unui râu prezintă un traseu rectiliniar, patul albiei prezintă o linie a talvegului sinuoasă, situație amplu documentată în literatură, inclusiv în studiile noastre anterioare.

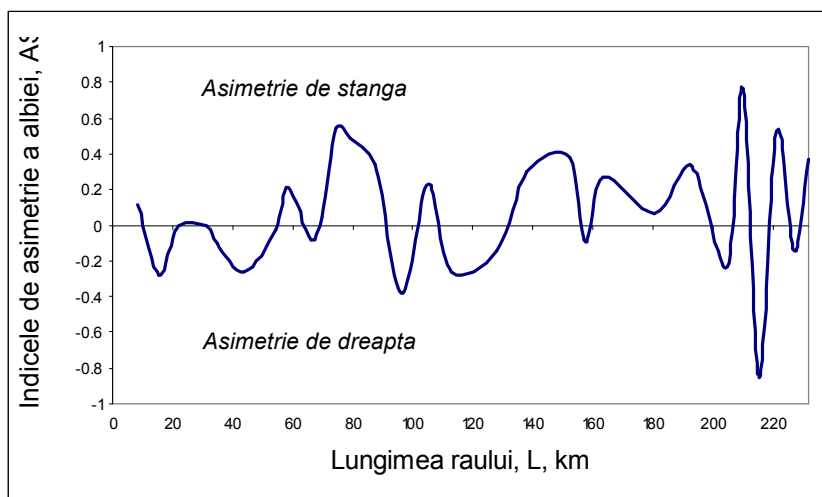


Fig. 6. Variația indicelui de asimetrie a secțiunii transversale în lungul râului. *Variation of the cross section asymmetry index along the river.*

Cu ajutorul analizei spectrale s-a demonstrat că asimetria secțiunii transversale are o comportare oscilatorie în lungul albiilor naturale nesupuse constrângerilor de natură litologică (Richards, 1982). Am verificat această tendință la albia rectificată a râului Bârlad pentru cele 30 de secțiuni transversale monitorizate de noi. Măsurătorile realizate după metoda Knighton (1982) au condus la reprezentarea grafică din fig. 6, care arată pendularea poziției talvegului canalului Bârlad, spre stânga sau spre dreapta, în tot lungul râului. Cu cât lungimea râului crește, amplitudinea oscilațiilor crește și ea, efect direct al mării debitului de formare a albiei. Cauza pentru care se dezvoltă asimetria secțiunilor transversale este în legătură cu circulația secundară a curgerii, a cărei accelerare și decelerare locală poate produce schimbări în forma albiei (Yalin, 1971; Richards, 1976). Astfel, răspunsul albiei modificate a râului Bârlad a fost aproape imediat la acest proces (la 1 – 4 ani de la rectificare).

Tendențele constatate în asimetria secțiunii transversale sunt în relație directă cu morfologia patului albiei. Observația am verificat-o asupra canalului săpat în albia majoră (alcătuită din nisipuri fine și prafuri) a Bârladului pe o lungime de 12 km și care a devenit noua albă a râului după 1974 (fig. 7). Canalul avea inițial o lățime de 6 m și o adâncime medie de 1,5 m. Albia nou creată a ocolit un sector puternic meandrat (coeficient de sinuozitate de peste 3) și mlăștinos al râului între localitățile Rediu și Crasna (în fig. 1 sectorul este marcat).

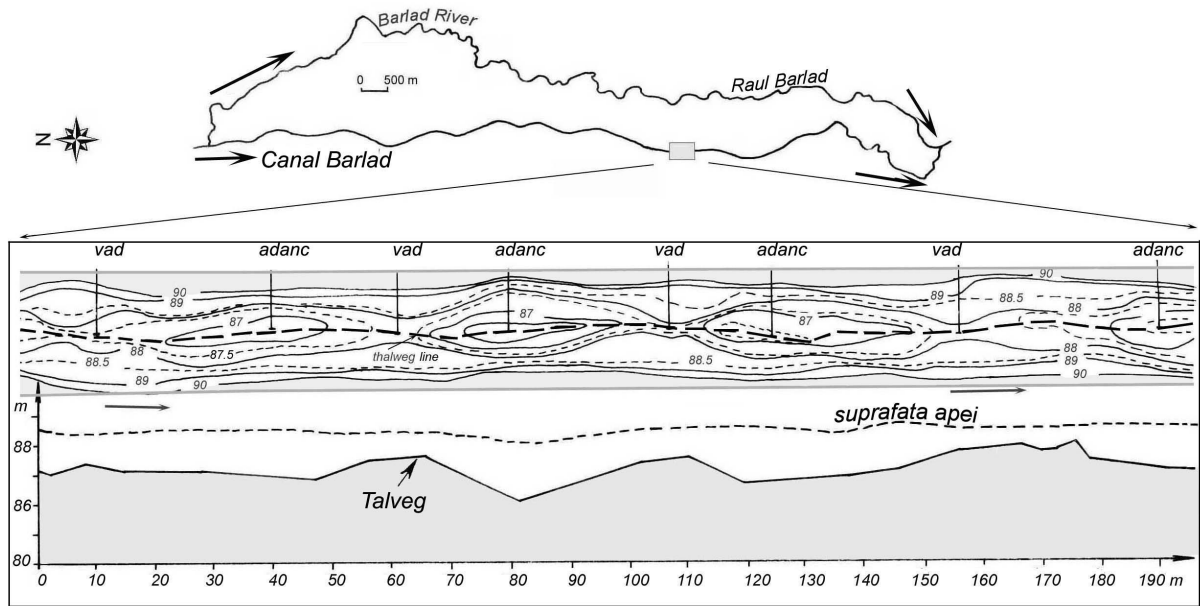


Fig. 7. Morfologie de vaduri și adâncuri instalată la patru ani de la darea în folosință a canalului Bârlad.
Morphology of riffles – pools installed after 4 years since Barlad channel cutting.

Măsurătorile batimetrice ale canalului realizate după 4 ani de la darea în folosință au identificat o alternanță foarte riguroasă de adâncuri și vaduri: segmentele corespunzătoare vadurilor sunt mai largi (până la 14 -16 m) și simetrice, iar cele în care se află adâncurile sunt mai înguste (10 – 11 m) și asimetrice. Față de vaduri, adâncurile coboară cu 60 – 100 cm; ele se remarcă printr-un profil longitudinal asimetric, cu o lungime mai mică și înclinare mai mare (2.2%) a flancului amonte și o lungime mai mare și o înclinare mai mică (1.6 %) a flancului aval de punctul de maximă adâncime. După cum se poate observa, spațierea vadurilor și adâncurilor este aproximativ de 40 – 50 m, adică de 5 – 7 ori lățimea albiei (Leopold et al., 1964). Această morfologie s-a format în roca in situ a albiei majore, fără să existe, la acea dată, material aluvial mobil. Fenomenul nu poate fi caracterizat decât prin termenul de « meandrare verticală » așa cum a fost definit de Keller și Melhorn (1978) și care, în concepția autorilor citați, precede meandrarea orizontală a albiei. Pe această bază putem deduce că albia canalizată a Bârladului are toate șansele să se transforme în albie meandrată, apropiată de condițiile de evoluție a albiei naturale a râului.

Încurajați de aceste prime observații asupra comportării unei albie la foarte puțin timp de la amenajarea ei, am extins măsurătorile asupra unei porțiuni de canal și mai lungi, de aproape 10 km, așa cum se ilustrează în fig. 8. De aceasta dată am fost interesați să aflăm dacă chiar din prima etapă de evoluție a canalului au existat tendințe evidente privind instalarea fenomenului de meandrare orizontală.

Pentru aceasta am monitorizat malurile canalului, folosind metoda secțiunilor transversale, distanțate la aproximativ 100 m una de alta. În fiecare secțiune am măsurat înălțimea malurilor, lățimea retragerii, compoziția litologică a depozitelor din mal și, în final, am calculat volumul de material erodat. Am constatat astfel că la 4 ani de la punerea în funcțiune a canalului nu numai patul albiei a răpsuns imediat la acțiunea scurgerii în secțiune, dar și malurile au înregistrat intense fenomene de retragere. Volumul de material erodat a variat de la valori foarte aproape de 0 până la valori de peste 4 m³/m.

Datele astfel obținute au fost reprezentate grafic funcție de lungimea canalului (fig. 8), iar rezultatul confirmă ipoteza că nu numai patul albiei a manifestat o puternică « meandrare verticală », ci a început să fie evidentă și o meandrare orizontală. Procesul de eroziune laterală cuantificat prin volumul depozitelor erodate arată o alternanță în lungul canalului, ceea ce sugerează foarte clar inițierea meandrării.

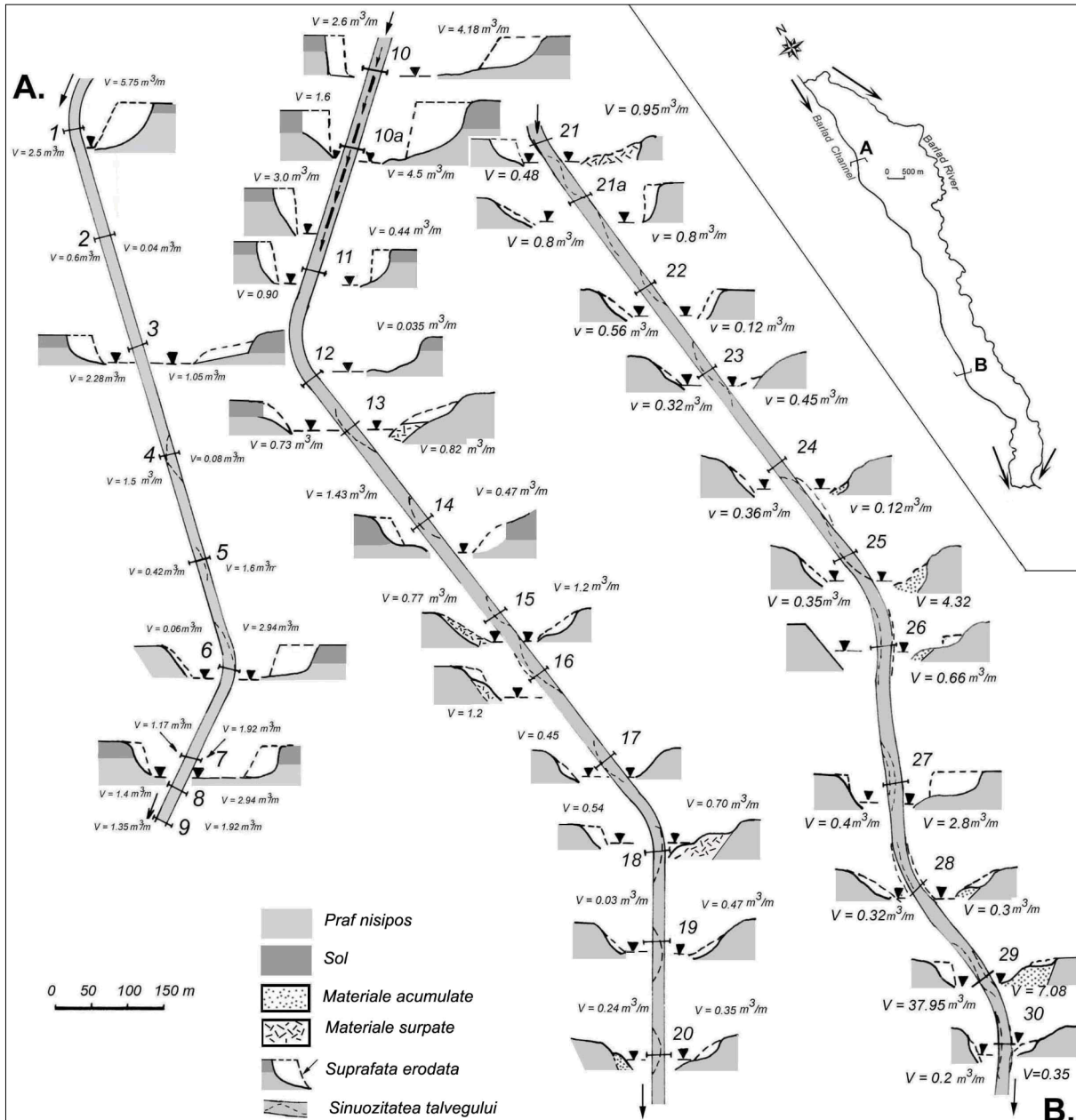


Fig. 8. Eroziunea laterală a canalului Bârlad măsurată pe secțiuni transversale la 4 ani după începerea funcționării canalului (A →B). *Lateral erosion of the Barlad channel measured after 4 years since channel cutting.*

Investigarea morfologiei canalului în anul 2005 a arătat o încetinire a proceselor fluviale de modelare a secțiunii transversale și o tendință de stabilizare de malurilor (fig. 9). Imaginile surprinse în 1978 arată o albie în plină transformare, persoana cu stadia indică diferența între adâncimea vadului și adâncimea adâncului. De asemenea, malurile canalului arată intense procese de eroziune laterală. Imaginile luate aproximativ în același sector al canalului, dar după 30 de ani de funcționare, arată că în patul albiei au apărut aluviuni mobile care tind să formeze ostroave mediale, că malurile sunt relativ fixate, dar albia în ansamblu manifestă un traseu sinuos bine conturat.

Într-o altă serie de imagini transformarea albiei este și mai spectaculoasă (fig. 10). În 1978 canalul prezenta o succesiune clară de vad-adâncuri în lungul unei albiei rectilinii. În anul 2005, aceeași albie prezintă de această dată un talveg sinuos, chiar meandrat.

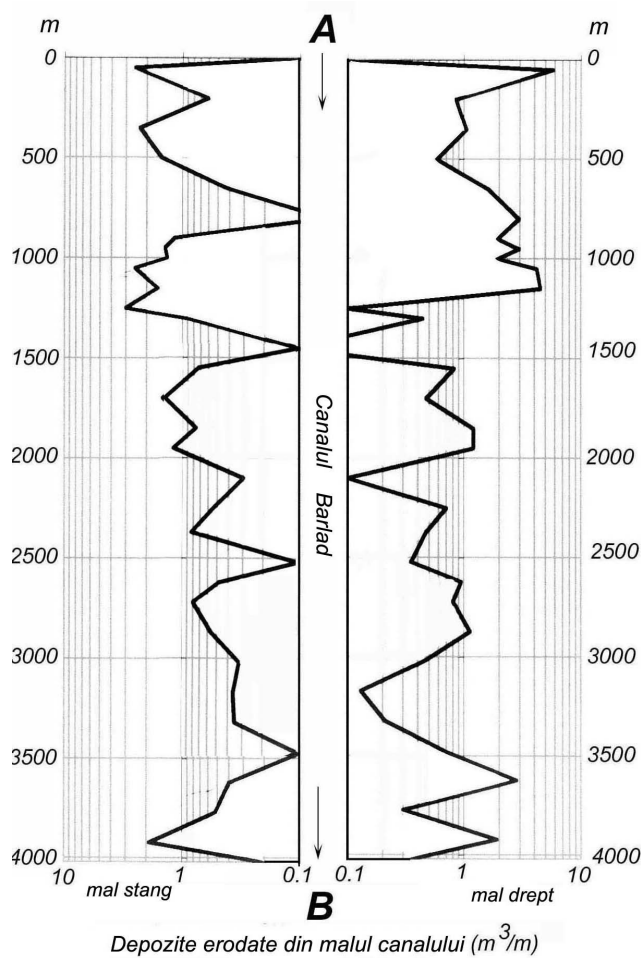


Fig. 8. Variația volumelor de depozite erodate din malurile canalului Bârlad din care rezultă inițierea fenomenului de meandrare. *Scoured deposits variation along the Barlad channel shows the initialization of channel meandering.*

4. DISCUȚII ȘI CONCLUZII

Fenomenul discutat de noi nu este decât o ilustrare a manierei de răspuns a sistemului geomorfologic la schimbarea factorilor de control și care a fost ilustrată sugestiv de Graf (1977) prin definirea timpului de reacție, a timpului de relaxare și a timpului staționar. Canalul Bârlad a reacționat puternic în primii ani de la săpare, ajustându-și morfologia într-un ritm accelerat. Odată cu parcurgerea timpului de relaxare, procesele și formele de albie s-au ajustat astfel încât s-a ajuns la o anumită « staționaritate » a tipului de albie. Este posibil ca acest tip de albie să fie supus în continuare altor constrângeri, cum ar fi diminuarea transportului de aluviuni și tendința de adâncire a patului de albie (dacă se continuă tendințele observate în fig. 5 A și B). Fenomenul de adâncire și îngustare a albiilor este larg raportat la numeroase râuri europene (din sud-estul Franței cf. Liebault și Piegay (2002) sau din Toscana cf. Surian (2002)). Răspunsul la acești factori poate să reprezinte o nouă manifestare de prag geomorfologic și poate declanșa o nouă ajustare a albiei canalului. De altfel, albia râului Bârlad a cunoscut o succesiune de praguri geomorfologice, efectul acestora fiind încă bine imprimat în morfologia moștenită a albiei majore.



Fig. 9. Canalul Bârlad în 1978. Secvență de vad-adânc la 4 ani după tăierea canalului (A, B). Canalul Bârlad în 2005. Canalul s-a transformat într-o albie sinuoasă (C,D).

Bârlad Channel în 1978. Riffle – pool sequence is deeply installed after only 4 years from the channel cutting (A,B). Bârlad Channel în 2005. The canal is transformed from a straight to a sinuous stream (C,D).

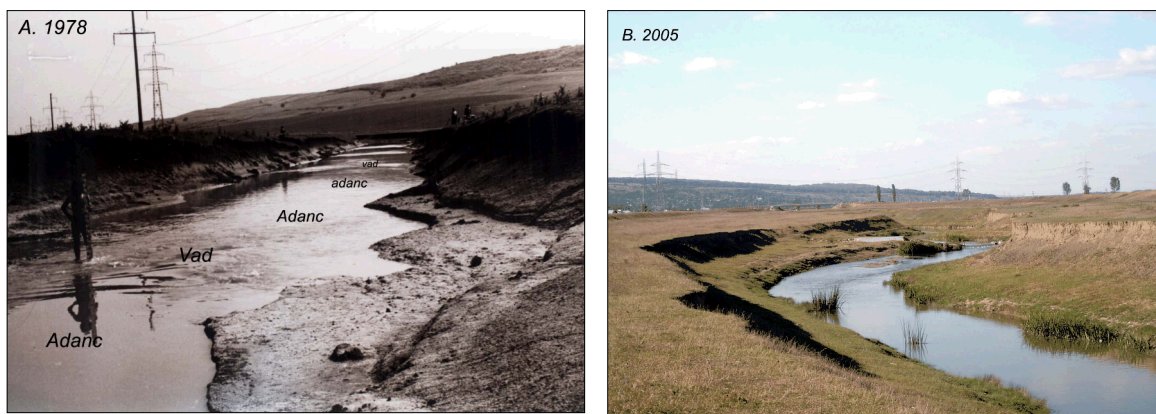
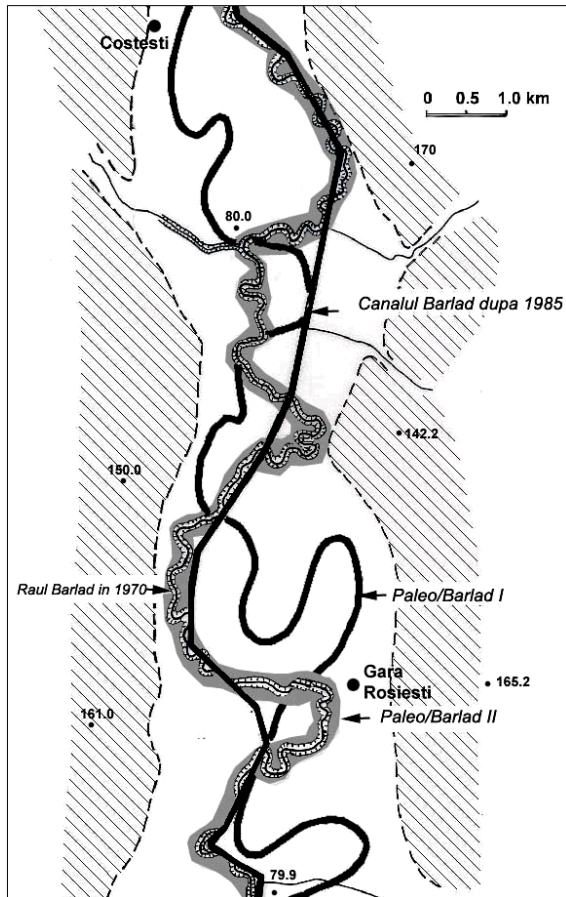


Fig. 10. Secvența vad-adânc în albia dreaptă în 1978 (A) a devenit o albie sinuoasă după 30 ani (B). *Riffle-pool sequence în a straight channel (A) behaved a sinuous channel after about 30 years (B).*

Într-o altă lucrare (Ichim et al., 1979) ne-am ocupat în detaliu de problema morfologiei meandrelor, unele dintre cele mai complexe pentru un râu din țara noastră prin implicațiile asupra paleoevoluției. Astfel, albia naturală a Bârladului are coeficienți de sinuozitate de până la valoarea 3, cu lungimi de unda de 150 – 200 m și amplitudini de 80-150 m, ceea ce se reflectă în dezvoltarea unor

meandre uniforme tip „gât de gâscă”, care a favorizat procesul de autocaptare. Aceste meandre se suprapun pe bucle de meandre mult mai largi (cu lungimi de undă de peste 2000 m și amplitudini de peste 1000 m), ceea ce ne-a îndreptățit să vorbim despre mai multe generații de paleomeandre. Lungimea de undă, amplitudinea și raza curburii meandrelor la nivelul anului 1970 au fost în relație directă cu debitul lichid al râului Bârlad, dimensiunile acestora fiind redată în tabelul 1. În mod asemănător se justifică și dimensiunea paleomeandrelor. Expresia grafică ce arată amplitudinea generațiilor de meandre funcție de lățimea albiei majore este edificatoare în acest sens (fig. 11 , fig.12).



←Fig. 11. Evoluția albiei râului Bârlad ca albie subadaptată.

Development of the Bârlad River channel as an underfit stream.

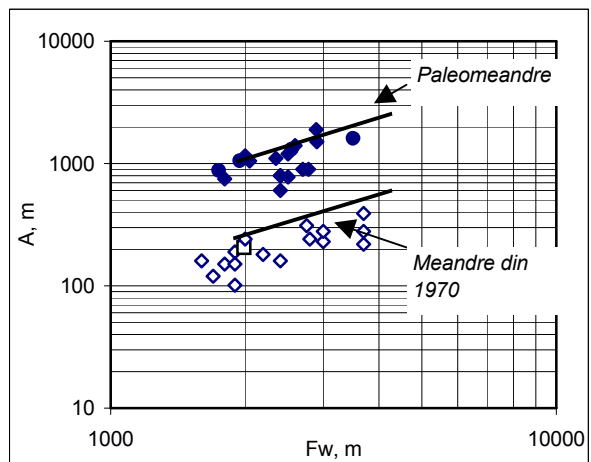


Fig. 12. Amplitudinea generațiilor de meander, A , corelată cu lățimea albiei majore, F_w .

The amplitude of meander generations, A , correlated to floodplain width, F_w .

Tabel 1. Morfometria meandrelor actuale și a paleomeandrelor râului Bârlad (câteva studii de caz).
The Bârlad River's present and paleo-meanders morphometry (a few case studies)

Nr. meandru	Meandre actuale				Paleomeandre			
	Lungimea de undă (λ , m)	Amplitudinea meandrelor (a, m)	Raza medie a curburii (R_m)	Indice de sinuozitate (k)	Lungimea de undă (λ , m)	Amplitudinea meandrelor (a, m)	Raza medie a curburii (R_m)	Indice de sinuozitate (k)
1	280	145	47	1,4	3150	825	480	1,2
2	165	175	45	2,5	2850	1200	675	1,4
3	100	70	30	1,5	1950	1100	250	1,6
4	200	135	37	1,8				
5	165	80	60	1,4				
6	215	-	47	1,2				
7	150	90	21	1,8				

Meandrele actuale ale râului Bârlad (albia naturală dinaintea de 1985) se suprapun pe un traseu larg sinuos care indică o fază anterioară de meandrare a râului, în condițiile unei scurgeri lichide, probabil, cu mult mai mari decât cele actuale. Aceasta ne-a determinat să vorbim de mai multe

generații de meandre, meandre actuale și paleomeandre, fenomen deloc singular pentru regiunea climatică în care ne aflăm. Pe baza relațiilor din fig. 12 se poate stabili mărimea debitelor de formare a paleoalbiilor, respectiv, mai mari de 5 – 6 ori decât cele actuale. O metodă de calcul a paleodebitelor a fost elaborată de Knox (1985). În multe regiuni de pe glob există văi pe suprafața cărora se păstrează “încrustate” urmele a mai multor generații de albiu minore. Dimensiunea lor contrastează puternic cu debitele râurilor actuale, mult prea mici pentru a explica formarea lor (Dury, 1964). Râurile care au fost supuse reducerii dimensiunii atât la nivelul morfometriei secțiunii transversale cât și la nivelul geometriei meandrelor sunt *râuri subadaptate* (underfit streams). Discuții pe acest subiect a avut și Panin (1976) referitor la subadaptarea brațului Sf. Gheorghe la debite mult mai mici.

Râul Bârlad, prin generațiile de meandre identificate și măsurate de noi pe suprafața albiei majore, reprezintă un exemplu sugestiv de râu subadaptat, dar care și-a păstrat traseul și caracteristicile râului din perioada când debitul era mult mai mare decât în prezent (fig. 11). Paleoalbiu din care au derivat râuri subadaptate, au fost înregistrate în toate regiunile globului (America de Nord, Anglia, Europa de Vest, Ucraina, Australia), dar cu deosebire în zona temperată, unde fenomenul a cunoscut cea mai mare extindere.

În prezent, toate generațiile de meandre sunt colmatate, forma lor pastrându-se ici și colo pe suprafața albiei majore sau pe terasele de luncă. Albia actuală a Bârladului este un canal cu maluri pereate, marginit de diguri pe toată lungimea râului și care a răspuns favorabil viiturilor din vara anului 2005. Evoluția acestui canal a început prin dezvoltarea așa-numitei „meandrări verticale” (formarea succesiunii de vad-adânc în patul albiei) și apoi inițierea dezvoltării meandrării orizontale. Fenomenul este bine evidențiat în zona canalului Paiu, cea mai veche porțiune a rectificării albiei râului Bârlad în partea sa mijlocie.

În concluzie, albia puternic rectificată și îndiguită a râului Bârlad de după perioada 1974 – 1985 are toate indiciile să tindă spre forma inițială, meandrată a traseului ei. Chiar dacă albiile artificiale sau rectificate au mai puține grade de libertate (Richards, 1982) (mai ales dacă malurile sunt protejate prin taluzuri de beton sau alte materiale rezistente), „memoria geomorfologică” le determină să revină la forma inițială, mai devreme sau mai târziu. Trofimov și Phillips (1992), cei care definesc memoria geomorfologică a sistemului, au arătat o situație contrară, și anume: geosistemele, odată ce depășesc pragurile, în general “uită” stările anterioare și din această cauză este aproape imposibil să predictezi comportarea ulterioară a geosistemului respectiv. Or, în cazul de față, sistemul fluvial considerat “rememorează” o mare parte din starea anterioară. Credem ca situația se justifică și prin faptul că pragul creat de intervențiile antropice a permis o perioadă relativă de relaxare a sistemului.

Bibliografie

- Băcăuanu, V., Barbu N., Pantazică, M., Ungureanu, A., Chiriac, D.(1980). *Podișul Moldovei. Natura, om, economie*, Editura Stiint. București, 565 pp.
- Diaconu, C.(1971). *Probleme ale scurgerii de aluviuni ale râurilor României*. Studii de hidrologie, XXXI, București.
- Dury, G.H.(1970). *General theory of meandering valleys and underfit streams*, in: Rivers and river terraces, G.H. Dury (Ed), Macmillan, Edingburg.
- Filipescu, M.(1950). *Îmbătrânirea prematură a rețelei hidrografice din partea sudică a Moldovei dintre Siret și Prut și consecințele acestui fenomen*. Natura, 5, București.
- Graf, W.L. (1977). *The rate law in fluvial geomorphology*. Am. Journal of Science, 277.
- Graf, W.L.(1978). *Fluvial adjustments to the spread of tamarisk in the Colorado Plateau region*. Geological Society of America Bulletin 86:1491-1501.
- Hârjoabă, I.(1968). *Relieful Colinelor Tutovei*, Editura Academiei Române, București.
- Ichim, I., Rădoane, M., Rădoane, N., Surdeanu, V., Amăriucăi, M. (1979). *Problems of meander geomorphology with particular emphasis on the channel of the Barlad River*, Revue Roumaine GGG, Geographie, 23.
- Ichim, I., Rădoane, M.(1990). *Channel sediment variability along a river: a case study of the Siret River (Romania)*. Earth Surface Processes and Landforms 15: 211 – 225.

- Ichim, I., Rădoane, M., Rădoane, N., Miclăuș, C.(1996). *Carpathian gravel bed rivers in recent time – a regional approach*. Transactions, Jpn. Geomorph. Union, 17-3, 135 – 157.
- Ichim, I., Rădoane, M., Rădoane, N., Grasu, C., Miclăuș, C.(1998). *Dinamica sedimentelor. Aplicație la râul Putna, Vrancea*, Editura tehnică, 192 pp.
- Ioniță, I.(2000). *Formarea și evoluția ravenelor din Podișul Bârladului*, Editura Corson, 169 pp.
- Keller, E.A., Melhorn, W.N.(1978). *Rhythmic spacing and origin of pools and riffles*. Geol. Soc. of Amer. Bull., 89, 723 – 730.
- Lane, E.W.(1937). *Stable channels in erodible materials*. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 229, 259 – 292.
- Liebault, F., Piegay, H.(2002). *Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France*. Earth Surface Processes and Landforms 27: 425-444.
- Knighton, D.A.(1984). *Indices of flow asymmetry in natural streams: definition and performance*. Journal of Hydrology, 73, 1 – 19.
- Knighton, A.D.(1989). *River adjustment to changes in sediment load: the effects of tin mining on the Ringrooma River, Tasmania, 1875 – 1984*. Earth Surface Processes and Landforms 14: 333 – 359.
- Knox, J.C.(1985). *Responses of floods to Holocene climate changes in the Upper Mississippi Valley*, Quaternary Research, 23.
- Kondolf, G.M., Piegay, H., Landon, N.(2002). *Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments*: Geomorphology, 45, 35 - 51.
- Panin, N.(1976). *Some aspects of fluvial and marine processes in Danube Delta*. Anuarul Institutului de Geologie, L.
- Petts, G.E., Möller, H., Roux, A.L.(Eds)(1989). *Historical change of large alluvial rivers: Western Europe*, John Wiley & Sons.
- Petit, F., Poinart, D., Bravard, J.P.(1996). *Channel incision, gravel mining and bedload transport in the Rhone river upstream of Lyon, France (canal de Miribel)*. Catena, 26, 209 – 226.
- Rădoane, M., Rădoane, N., Ichim, I., Surdeanu, V.(1999). *Ravenele. Forme, procese și evoluție*. Presa universitară. Cluj Napoca, 228 pp.
- Rădoane, M., Rădoane, N., Dumitriu, D.(2003). *Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians*. Geomorphology, 50, 293 – 306.
- Rădoane, M.(2004). *Dinamica reliefului in zona lacului Izvoru Muntelui*. Editura Universității Suceava, 214 pp.
- Rădoane, M., Rădoane, N.(2005). *Dams, sediment sources and reservoir silting in Romania*. Geomorphology, 71, 112-125.
- Richards, K.(1976). *The morphology of riffle-pool sequences*, Earth Surface Processes and Landforms, 1, 71 – 88.
- Richards, R.(1982). *Rivers. Form and Process in alluvial channels*. Methuen, London, 358 p.
- Rinaldi, M.(2003). *Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy*. Earth Surface Processes and Landforms 28: 587-608.
- Surian, N.(2002). *Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy*. Earth Surface Processes and Landforms 24: 1135-1151.
- Trofimov, A.M., Phillips, J.(1992). *Theoretical and methodological premises of geomorphological forecasting*. Geomorphology, 5, 203 – 212.
- Ujvari, I.(1972). *Geografia apelor Romaniei*. Editura stiintif., București, 689 pp.
- Yalin, M.S.(1971). *On the formation of dunes and meanders*. Proceedings of the 14th International Congress of the Hydraulic Research Association, Paris, 3, C 13, 1 – 8.