

УТИЦАЈ ГЕОМОРФОЛОШКИХ ПРОЦЕСА НА РЕЧНУ МОРФОЛОГИЈУ

ВОЈИСЛАВ БЕКОВИЋ

Извод: Морфолошки развој слива и корита малих водотока представља веома комплексан природни процес, на који утиче велики број фактора. Основна карактеристика малих водотока састоји се у нераздвојној повезаности ерозионих процеса у сливу и морфолошких процеса у доњем току. Према томе, морфолошки процеси у речном кориту не могу се истраживати изоловано од услова у сливном подручју. Да би се могла спровести наведена истраживања формирање су експерименталне деонице на малим водотоцима, углавном на територији Србије. Развој морфолошког обликовања речног басена мора да се истражује у континуитету, од изворишта кроз хидрографску мрежу до деонице доњег тока, које су са аспекта пољопривредног и урбаног развоја једног подручја врло значајне.

Кључне речи: морфологија, нанос, речна долина, ерозија.

EFFECT OF GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES ON RIVER MORPHOLOGY

Abstract: The morphological development of the small watercourse catchment and channel is a very complex natural process, affected by a great number of factors. The main characteristic of small watercourses consists of the inseparable connection of erosion processes in the catchment and morphological processes in the lower course. Consequently, morphological processes in the river channel cannot be studied isolated from the conditions in the catchment region. For the purpose of this study, two experimental sections were selected on small watercourses, mainly on the territory of Serbia. The development of the river basin morphological formation must be studied in continuity from the spring, through the hydrographic network, to the section of the lower course, which are very significant from the aspect of agricultural and urban development of a region.

Key words: morphology, sediment, river valley, erosion

1. УВОД

Плувијална и флувијална ерозија представљају две компоненте флувио-денудационих процеса, који се јављају на свим подручјима Земљине површине где су падавине облика кише и снега веће од губитака воде при понирању и испаравању. Под дејством атмосферских вода (плувијална ерозија) долази до механичког и хемијског разарања земљишта и стена. Све стене, по правилу, упијају мање или веће количине воде па услед температурних колебања долази до замрзавања воде, молекуларним ширењем разарају се и најотпорније врсте стена. Тако да од чврстих и компактних стена настаје дробина, која се са високих планина, под утицајем гравитације спушта у облику сипара и плазева точилима у ниже пределе, где их површински токови захватају и односе у хидрографску мрежу. Још јачи процеси ерозије и разарања стена могу се очекивати тамо где воде садрже

Др Војислав Бековић, ванред проф. Шумарски факултет, Београд

алкалне растворе, јер ови лако разарају силицијумову киселину која се у чврстом стању налази као везивна грађа између појединих минерала у стенама.

Под дејством флувијалне ерозије, образује се специфичан долињски рељеф, са развијеном хидрографском мрежом површинских токова. Хидродинамичка сила текуће воде делује на сваки делић земље на који наиђе, при чему ово дејство зависи од масе воде и нагиба терена са кога се вода слива. Део воде који формира површинско отицање покреће и односи еродирани материјал у облику вученог и суспендованог наноса. Текућа вода, дакле, сопственом енергијом изазива корозију Земљине коре, образујући урезе, браздице, бразде, јаружице, јаруге, потоке и речне токове. Ерозиони рад текуће воде је утолико израженији, уколико је вода мање оптерећена наносом. Кинетичка енергија тока је израженија што је протицај и пад дна корита већи. У планинским регионима, када дође до наглог изливања падавина или до наглог отопљавања и топљења снега, долази до наглог сливања воде. Водена стихија спира и односи велике количине земљишта и растреситог материјала, тако да се често не може говорити о воденим токовима, него о блатним, кашастим, бујичним токовима, који се незадрживо сливају у нижа подручја са мањим падовима, где настаје таложење и одлагање донешеног ерозионог материјала.

Примарни фактор флувио-денудационих процеса су клима и геолошки састав Земљине коре. Флувијална ерозија је ограничена факторима климе и геолошко-хидролошким особинама стена. Поред поменутих, примарних геолошких фактора, на флувио-денудационе процесе делују и секундарни фактори, као модификатори геолошких процеса. У ове факторе спадају : Педолошки састав земљишта, вегетациони покривач и антропогени утицаји. Педолошки састав површинског слоја, формиран распадањем матичног супстрата, делује као модификатор утицаја геолошког састава на ерозионе процесе. На основу спроведених теоријских и теренских истраживања у овом раду, биће показане фазе развоја речног корита и еволуција процеса морфолошког развоја речних токова.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Презентирана истраживања спроведена су на територији Србије у сливу реке Ресаве, притоке Велике Мораве и сливу реке Љиг притоке Колубаре.

Истраживања су обухватила:

- анализе утицаја геолошке грађе слива на литолошки састав речне долине;
- утицај хидрауличког транспорта речног наноса на појаву различитих морфолошких облика у речном кориту;
- као и узрочно последичне везе између ерозионих процеса у сливу и транспорта наноса дуж хидрографске мреже.

На основу спроведених истраживања установљено је да геолошка грађа слива у спрези са осталим физичко географским факторима има непосредни утицај на појаву и развој ерозионих процеса. Као резултат различитих ерозионих процеса настају у доњем току различити морфолошки об-

лици. Анализирано је учешће појединих стенских маса у геолошкој структури слива и утицај геолошке грађе слива на морфолошку грађу речних долина у доњем току. Анализирана је брзина таложења и одлагања наноса у покрету.

На основу упоредне анализе, два водотока који се налазе у сасвим различитим топографским и геолошким условима, а слични су по површини слива и по протицају великих вода, може се запазити, који су главни фактори који утичу на образовање рељефа доњег тока, морфологију речних корита и речних долина.

Корита реке Ресаве и реке Љиг, усечена су у алувијалне наслагае, формирају га мале и средње воде дугог трајања. Због тога природна корита имају ограничену пропусну моћ, која је у изразитој диспропорцији са великим водама водотока. При наиласку великих вода долази до њиховог изливања из основног корита и плављења приобаља. Услед одлагања наноса приобални појас се издиже изнад околног терена у речној долини. У одређеним хидролошким условима реке, по правилу, премештају своја корита у ниже делове речне долине, те на тај начин настају различити морфолошки облици, који ће бити приказани у самом раду.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3.1 Утицај геолошко тектонског састава на морфологију речног корита и речне долине у доњем току

Истраживања показују да литолошке и структурне особине основних стенских маса, од којих настаје земљиште, имају одређен утицај на развој ерозионих процеса, мада је познато, да се под различитим климатским условима могу и на истој геолошкој подлози стварати различити типови педолошког слоја земљишта. Утврђено је, да су брзина и облик ерозионих процеса на земљишту у знатној мери предодређени карактеристикама стенских маса. Утицај геолошке подлоге на отпорност, разарања, спирања и одношења наносног материјала може се непосредно уочити само код неких педолошких творевина. Тако земљишта, која настају распадањем пешчара и магматских стена обично су крупнозрне структуре, зависно од степена распадања. Међутим, у природи се дешава да неки накнадни процеси врше промену структуре појединих стена као и већ образованих педолошких творевина. (Venet 1989.) наводи пример где су глечерска померања довела до мрвљења крупнозрних пешчара. Резултат тог процеса је стварање педолошких творевина ситнозрне структуре.

Велики садржај лако растворљивих соли у стенама чини да су земљишта, настала из таквих стена, обично подложна ерозији. Дубински процеси ерозије су својствени врло отпорним стенама магматског порекла. Постепеним распадањем и дробљењем под утицајем површинских вода и осталих егзогених сила настаје грус и крупан наносни материјал. Кристаласти шкриљци због многобројних пукотина и изражене шкриљавости лако се распадају, разлажу и стварају ситан наносни материјал, а као крајњи продукти распадања настају глинене фракције. На нагнутим теренима, глинене фракције пониру кроз распаднуту дробину и задржавају се на дубинама

2-5 m, где је водонепропусни слој изнад кога се у контакту са површинском водом образују проквашене пластичне масе које се крећу низ падине (попузине, клизишта, пластична течења). Такозвана карсна подручја или подручја карсне ерозије заузимају огромна пространства у разним крајевима света. Карактеришу их кратки површински токови, реке понорнице, а врло често подручје је пуно шкрапа, вртача и других карсних облика. Земљишта настала распадањем кречњака имају црвену боју, а слична су другим типовима земљишта која настају распадањем црвених пешчара и земљиштима која настају на серпентинској подлози под посебним условима. У погледу разарања иницијалног рељефа, и стварања различитих форми и облика, поред ерозионих сила несумњиво одлучујућу улогу имају тектонски покрети, присуство раседних зона, као и геолошка грађа слива.

На бази спроведених истраживања у сливовима реке Љиг у сливу Колубаре и реке Ресаве у сливу Велике Мораве, установљено је да интезитет разарања иницијалног рељефа, пре свега, зависи од врсте геолошке подлоге и њене отпорности на распадање. Поред тога, кружење воде у природи условљава стварање површинских токова који често прате раседне зоне и линије најмањег отпора, а у зависности од кретања општих климатских услова кроз геолошко време и у спрези са осталим егзогеним силама образују рељеф Земљине коре, образују речне сливове и хидрографску мрежу. Процесима денудације снижавају се планински врхови а развођа померају уназад, створени наносни материјал захватају површински токови и у зависности од енергетског потенцијала односе кроз хидрографску мрежу до зоне одлагања. Дуж хидрографске мреже од изворишта према ушћу, слаби кинетичка енергија тока за транспорт наносног материјала, па се одвија сортирана акумулација наноса.

Састав геолошке подлоге утиче на формирање карактеристичних облика речних сливова. Облик слива има велику улогу као хидролошки параметар јер утиче на брзину концентрације великих вода и на ерозиони потенцијал слива. У том смислу, слив реке Љиг има лепезасту форму, са главним притокама у средњем и доњем току (реке Качер и Оњег). Па је, према томе, и време концентрације великих вода много краће него код реке Ресаве. Слив реке Ресаве је издуженог облика са главним притокама у горњем току (реке Суваја, Ресавица и др.) па је време концентрације много дуже. Према (Gravelius B., 1988), облик слива има утицаја на брзину отицања поплавних вода и њихову концентарцију. Морфолошки коефицијент (n) представља однос средње ширине слива према његовој дужини. Уколико је ($n > 1,0$) сливно подручје је више издужено и самим тим постоје слаби услови за наглу и истовремену концентрацију великих вода. Амерички истраживачи (W. Askermann и Corinth 1981) предложили су да се као хидролошки израз за утицај облика слива на брзину појаве великих вода и брзину концентарције воде и наноса усвоји количник између дужине природног слива и полупречника круга који има исту површину као и анализирани слив.

$$E_k = \frac{L}{\sqrt{\frac{L}{\pi}}} = 1.772 \times \frac{L}{\sqrt{F}}$$

Према овој процени слив реке Љиг има $Ek = 3.378$ док за слив реке Ресаве $Ek = 4.855$.

3.2 Брзина таложења наносног материјала

Особине наносног материјала директно утичу на кретање двофазног флуида и то: величина, маса и облик зрна. Комбиновани ефекат ових варијабилних као и густина и вискозност течности утичу на брзину таложења. Једначина брзине таложења, почевши од једначине кретања, која обухвата алгебарски збир сила, које делују у правцу тока, тежина честице, сила притиска и чеони отпор, једнака је:

$$\frac{Mdw}{dt} = F_w - FD - F_b$$

где је:

Mdw – маса честице;

F_w – запреминска маса честица;

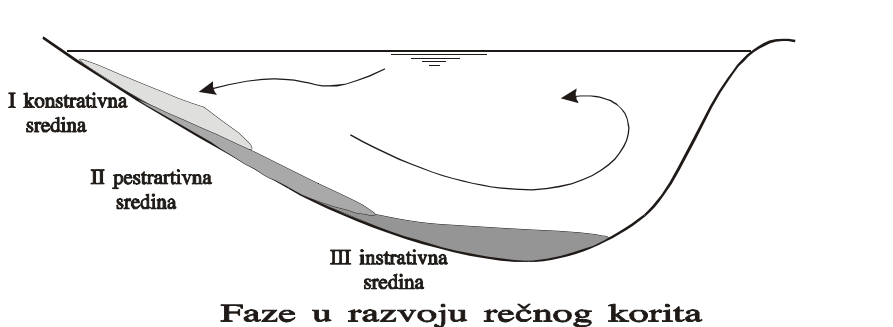
F_b – сила потиска честице;

FD отпор течности на честице које падају (тону).

Код крајњих брзина где нема убрзања $d_w/d_t = 0$, тако да је :

$$FD = F_w - F_b$$

Према Šan сег-у, у првом стадијуму развоја речне долине преовлађује ерозија речног дна, а таложе се само шљунковито песковите фракције. Касније преовлађује бочна ерозија и паралелно са фацијама корита формирају се глиновите фације полоја, односно седименти алувијалне равнице. Услед миграције корита, у делове долине која се проширује појављују се фације старача које се формирају у напуштеним деловима корита. Алувијони, равничарских река према Šan сег-у, изграђени су од три основна типа фација. То су фације речног корита, поводањске фације (или фације полоја) и фације старача (или мртваја), које се деле на низ субфација. При томе, читав доњи део алувијона изграђен је од песковито шљунковитих стена и представља творевине фације корита, а горњи део је суглинаст и састоји се из фације полоја. Према томе, и код речних долина реке Љиг и реке Ресаве речни материјал је јасно издиференциран уздужно и попречно у односу на ток реке. Уздужна диференцијација проузрокована је основним динамичким фазама развоја речног корита.



Долина у инстративној фази нема алувијаних талога, понекад само крупне блокове стена у горњем току реке Ресаве. У пестративној фази развоја речних долина долази до попречне циркулације водених струјања у којој се формира фаџија речног корита престањена шљунковима и песковима. У каснијој фази ове етапе, када је речна долина довољно широка, смањује се транспортна снага водотока и за време поплава таложе се алевролитско глиновити седименти полоја преко творевина фаџије корита. За констративну фазу је карактеристично да поред претходних фаџија речног корита и поводањских фаџија има и фаџије мртваја. Попречна диференџијаџија материјала у алувијону је веома упадљива, нарочито у средњим и доњим деловима тока где река интезивно меандрира. У овој зони, по правилу, налази се најкрупнији материјал разврстан као: шљунак, грубозрни и средњезрни песок. Тај материјал је нагомилан често у виду уздужних греда, а на спрудовима се скупља и финији алевролитски талог. На спољашњој страни меандра речни ток изазива ерозионе процесе. Уз речно корито настају приобалне гредице (настале за време поплава). У приобалним гредицама таложе се ситнији пескови и груби алеврити. Сортирање материјала у гредицама је лошије, него у седиментима на спрудовима, а слојевитост је слабо изражена и под малим угловима пада ка речном кориту. У алувијалним равницама, седиментација се одвија само за време поплава. При томе из воде богате кластитима одлажу се претежно груби и ситнозрни алеврити, по правилу, слабо су сортирани, нејасно и танко слојевити. На основу спроведених теренских истраживања установљено је да литолошки састав речне долине у сливним реке Љиг и реке Ресаве директно зависи од геолошке грађе слива.

У сливу реке Љиг јављају се различите врсте стенских маса, а могу се према отпорности на процесе распадања сврстати у три основне групе.

- Прву групу чине стене врло отпорне на процесе распадања. У ову групу спадају стене магматског порекла и то:

1. дацити	0,91 %
2. кварц латити и фелдспати	4,39 %
3. кварц латитски игнимбити	2,08 %
4. гранодиорити	1,03 %
5. гранит-монџонити	3,39 %
6. ситнозрни метагнајсеви	0,65 %
7. масивни кречњаџи	0,09 %
8. серпентинити	0,68 %
9. кречњаџи	3,17 %

Укупна заступљеност ових стенских маса у сливу је 16,39% од укупне површине слива. Код ове групе стена, у процесу распадања, као крајњи продукт претежно настају грусеви, шљункови и пескови, зависно од пређеног пута кроз хидрографску мрежу и претрпљеног степена уситњавања, распадања и заобљавања.

- Другу групу чине стене чијим распадањем настају шљунковите и песковите фракџије наноса:

1. пролувијум	0,17 %
2. конгломерати пешчари и кречњаџи	8,00 %
3. вулканске брече и туфови	0,58 %

4. конгломерати кречњаци и пешчари	1,73%
5. кречњаци и лапорци	1,41%
Укупна заступљеност ових стенских маса износи	11,89%.
• Трећу групу стена чине стене чијим распадањем настаје мешавина фракција глине и осталог нешто крупнијег наноса.	
1. суглине и шљункови	0,58%
2. конгломерати, кречњаци, глине	2,46%
3. пескови, глине, шљункови	17,51%
4. кварцити са фелдспатима	4,39%
5. кречњаци, глине, пескови и шљункови	1,79%
6. лапорци и лапоровити кречњаци	1,97%
7. флиш лискуновити пешчари	7,79%
8. флиш, пешчари, пескови, лапорци и глине	11,68%
9. флиш, прашинасти лапорци	5,96%
10. флиш, глинени пешчари	1,04%
11. мусковит биогитски шкриљци	0,54%
12. албит-хлорит- мусковитски шкриљци	5,38%
13. серицит хлоритски шкриљци и мета пешчари	0,76%
14. филити и метаморфисани пешчари	3,66%
15. агломерати и глине	0,28%

Укупна заступљеност треће групе стена износи 65,78%. Код ове групе стена у процесу распадања као крајњи продукт настаје:

- хумус,
- прашинасте глине ниске пластичности,
- прашинасто-песковите глине средње пластичности.

Процент заступљености од 65,78% укупне геолошке подлоге у сливу ствара услове да ова група стена има одлучујућу улогу на геоморфолошке особине речне долине и речног корита у доњем току реке Љиг.

У сливу реке Ресаве се, такође, јављају различите групе стена од чијег интензитета распадања зависе морфолошки облици речне долине у доњем току и морфологија корита.

- Прву групу стена чине стене чијим распадањем као крајњи продукт настају грусеви и шљункови. У ову групу стена спадају:

1. банковити кречњаци	0,82%
2. анортозити	0,01%
3. габро порфири	0,03%
4. пироксенски габро	0,42%
5. габроидне стене	0,25%
6. кречњаци анизијског ката	1,70%
7. кречњаци горње и средње јуре	0,82%
8. слојевити и банковити кречњаци	2,56%
9. кластити и карбонатне стене	0,20%
10. кречњаци са рожњацима	9,54%
11. масивни банковити кречњаци	14,7%

Укупна заступљеност ове групе стена у сливу реке Ресаве износи 30,41%. У доњем току Ресаве прослојци који потичу од ове групе стена налазе се на дубинама већим од 4,0 m. Ова литолошка творевина издвојена је као добро гранулирани и збијени шљунак и песак.

- У другу групу стена могу се сврстати стене чијим распадањем као крајњи продукт настају шљунак и песак. Овој групи стена припадају стене:

1. дацити и андезити	0,32 %
2. плагиогранити и метадијабази	1,80 %
3. конгломерати, пешчари и аргилошисти	2,45 %
4. црвени пешчари и метапешчари	7,33 %
5. кречњаци, пешчари, конгломерати	5,81 %
6. конгломерати.пескови, лапорци, алеврити	20,44 %
7. пешчари и аргилошисти	2,25 %

Укупна заступљеност ових стенских масива износи 40,35%. Наносни материјал постао од ових стенских масива идентификован је као песак-прашинасто глиновитог састава, ситнозрн, ниске пластичности са прослојцима шљунка и песка.

- У трећу групу стена спадају стене чијим распадањем настају прашинасти пескови.

1. суглине	1,08 %
2. пешчари, пескови, глине	3,09 %
3. нискокристалести шкриљци	6,26 %

Укупна заступљеност ових масива у геолошкој подлози слива Ресаве износи 10,43%. Наносни материјал ове групе стена не утиче битно на промену структуре и литолошких особина речног корита и речне долине.

Учешће прве и друге групе стена у укупној структури геолошке подлоге слива износи 70,76%, па је разумљиво да ова група стена има одлучујући утицај на литолошки састав речне долине и речног кориа.

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу спроведених теоријских и теренских истраживања утицаја геоморфолошких и геолошких фактора на морфолошки развој речног корита и речне долине реке Љиг и реке Ресаве установљено је следеће.

- Геолошка грађа слива има одлучујућу улогу на литолошки састав речне долине у доњем току водотока. Поред тога, ерозиона продукција наноса и литолошки састав речне долине у доњем току у директној су зависности од геолошке грађе слива.
- У првом случају, слива реке Љиг преовлађују масиви стена чијим распадањем настаје врло ситан нанос (прашинасто-глиновите фракције), док у сливу реке Ресаве преовлађују стене чијим распадањем настаје крупан нанос (пековито-шљунковитог састава). Описане разлике у геолошком времену условиле су стварање седимената различитог литолошког и геомеханичког састава у доњем току ових водотока.
- Основне компоненте процеса формирања речног корита су, с једне стране, бочна ерозија, а с друге стране таложење наноса у речном кориту. При томе битну улогу игра однос између улаза наноса из слива и транспортне способности тока за нанос. У случају хомогене структуре корита у невезаним песковито-шљунковитим седиментима (случај реке Ресаве), корито се развија у сопственом наносу, при чему нема практично разлике између материјала у кориту и материјала у

обалама и приобаљу. При формирању корита преовалђује процес бочне ерозије, док је дубинска лимитирана транспортним капацитетом водотока за нанос. Разлог томе је што свако веће продубљење корита доводи до великог обрушавања обала, при чему локални прилив ерозионог материјала превазилази транспортну способност тока за нанос. Бочна ерозија се одвија постепено и у танким ламелама које се одвајају од обала. С обзиром да се ширењем корита брзине и вучне силе смањују, ширење се постепено успорава и зауставља у тренутку када транспортна способност тока више није довољна за пренос нових количина наноса насталих од обрушавања обала.

- У случају речних обала у везаним прашинасто-глиновитим седиментима, са речним дном у некохерентном наносу (случај реке Љиг), речно корито се формира, углавном, кроз процес дубинске ерозије. Бочна ерозија је лимитирана, због отпорности обала на ерозију, услед ефеката кохезије. Међутим, у случају већег продубљења корита, нарушава се геостатичка стабилност обала и оне се обрушавају, при чему се корито шири. У случају већег прилива бочног материјала, водоток није у стању да га однесе, тако да се овај материјал акумулира у подножју обала и тиме повећава њихову стабилност.

ЛИТЕРАТУРА

- Ђековић В., (1993) «Истраживање законитости морфолошког развоја малих водотока» – докторска дисертација, Шумарски факултет, Београд.
- Ђековић В., (1997) «Пројектовање у бујичарству» Универзитетски уџбеник, Шумарски факултет Београд.
- Ђековић В., Ристић Р., (2003) «Вегетација као један од фактора морфолошког развоја регулисаних водотока.» Гласник Шумарског факултета бр. 87, стр. 113-118. Београд
- Chang H. H., (1979) «Geometry of Rivers in Regime» Journal of the Hydraulics Division, ASCE.
- Цвијић Ј., (1924-1926) «Геоморфологија Балканског полуострва». Београд

EFFECT OF GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES ON RIVER MORPHOLOGY

Vojislav Đeković

Summary

The study of morphological development of the river Ljig and river Resava channels and river valleys presented in this paper includes the geological structure of the catchment and the effect of the type of geological structure on the yield of river sediment, the degree of sediment particle disintegration, and on morphology of the middle and lower courses. Based on the theoretical and field studies, it was concluded that:

The geological structure of the catchment affects the geo-morphological characteristics of the catchment and river valley, as well as the geo-morphological characteristics of the river channel.

The described differences in the geological time conditioned the formation of sediment with different lithological and geo-mechanical composition in the lower course of these watercourses. The components of river channel formation processes are, on the one hand, lateral erosion, and on the other hand the deposition of sediment in the river channel. In the case of homogeneous channel structure in cohesionless sandy-gravelly sediment (river Resava), the channel is developed in its own sediment, with practically no difference between the material in the channel and the material on the banks and the riparian area. In the case of river banks with cohesive silt-clay sediments, with the bed in cohesive alluvium (river Ljig), the river channel is mainly formed by the process of fluvial erosion of the deep type.