

Original scientific paper

UDC: 627.152.12 (497.11 reka Južna Morava)  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2001001L>

Received: April 13, 2020

Corrected: May 07, 2020

Accepted: June 03, 2020

**Marko Langović<sup>1\*</sup>**

*\* University of Belgrade, Faculty of Geography, Serbia*

## **INVESTIGATION OF THE LATERAL CHANNEL MIGRATION: A CASE STUDY OF THE SOUTH MORAVA RIVER (SERBIA)**

**Abstract:** The morphological evolution of the fluvial relief in the lowland areas is determined by the dynamic of the lateral channel migration process. River meandering and lateral channel migration represent continuous, dynamic and complex processes, which intensity modifies alluvial plains. Accordingly, it is a current topic observed from the domain of various scientific disciplines and practices, including the geographical aspect of the study. Directly or indirectly, variations of natural and anthropogenic processes affect changes in the lateral migration intensity, which is later manifested through permanent consequences for the environment. The aim of this paper is to investigate the process of lateral channel migration, through the review and interpretation of theoretical and methodological concepts and results of contemporary scientific literature. In this paper, on specific sections of the South Morava River (Serbia), the values of maximum lateral migration over different time periods are determined. Three representative river sectors were singled out, spatial and temporal dynamic was determined, while the process of lateral channel migration was presented quantitatively and graphically. Based on the obtained data, a comparative analysis showed significant riverbank changes for the observed meanders, within the period 1924-2020. Special emphasis is on the analysis of the lateral channel migration in the last decade of the mentioned period. The obtained results can be further used in order to develop and implement plans of water and land management, environmental protection and socio-economic development strategies.

**Key words:** lateral migration, riverbank erosion, South Morava River, meander

---

<sup>1</sup> markolangovic@yahoo.com (corresponding author)

## Introduction

Lateral channel migration is a continuous and dynamic process of meandering rivers characteristic for lowland terrains (Bertalan et al., 2018; Sylvester et al., 2019). The intensity and variation of this process control the dynamics of the fluvial relief development of lowland terrains and the appearance of a different fluvial formations – cut banks and point bars (Hooke, 2007; Bufe et al., 2019). Land loss due to lateral erosion is permanent, so the effect of this process is more significant (Yousefi et al., 2017). Although, the formal definition of riverbank stability is not specified in the scientific literature, the context in which this term is used implies that the bank is stable if it does not change within a defined time framework (Das, 2014).

When examining lateral channel migration, the analysis of the channel evolution and recent state of the fluvial process is especially important. Depending on the available data, lateral channel migration studies are based on different spatial and temporal scales. Most of them (Yao et al., 2011; Bertalan et al., 2018; Yang et al., 2018) follow the channel morphodynamic through time sequences up to 50 or 100 years. The importance of these research is reflected by the possibility of using the obtained results for the development and implementation of water and land management plans, environmental protection and socio-economic development strategies (Cunha et al., 2017). Several scientific studies deal with the degradation of riverbanks of the world's largest rivers (Ahmed & Fawzi, 2009; Sarma & Acharjee, 2012; Tho, 2019) in which basins, numerous inhabitants and economic activities are concentrated. In these areas, the process of intensive lateral channel movement is an important factor of the environmental transformation. Consequences, caused by the processes of lateral migration and riverbank erosion, can be grouped into socio-economic (land loss and land use changes, impact on population, settlements and economic activities), hydrological (velocity and discharge variations), ecological (impact on habitats), geopolitical (when the meandering river represents the state border) (Dragičević et al., 2013; Palmer et al., 2014).

Lateral channel variations are caused by the spatial and temporal dynamic of natural and anthropogenic factors, their indicators and interactions. The most effective agents are hydrological indicators, which are determined by oscillations of the average annual, seasonal and daily values of river discharges, appearance and intensity of maximum or minimum discharges, frequency and volume of flood waves etc. During floods, significant amounts of water and sediments are transported by river, intensifying the processes of lateral migration - riverbank erosion on the one hand and sediment deposition on the other (Greco et al., 2016). The correlation between the lateral channel migration and the occurrence of maximum daily and seasonal discharge values is in the focus in many studies (Carrol et al., 2004; Blanka et al., 2011; Giardino & Lee, 2011; Lotsari, 2014, Dragicevic et al., 2017). The link between extreme hydrological phenomena and intensive lateral channel migration has been proven by Carrol et al. (2004) (Carson River, USA) and Dragicevic et al. (2017) (Kolubara River, Serbia). They pointed out that only one large-scale flood is responsible for about 85% of eroded banks in a unique time period. In a broader context, variations of hydrological indicators reflect the climate indicator changes, primarily precipitation and air temperature (Darby et al., 2013). In the modern scientific literature (Gholami & Koheleth, 2013; Bertalan et al., 2018; Yang et al., 2018), special attention is on the significant role of biogeographical factors in changing the riverbank zone characteristics, specially through the function of vegetation in riverbank

stabilization and river velocity reduction. The impact of anthropogenic activities on the riverbank morphodynamic is manifested in two ways - directly, in the form of regulation works, artificial cut-offs, gravel and sand exploitation, dam constructions, etc. and indirectly, in the form of deforestation, human and economic activities in the river basin, land use changes, anti-erosion works (Depert, 2017). Variations of natural processes can progress slowly and be particularly imperceptible, while intensive human activities can indirectly impact more dynamic changes of natural processes, which may cause an extreme intensification of lateral erosion (Hai et al., 2019). Tripathy & Mondal (2019) singled out many problems related to lateral channel migration process, specially focusing on its impact on primary economic activity.

Lateral channel migration is the most important geomorphological process in the alluvial plains in the Pannonian Basin and its southern rim, which is evidenced in several scientific papers (Petrovszki & Timar, 2009; Blanka & Kiss, 2011; Nadudvari & Czajka, 2014; Tosic et al., 2014; Bertalan et al., 2018; Bertalan et al., 2019). The results showed the river course sinusoidal changes and more intensive lateral channel migration in the last few decades, especially after the period of intensive regulation works. Determination of the lateral channel migration rates and their impact on the surrounding area does not have a broad research past on the territory of Serbia. However, it is possible to single out scientific papers (Roksandic et al., 2011; Dragičević et al., 2013; Dragicevic et al., 2017) that manage the mentioned issue (rivers Kolubara, Danube, Drina) and studies which treat lateral channel migration process from different aspects.

The aim of this paper is to investigate the process of lateral channel migration, to review contemporary foreign and domestic scientific and professional literature, as well as to present their results in relation to a given topic. Special emphasis is the study of lateral channel migration of the South Morava River in the Republic of Serbia. Three representative sectors were singled out, spatial and temporal changes were determined (in the period 1924-2020) and the results were presented quantitatively and graphically.

## **Material and methods**

Lateral channel migration studies and their methodological procedure implies the application of different concepts based on the spatial and temporal approach. The qualitative and quantitative understanding of the process, and the perception of the fluvial relief transformation under the influence of lateral channel migration, is of a particular interest (Giardino & Lee, 2011). Briaud et al. (2007) explained the three most common approaches - the emphasis is on the determination and evaluation of the lateral migration rate through the application of empirical and field methods, spatial and temporal dynamic approach and modeling approach to predict future trends in process development. Depending on available data, determined goals and established methodological procedure, the investigation of the lateral channel migration is based on examining the evolution and contemporary annual and seasonal changes of the riverbanks, correlation with possible causes and consequences on the environment.

Riverbank location changes in history can be monitored and determined by using a database that includes many projects and studies, aerial and orthophoto images, and cartographic materials from different time periods (Jautzy et al., 2020). The oldest source of data used in this research are maps (1:25,000) from 1924 ("Section for investigating the

Morava River" within the General Directorate of Water). Topographic maps from 1971 (1:25,000) and orthophotos from 2013 and 2020 were used in order to obtain the shoreline position in the given time sections. Digitization of the left and right shoreline was performed using GIS software Geomedia Professional. After that, using a comparative method, the spatial and temporal changes between all observed periods were determined. Finally, a general picture of the riverbank morphodynamic was considered, by comparing the states of the initial and final year within a 96-year time period. In order to determine the annual dynamic in the last decade, a special technique of the Google Earth, "Historical Imagery" was used, which enabled display and change of certain time sections.

The various local terrain conditions caused the use of a specific method for detecting shorelines (Winterbottom, 2000; Richard et al., 2005). For riverbanks that are not covered with forest vegetation, but with grass cover or agricultural crops, the shoreline is clearly visible. For meanders bordered by forest, the shoreline is drawn along the edge of vegetation and fragmented parts of the bank formed during the high waters. At the locations where the sediment accumulation and formation of point bars occurs, the shoreline is established as the border between the vegetation zone and the bar zone, while at the places where the trees are located on the riverbank, the line is drawn through the center of the tree canopy.

### ***Study area***

In this paper, the South Morava River was chosen as a study area due to specific terrain characteristics and its morphodynamic. South Morava River is formed by merging two rivers - Binačka Morava and Preševska Moravica at an altitude of 392 m, near Bujanovac. It is characterized by composite valley which consists of several gorges – Grdelica [Grdelička klisura], Pečenjevce [Pečenjevačka klisura], Mezgraja [Mezgrajska klisura], Stalać [Stalačka klisura] and valleys – Vranje [Vranjska kotlina], Leskovac [Leskovačka kotlina], Brestovac [Brestovačka kotlina], Niš [Niška kotlina], Aleksinac [Aleksinačka kotlina]. South Morava River Basin covers an area of 15,469 km<sup>2</sup>, with smaller parts in Bulgaria and Northern Macedonia (Гавриловић & Дукић, 2014; Borisavljević & Kostadinov, 2012). The total length of the South Morava River is 234.3 km (2013) with a slightly shorter left bank (232.7 km) compared to the right (235.9 km). Compared to the riverbank length from the 1971 (average 248 km), it is noticeable decrease for about 4.5%, which is direct consequence of conducted regulation works. The South Morava River Valley can be divided into several morphological units, which are often referred to as the upper, middle and lower course. The most intensive changes of the lateral channel migration rates have been registered in the lower and middle part of the South Morava River, downstream from the Grdelica Gorge [Grdelička klisura].

Due to the terrain predisposition and configuration, a significant number of meandering sectors are located along the course of the South Morava River. For the purpose of this paper, in accordance with the defined goals, the sectors, on which regulation works were performed in the form of artificial cut-offs, were excluded from this research. During the 20<sup>th</sup> century, and especially in the 1960s, several important river meanders were cut. Petković (1995) singled out 11 larger cut-offs that were performed in the period 1924-1994 on the South Morava River, all in the lower part of the course.

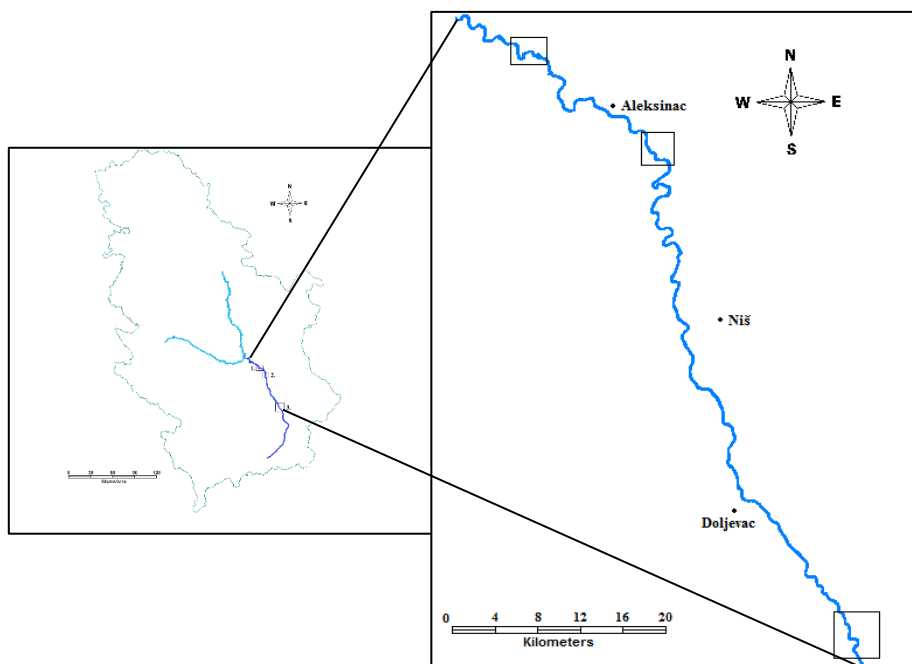


Fig 1. Locations of the three representative sectors on the South Morava River

Several sectors that are characterized by the most unstable river channel (those that in the historical and modern period have intensively changed the morphometric characteristics of their banks) are Đunis-Ljubeš Zone, Tešica-Aleksinacki Bujmir Zone, the area around the Nišava River confluence and the Grdanica-Donja Lokošnica Zone (upstream and downstream from the confluence of the Jablanica River). In order to present the lateral channel migration rates, in this paper, three representative sectors (Fig. 1; Tab. 1) with seven significant meanders have been singled out. All meanders are located in the range from 31 to 123 river kilometer for covering a wide range of local physical-geographical and socio-geographical features.

Tab. 1. Main morphometric indicators of meanders within the three representative sectors

S	M	R (km)		Left riverbank length (m)				Right riverbank length (m)			
		from	to	1924	1971	2013	2020	1924	1971	2013	2020
I	M 1	31.6	33.2	1,255	1,828	1,842	1,844	1,228	1,665	1,713	1,721
	M 2	33.2	34.7	1,016	1,221	1,244	1,249	1,034	1,424	1,478	1,501
II	M 3	58.3	58.9	572,9	701	757.3	805.1	726,1	729,3	797,6	836
	M 4	58.9	60.1	1,471	1,163	1,407	1,493	1,561	1,265	1,316	1,325
III	M 5	120.1	120.8	683.2	779.8	1,018	1,020	737.9	744.4	883	889
	M 6	120.8	122.2	907.2	1,068	1,433	1,454	863.6	1,176	1,528	1,555
	M 7	122.2	122.9	745.9	795	799	814	913	823	749	756

S – Sector; M – Meander; R (km) – River kilometer;

## Results and discussion

Considering the textual and cartographic literature of the South Morava River, representative sectors with noticeable riverbank changes during the observed period (1924-2020), have been singled out. Seven meanders were registered and were taken into consideration and quantification of the lateral channel migration process (Tab. 1). The first sector is located in the lower part of the South Morava River along the sections where the regulation works were done, which influenced on the dynamic of riverbanks (for protecting local settlements around meander 1, the bank stabilization was made). About 20 km upstream the second sector is located, which also consists of two meanders with riverbanks mostly bordered by agricultural land and shrub vegetation. The third, most upstream sector, is characterized by three meanders, with left sides limited by forest-shrub vegetation, and the right sides by arable land. Analyzing the data from Tab. 1, significant changes in the shoreline's length can be noticed (1924-2020). The biggest changes were recorded on meander 1 (first sector) – enlarge by 32%, on meander 3 (second sector) - an increase by 28% and meanders 5 and 6 (third sector) – increases by 32% and 37%. These data support the fact of a pronounced process of lateral channel migration. That the process is actual in the last decade of the observed period is shown on the meander 3 (second sector), where an increase of almost 40 m was registered in seven year period (2013-2020), i.e. an average 5.7 m/year.

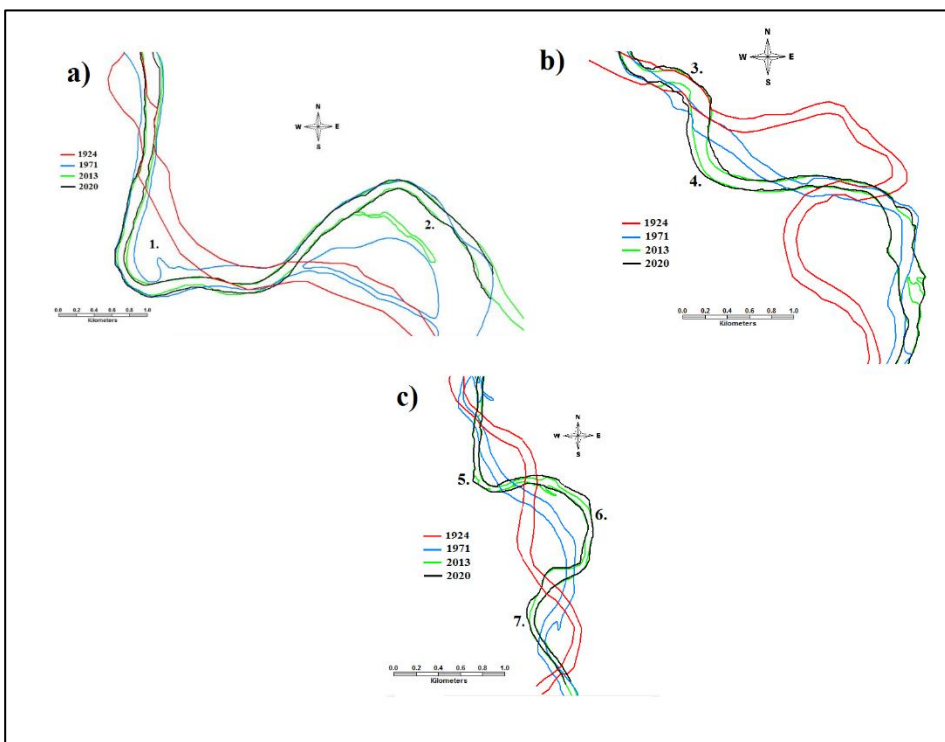
*Tab. 2. Maximum lateral migration of the representative meanders (South Morava River)*

S	M	1924-2020		1971-2020		2013-2020	
		MLM (m)	ALM (m/year)	MLM (m)	ALM (m/year)	MLM (m)	ALM (m/year)
I	M 1	304.5	3.2	10.6	0.2	1.2	0.1
	M 2	507.4	5.3	16.5	0.3	1.6	0.2
II	M 3	136.5	1.4	93.9	1.9	15.2	2.2
	M 4	465.9	4.8	239.2	4.8	36.3	5.2
III	M 5	380.7	3.9	146.5	2.9	29.5	4.2
	M 6	448.5	4.7	223.9	4.6	8.1	1.2
	M 7	370.5	3.9	159.1	3.2	35.2	5.0

S – Sector; M – Meander; MLM – Maximum lateral migration; ALM – Average lateral migration;

The representative sections of the South Morava River are graphically presented on Fig. 2. Meanders evolution, according to previously explained and cited data sources, can be traced back to the period of almost 100 years (1924-2020). On the downstream sector (Fig. 2a), the values of maximum lateral migration were recorded in the range from 304 m (meander 1) to 507 m (meander 2) for the entire observed period. Average annual values of maximum lateral migration ranged from 3.2 to 5.3 m/year. High values of lateral migration rates were registered on meander 4 (Fig. 2b) (second sector), average 4.8 m/year, while on meander 3 the lowest values (1.4 m/year) were recorded for the entire observed period. On the third sector (Fig. 2c), on all three meanders, the maximum lateral channel migration values were recorded in the range from 370.5 m (meander 7) to 448.5 m (meander 6). The average annual riverbank changes ranged from 3.9 m/year to 4.7 m/year. Based on the obtained values, it is possible to point out the appearance of very dynamic sections on the South Morava River, with riverbank location changes on average 373 m (3.8 m/year) in the period of 96 years, and that certainly had influence on the existing fluvial relief transformation.

For a clearer understanding of the results, in this paper, the changes that occurred in smaller time cycles - 1971-2020 and 2013-2020 were also presented. The period 1971-2020 is especially important, because most of the regulation work on the South Morava River was conducted in the 1960s, which have had influence on the natural lateral process trends on the meanders located downstream. On the first sector (Fig. 2a), the minimum values (0.2 and 0.3 m/year) of the average maximum lateral bank movements are understandable, as a consequence of the construction of the bank stabilization and other artificial regulation on the South Morava River, on both meanders. On the second investigated sector (Fig. 2b), the values of the maximum lateral migration are slightly higher after the 1970s compared to the previous period 1924-1971 (especially on meander 3 where an increase for over 50% was recorded). Unlike the first two sectors, on the third investigated section (Fig. 2c), in two cycles 1924-1971 and 1971-2020, the values of the lateral channel migration rates are approximately the same - e.g. meander 6 - 4.7 m/year (47 years), or 4.6 m/year (49 years).

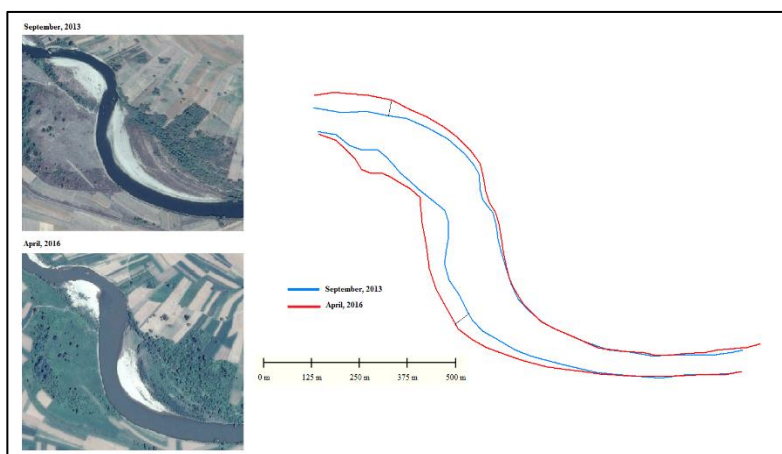


*Fig. 2. Graphical view of the spatial and temporal changes of the South Morava River – a) first sector (meanders 1, 2), b) second sector (meanders 3, 4) and c) third sector (meanders 5, 6, 7)*

Considering that the focus is also on recent changes, the last period (2013-2020) is finally given in order to point out current trends of the maximum lateral migration values. Most meanders of the second and third sector are characterized with the highest recorded values of the average annual migration, from 4.2 m/year to 5.2 m/year. This data instructs very intensive dynamics of riverbanks in the last decade. An interesting example represents meander 7, which has achieved an average change of 3.9 m/year for almost

100 years, while in the last seven years that value was as high as 5.0 m/year. In contrast, on meander 6, a lower intensity of riverbank movements were registered - 1.2 m/year compared to 3.9 m/year in a 96-year period.

Due to different local physical-geographical and socio-geographical characteristics, the riverbank morphodynamic, on the investigated sectors, had a different rate. Using the Historical Imagery technique within Google Earth, it is possible to identify the positions of riverbanks in the last decade and thus determine the lateral channel migration intensity. The second sector was chosen as an example, with meanders 3 and 4 (previously largest changes in the last period were determined). In the period of 32 months (September 2013-April 2015), significant values of lateral channel migration were registered on both meanders (meander 3 - 13.2 m, and meander 4 - 31.9 m) (Fig. 3). The obtained values represent on average 85% of the total intensity of the lateral changes during the third analyzed period (2013-2020). Therefore, the main disadvantage of this indicator is that it does not give a realistic state of the annual lateral movements, but only the annual average changes for the entire time period. In a short time period, of even a few days, it is possible to reach a lateral migration values proportional to the value for a longer period of time, as evidenced by some of the previously mentioned studies (Carroll et al., 2004; Dragicevic et al., 2017).



*Fig. 3. Graphical view of the South Morava River lateral channel migration (2013-2015) on the second sector*

What is the main reason for the intensive lateral migration of the South Morava River in the observed period of 32 months? As mentioned earlier, various natural and anthropogenic factors influence lateral channel migration rates, with special emphasis on the occurrence of maximum discharge values. Based on previous researches, a declining trend of mean annual discharge values of the South Morava River was registered (based on the Mann-Kendall test, the trend value was -1.2), which is in accordance with the most rivers in Serbia (Langović et al., 2017). Analyzing by seasons, a slightly increasing trend of river discharge values can be determined only during the spring season (trend value of 0.5), which is an important characteristic, considering that the maximum daily discharge most often occurred during the mentioned season. The year 2015 was singled out as one of those in which significant values of mean annual and maximum discharges were recorded at the nearest hydrological stations Korvingrad and Mojsinje in the 50-year



period (1968-2017) (Langović, 2019). The same year, based on the classification of years by wateriness, was singled out as very rich in water, with an average annual discharge of  $137 \text{ m}^3/\text{s}$ , compared to the average annual discharge for the entire period of  $87 \text{ m}^3/\text{s}$  at the station Mojsinje (32% higher value). The maximum river discharge value in 2015 was  $1,050 \text{ m}^3/\text{s}$  (Mojsinje station) and  $821 \text{ m}^3/\text{s}$  (Korvingrad station), which in the last 20 year represents the highest recorded value (after 2010 when the maximum river discharge was  $1,200 \text{ m}^3/\text{s}$  at the station Mojsinje). The intensive precipitation in the South Morava River Basin, in the period from March 30 to April 2, 2015, resulted in the formation of a more intense flood wave in the lower part of the course. The mentioned phenomena could be one of the key factors for the registered lateral channel migration rates in a given period of time. Succeeding research should be directed towards a more detailed analysis of climatic and hydrological conditions during the observed period, in order to justify the accuracy of this hypothesis.



*Fig. 4. Active meander 4 (second sector) and example of river bank erosion on meander 3 (second sector) on the South Morava River (Source: Author)*

## **Conclusion**

The study of the lateral channel migration process is an actual and contemporary research topic, as evidenced by a large number of scientific papers and studies in which this concept is viewed in an interdisciplinary manner. In this type of research, the spatial-geographical aspect comes to the expression especially when considering historical and recent changes related to lateral channel migration and later placing registered changes in a correlation with variations of physical-geographical and socio-geographical indicators. In the area of the Pannonian Basin and its southern rim, on the territory of Serbia, where the lowland relief is dominant, lateral channel migration is the most significant geomorphological and fluvial process, and therefore represent an excellent base for research of this type. Through this paper, the fundamental base of spatial and temporal study of riverbank dynamic of the South Morava River, is given, by determining the position of shorelines in different time sequences (1924-2020) and by their comparison. The ultimate goal of the paper was to calculate the values of the maximum and average lateral channel migration of the South Morava River on three representative sectors. The maximum lateral migration values ranged up to 507 m for the period 1924-2020 (meander 2), while in smaller time cycles the value of the average annual movement was even more significant ( $5.2 \text{ m/year}$  for a period of seven years - meander 3). The obtained data could serve as a basic for detailed explanation and analysis of the causes that led to historical and recent changes, and later for quantitative and qualitative study of the

consequences on the environment and the surrounding area. In future research, it is necessary to elaborate this process in more detail and complexity, to calculate the rates along the entire course of the river, and to explain with facts and results every change that has been registered. The importance of knowing all the obtained data and results is the possibility of their usage for developing plans and strategies of different content, for the spatial analysis, for the environmental protection, socio-economic development, spatial planning, etc.

### **Acknowledgements**

This work is the result of research on the project no. 176017 funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

© 2020 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

### **References**

- Ahmed, A. & Fawzi, A. (2009). Meandering and bank erosion of the River Nile and its environmental impact on the area between Sohag and El-Minia, Egypt. *Geosciences Journal*.
- Bertalan, L., Novak, T., Nemeth, Z., Rodrigo-Comino, J., Kertesz, A. & Szabo, S. (2018). Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary. *Water*, 10, 1-21.
- Bertalan, L., Rodrigo-Comino, J., Surian, N., Šulc Michalkova, M., Kovacs, Z., Szabo, S. & Hooke, H. (2019). Detailed assessment of spatial and temporal variations in river channel changes and meander evolution as a preliminary work for effective floodplain management. The example of Sajó River, Hungary. *Journal of Environmental Management*, 248, 1-19.
- Blanka, V. & Kiss, T. (2011). Effect of different water stages on bank erosion, case study on River Henrad, Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(2), 101-108.
- Borisavljević, A. & Kostadinov, S. (2012). Integrated river basin management of Južna Morava River. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 92(1), 135-160.
- Briaud, J.L., Chen, H.C., Chang, K.A., Chung, Y.A., Park, N., Wang, W. & Yeh, P.H. (2007). Establish guidance for soils properties-based prediction of meander migration rate. *Technical report FHWA/TX 07/0-4378-1*. Retrieved from <http://tti.tamu.edu/documents/0-4378-1.pdf>
- Bufe, A., Turowski, J., Burbank, D., Paola, C., Wickert, A. & Tofelde, S. (2019). Controls on the lateral channel-migration rate of braided channel systems in coarse non-cohesive sediment. *Earth Surface processes and landforms*, 44, 2823-2836, DOI:10.1002/esp.4710.
- Carroll, R.W.H., Warwick, J.J., James, A.I. & Miller, J. (2004). Modeling erosion and overbank deposition during extreme flood conditions on the Carson River, Nevada. *Journal of Hydrology*, 297, 1-21.
- Cunha, E.R., Bacani, V.M. & Panachuki, E. (2017). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS in a watershed occupied by rural settlement in the Brazilian Cerrado. *Natural Hazards*, 85, 851. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2607-3>.
- Darby, S., Leyland, J., Kumm, M., Rasanen, T. & Lauri, H. (2013). Decoding the drivers of bank erosion on the Mekong River: The roles of the Asian monsoon, tropical storms, and snowmelt. *Water resources research*, 49, 2146-2163. DOI: 10.1002/wrcr.20205, 2013.
- Das, T., Hladar, S., Gupta, I. & Sen, S. (2014). River Bank Erosion Induced Human Displacement and Its Consequences. *Living Rev. Landscape Res.*, 8(3).
- Depret, T., Gautier, E., Hooke, J., Grancer, D., Vermoux, C. & Brunstein, D. (2017). Causes of planform stability of a low-energy meandering gravel-bed river (Cher River, France). *Geomorphology*, 285, 51-81.

- Dragičević, S., Tošić, R., Stepić, M., Živković, N. & Novković, I. (2013). Consequences of the River Bank Erosion in the Southern Part of the Pannonian Basin: Case Study Serbia and the Republic of Srpska. *Forum geografic. Studii și cercetări de geografie și protecția mediului*, 12(1), 5-15.
- Dragičević, S., Pripuzić, M., Živković, N., Novković, I., Kostadinov, S., Langović, M., Milojković, B. & Čvorović, Z. (2017). Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study—Kolubara River Basin (Serbia). *Water*, 9, 748.
- Гавриловић & Дукић (2014). *Реке Србије*. Београд: Завод за уџбенике. [Gavrilović & Dukić (2014). *Reke Srbije*. Beograd: Zavod za udžbenike.]
- Gholami, V. & Khaleghi, M. R. (2013). The Impact of Vegetation on the Bank Erosion (Case Study: The Haraz River). *Soil and Water Resources*, 8(4), 158-164.
- Giardino, J. & Lee, A. (2011). *Rates of Channel Migration on the Brazos River*. Department of Geology & Geophysics.
- Greco, F., Zaharia, L., Ioana-Toroimac, G. & Armas, L. (2016). Floods and Flash-Floods Related to River Channel Dynamics. In: *Landform Dynamics and Evolution in Romania*. 1-24.
- Hai, D., Umeda, S. & Yuhi, M. (2019). Morphological Changes of the Lower Tedoru River, Japan, over 50 Years. *Water*, 11, 1-16.
- Hooke, J. (2007). Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology*, 84, 277–296.
- Jautzy, T., Herrault, P., Chardon, C., Schmitt, L. & Rixhon, G. (2020). Measuring river platform changes from remotely sensed data- a Monte Carlo approach to assessing the impact of spatially variable error. *Earth Surf, Dynamic.*, 8, 471-484.
- Langović, M., Manojlović, S. & Čvorović, Z. (2017). Trends of mean annual river discharges in the Zapadna Morava River Basin. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 97(2), 19-45.
- Langović, M. (2019). Annual and seasonal variations of river discharges in the South Morava River Basin (Republic of Serbia). In *proceedings of International Scientific Symposium New trends in Geography*, Ohrid, Republic of North Macedonia (p. 27-36). Ohrid: Makedonsko geografsko društvo. ISBN 978-608-65155-6-0.
- Lotsari, E., Vaaja, M., Flener, C., Kaartinen, H., Kukko, A., Kasvi, E., Hyyppä, H., Hyyppä, J. & Alho, P. (2014). Annual bank and point bar morphodynamics of a meandering river determined by high-accuracy multitemporal laser scanning and flow data. *Water resources research*, 5532-5559.
- Nadudvari, A. & Czajka, A. (2014). Statistical calculation of the Tisza river channel changes along Vezseny and Martfu (Hungary) from 1873-2010. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(2), 57-70.
- Palmer, J., Schilling, K., Isenhardt, T., Tomer, M. & Schultz, R. (2014). Streambank erosion rates and loads within a single watershed: Bridging the gap between temporal and spatial scales. *Geomorphology*, 209, 66-78.
- Petković, S. (1995). *Geneza i transport nanosa u slivu Južne Morave i uslovi njenog korišćenja*. Beograd: Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Petrovski, J. & Timar, G. (2009). Channel sinuosity of the Körös River system, Hungary/ Romania, as possible indicator of the neotectonic activity. *Geomorphology*, 30.
- Richard, G., Julian, P. & Baird, D. (2005). Statistical analysis of lateral migration of the Rio Grande, New Mexico. *Geomorphology*, 71, 139-155.
- Roksandic, M., Dragicevic, S., Zivkovic, N., Kostadinov, S., Zlatic, M. & Martinovic, M. (2011). Bank erosion as a factor of soil loss and land use changes in the Kolubara River Basin, Serbia. *African Journal of Agricultural Research*, 6(32), 6604-6608.
- Sarma, J.N. & Acharjee, S. (2012). Bank erosion of the Brahmaputra River and Neotectonic activity around Rohmoria Assam, India. *Comunicações Geológicas*, 99(1), 33-38.
- Sylvester, Z., Durkin, P. & Covault, J. (2019). High curvatures drive river meandering. *Geology*, 47(3)
- Tho, N. (2019). Coastal erosion, river bank erosion and landslides in the Mekong Delta: Causes, effects and solutions. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, 957-962.
- Tošić, R., Lovrić, N. & Dragičević, S. (2014). Land use changes caused by bank erosion along the lower part of the Bosna River from 2001 to 2013. *Bulletin of the Serbian geographical society*, 94(4), 49-58.

- Tripathy, B. & Mondal, M. (2019). Impact of Riverbank erosion on Human life. *Thematics Journal of Hydrology*, 8, 53-56.
- Winterbottom, S. (2000). Medium and short-term channel change on the Rivers Tay and Tummel. *Geomorphology*, 34(3-4), 195-208.
- Yang, S., Bai, Y. & Xu, H. (2018). Experimental Analysis of River Evolution with Riparian Vegetation. *Water*, 10, 1500.
- Yao, Z., Ta, W., Jia, X. & Xiao, J. (2011). Bank erosion and accretion along the Ningxia–Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008. *Geomorphology*, 127(1-2), 99-106.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghase, H.R., Zakizadeh, H.R. & Tabibian, S. (2017). Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology*, 304, DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.12.03.

---

Оригинални научни рад

UDC: 627.152.12 (497.11 reka Južna Morava)  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2001001L>

Примљено: 13. априла 2020.

Исправљено: 07. маја 2020.

Прихваћено: 03. јуна 2020.

**Марко Ланговић<sup>1\*</sup>**

*\* Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија*

## **ИСТРАЖИВАЊЕ ПРОЦЕСА ЛАТЕРАЛНОГ ПОМЕРАЊА ОБАЛА НА ПРИМЕРУ РЕКЕ ЈУЖНЕ МОРАВЕ (СРБИЈА)**

**Апстракт:** Морфолошка еволуција флувијалног рељефа низијских простора детерминисана је динамиком процеса латералног померања речних обала. Миграција речних обала и појава меандрирања су континуирани, динамични и комплексни процеси, чији интензитет и дејство утичу на модификовање алувијалних равни и обалског појаса. Сходно томе, реч је о актуелној тематици посматраној из домена различитих научних дисциплина и праксе, укључујући и географски аспект проучавања. Директно или индиректно, варијације природних и антропогених процеса и појава, утичу на промене интензитета латералног померања обала, што се касније манифестује кроз перманентне последице по окружење и животну средину. Циљ рада представља истраживање процеса латералног померања обала, кроз преглед и обраду теоријских и методолошких поставки и резултата савремене научне литературе. У раду су, на примеру специфичних деоница реке Јужне Мораве, одређене вредности максималне латералне миграције по различитим временским периодима. Издвојена су три репрезентативна сектора на којима је утврђена просторно-временска динамика, док је процес померања обала квантитативно и графички представљен. На основу добијених података, извршена је компаративна анализа, која је указала на значајне промене положаја обалских линија на посматраним меандрима у периоду 1924-2020. Посебан нагласак је на анализи интензитета померања у последњој деценији наведеног периода. Добијени резултати се даље могу користити у циљу израде и имплементације планова о управљању водама и земљиштем, заштите животне средине и стратегија социо-економског развоја.

**Кључне речи:** латерална миграција, ерозија обала, Јужна Морава, меандар

---

<sup>1</sup> markolangovic@yahoo.com (аутор за кореспонденцију)

## Увод

Латерално померање речних обала представља континуиран и динамичан процес меандрирајућих река и својствен је низијским теренима (Bertalan et al., 2018; Sylvester et al., 2019). Интензитет и варијације вредности овог процеса контролишу динамику развоја флувијалног рељефа низијских терена и појаву диверзитета различитих флувијалних творевина – рушевних обала и спрудова (Hooke, 2007; Bufe et al., 2019). Губитак земљишта деловањем бочне ерозије је перманентан, па је самим тим ефекат значајнији (Yousefi et al., 2017). Иако формална дефиниција стабилности речних обала није прецизирана у научној литератури, контекст у којем се овај термин користи имплицира на то да је обала стабилна уколико се не мења приметно у оквиру дефинисаног временског оквира (Das, 2014).

Приликом испитивања тематике латералног померања, посебно је значајна анализа еволутивног развоја и утврђивање рецентног стања флувијалног процеса. Истраживања овог процеса заснована су на различитим просторно-временским скалама, у зависности од доступних података. Највећи број студија (Yao et al., 2011; Bertalan et al., 2018; Yang et al., 2018.) еволутивни развој морфодинамике прати кроз временске секвенце до 50 или 100 година. Значај ових истраживања се огледа у могућности коришћења добијених резултата приликом израде и имплементације планова о управљању водама и земљиштем, заштите животне средине и стратегија социо-економског развоја (Cunha et al., 2017). У складу са тим, одређен број научних истраживања бави се деградацијом речних обала највећих светских река (Ahmed & Fawzi, 2009; Sarma & Acharjee, 2012; Tho, 2019) у чијим сликовима је концентрисан велики број становника и привредних делатности, где процес интензивне латералне миграције представља важан фактор трансформације окружења. Последице, које процес померања обала изазива, могу се груписати у социо-економске (губитак земљишта и промена намене његовог коришћења, утицај на становништво, насеља и економске делатности), хидролошке (промене вредности протицаја и брзине воде), еколошке (угроженост станишта биодиверзитета), геополитичке (у случају када меандрирајућа река представља државну границу) (Dragicević et al., 2013; Palmer et al., 2014).

Варијације у морфодинамици речних обала условљене су просторно-временском динамиком природних и антропогених фактора, њиховим показатељима и узајамним деловањем. Као најделотворнији агенси, који директно утичу на промене положаја речних обала, издвајају се хидролошки показатељи, који су одређени осцилацијама вредности средњегодишњих, сезонских и дневних протицаја, појавом и интензитетом максималних или минималних протицаја, дејством и обимом кишних поводња итд. Током поплавних таласа велика количина воде и седимената транспортује се реком интензивирајући процесе латералног померања - ерозије обала са једне стране и акумулације седимената са друге стране (Grecu et al., 2016). Корелациони однос између морфодинамике речних обала и појаве максималних дневних и сезонских вредности протицаја у фокусу је многих истраживања (Carrol et al., 2004; Blanka et al., 2011; Giardino & Lee, 2011; Lotsari, 2014, Dragicevic et al., 2017). Постојање везе између екстремних хидролошких појава и интензивног померања обала доказали су Carrol et al. (2004) (Карсон, САД) и Dragicevic et al. (2017) (Колубара, Србија), указујући на чињенице да је само једна поплава већих размера одговорна за око 85% еродираних обала у вишегодишњем временском периоду. У ширем

контексту, варијације хидролошких показатеља, одраз су промена вредности климатских елемената, пре свега количине падавина и температуре ваздуха (Darby et al., 2013). У савременој научној литератури (Gholami & Khaleghi, 2013; Bertalan et al., 2018; Yang et al., 2018) посебна пажња посвећена је значајној улози биогеографских фактора у измени својстава обалског појаса, нарочито кроз функцију вегетације у процесу стабилизације речних обала и редуковања брзине воде. Утицај антропогених активности на морфодинамику речних обала манифестује се двојачко – директно, у виду регулационих радова, просецања меан-дара, експлоатације шљунка и песка, конструкције брана итд., и индиректно, у виду интензивирања процеса дефорестизације, економских и насеобинских активности у сливу, промена у намени коришћења земљишта и антиерозивних радова (Depert, 2017). Варијације вредности показатеља природних процеса могу напредовати споро и бити практично неприметне, док људске активности индиректно могу утицати на динамичније промене трендова природних процеса, што може резултирати крајњим интензивирањем латералног померања обала (Hai et al., 2019). На бројне проблеме који настају миграцијом речних обала указали су Tripathy & Mondal (2019), са посебним фокусом на последице по примарни сектор делатности.

Латерална миграција представља и најзначајнији геоморфолошки процес алувијалних равни река у Панонском басену и његовом јужном ободу о чему сведочи већи број радова (Petrovszki & Timar, 2009; Blanka & Kiss, 2011; Nadudvari & Czajka, 2014; Тошић et al., 2014; Bertalan et al., 2018; Bertalan et al., 2019). Резултати ових студија показали су постојање промене синусоидности речног тока и интензивног бочног померања у последњих неколико деценија, нарочито након периода одрађених регулационих радова. Утврђивање интензитета латералног померања и утицаја на околни простор нема широку истраживачку прошлост на територији Србије. Ипак могуће је евидентирани научне радове (Roksandic et al., 2011; Dragičević et al., 2013; Dragičević et al., 2017) који третирају поменуту проблематику (реке Колубара, Дунав, Дрина) и студије који тематику латералног померања обала третирају са различитих аспеката.

Циљ овог рада представља истраживање процеса латералног померања обала, преглед савремене иностране и домаће научне литературе, као и представљање њихових резултата у вези са датом тематиком. Посебан акценат у раду је стављен на проучавања латералне миграције обала на примеру реке Јужне Мораве. Издвојена су три репрезентативна сектора на којима су утврђене просторно-временске промене (1924-2020.), док је процес померања обала квантитативно и графички представљен.

## **Материјал и методи**

Методолошки поступак истраживања латералног померања речних обала подразумева примену различитих концепта заснованих на просторно-еволутивном приступу. Од посебног интереса је квалитативно и квантитативно разумевање процеса и сагледавање трансформације флувијалног рељефа под утицајем латералног померања обала (Giardino & Lee, 2011). Briaud et al. (2007) су издвојили и објаснили најчешћа три приступа приликом проучавања проблематике латералног померања речног тока. Највећи акценат је стављен на вредновање стопе и магнитуде померања обала кроз примену емпиријског и теренског метода, приступа просторно-временске динамике и приступа моделовања у циљу предвиђања будућих тенденција

развоја процеса. У зависности од доступних података и материјала, постављених циљева и задатака и утврђеног методолошког поступка, тематика латералне миграције усмерена је ка проучавању историјског развоја обалског појаса, савремених годишњих и сезонских промена положаја обала, као и корелације са могућим узроцима и последицама који овај процес има на окружење.

Историјски развој померања речних обала може се пратити и утврдити коришћењем базе података која укључује бројне пројекте и елаборате, аерофото и ортофото снимке и картографске материјале из различитих временских периода (Jautzy et al., 2020). Као најстарији извор података, у раду су коришћене карте (1:25.000) из 1924. године ("Секција за испитивање реке Мораве" у оквиру Генералне дирекције вода). Топографске карте из 1971. године (1:25.000) и ортофото снимци из 2013. и 2020. године коришћени су за добијање положаја обала у датим временским пресецима. Дигитализовање леве и десне обале, извршено је коришћењем ГИС софтвера Geomedia Professional. Након тога су употребом компаративног метода, утврђене просторно-временске промене између свих посматраних периода. На крају је сагледана генерална слика морфодинамике речних обала, упоређивањем стања почетне и крајње године у оквиру 96-годишњег временског циклуса. У циљу утврђивања годишње динамике у последњих неколико година, коришћена је посебна техника програма Google Earth, "Historical Imagery", која је омогућила приказивање и мењање одређених временских пресека.

Постојање различитих локалних услова терена условило је коришћење специфичне методологије за детектовање обалских линија (Winterbottom, 2000; Richard et al., 2005). За обале које нису покривене шумском вегетацијом, већ травнатим покривачем или пољопривредним културама, обалска линија меандра јасно је уочљива. Код меандара оивиченим шумском вегетацијом, обалска линија је извучена по ивици вегетације и фрагментисаних делова обале, које настају током појаве великих вода. На местима појаве акумулације материјала у виду спрудова, обалска линија је установљена као гранична између појаса вегетације и спруда, док је на локацијама где се дрвеће налази на самој обали, линија извучена кроз центар крошњи дрвећа.

### ***Просторни оквир истраживања***

За потребе истраживања процеса латералног померања обала у овом раду, одабрана је река Јужна Морава, чији је ток, због карактеристика терена и морфодинамике, погодан за проучавање. Јужна Морава настаје спајањем Биначке Мораве и Прешевске Моравице на надморској висини од 392 m, недалеко од Бујановца. Њена долина је композитна и састоји се из више клисура и сужења (Грделичка клисура, Печењевачко и Мезграјско сужење, Сталаћка клисура) и котлина (Врањска, Лесковачка, Брестовачка, Нишка и Алексиначка). Површина слива Јужне Мораве износи 15.469 km<sup>2</sup>, од којих се мањи делови налазе на територији Републике Бугарске и Северне Македоније (Гавриловић & Дукић, 2014; Borisavljević & Kostadinov, 2012). Укупна дужина Јужне Мораве износи 234,3 km (2013. година) са нешто краћом левом обалом (232,7 km) у односу на десну (235,9 km). У поређењу са дужинама обала добијеним на основу мерења са топографске карте из 1971. године (у просеку 248 km) могуће је констатовати смањење за око 4,5%, што је последица регулационих радова просецања меандара. Долина Јужне Мораве може се поделити на више различитих



морфолошких целина које се најчешће означавају као горњи, средњи и доњи ток. Најинтензивније рецентне варијације положаја обала регистроване су у доњем и средњем делу тока Јужне Мораве, низводно од Грделичке клисуре.

*Сл. 1. Локације три репрезентативна сектора на току Јужне Мораве (стр. 5)*

Због предиспонираности и конфигурације самог терена, на току Јужне Мораве лоциран је значајан број меандрирајућих сектора на којима је постојан процес латералног померања речног тока. За потребе израде рада, а у складу са дефинисаним циљем, из истраживања су изузети сектори на којима су вршени регулациони радови у виду просецања меандара. Током 20. века, а нарочито 1960-их година, извршено је просецање неколико важних речних кривина на току Јужне Мораве. Petković (1995) је издвојио 11 већих просека на Јужној Морави, лоцираних у доњем делу тока, који су извршени у периоду 1924-1994. године..

*Таб. 1. Основни морфометријски показатељи меандара у оквиру три репрезентативна сектора*

С	М	Р (km)		Дужина леве обалске линије (m)				Дужина десне обалске линије (m)			
		од	до	1924.	1971.	2013.	2020.	1924.	1971.	2013.	2020.
I	M1	31,6	33,2	1.255	1.828	1.842	1.844	1.228	1.665	1.713	1.721
	M2	33,2	34,7	1.016	1.221	1.244	1.249	1.034	1.424	1.478	1.501
II	M3	58,3	58,9	572,9	701	757,3	805,1	726,1	729,3	797,6	836,7
	M4	58,9	60,1	1.471	1.163	1.407	1.493	1.561	1.265	1.316	1.325
III	M5	120,1	120,8	683,2	779,8	1.018	1.020	737,9	744,4	883,8	889
	M6	120,8	122,2	907,2	1.068	1.433	1.454	863,6	1.176	1.528	1.555
	M7	122,2	122,9	745,9	795	799	814	913	823	749	756

С – сектор; М – меандар; Р (km) – речни километар;

Неколико сектора који се одликују најнестабилнијом трасом речног тока (они који су у историјском и савременом периоду интензивно мењали морфометријске карактеристике својих обала) су појас Ђунис-Љубеш, Тешица-Алексиначки Бујмир, зона око ушћа реке Нишаве и појас Грданица-Доња Локошница (узводно и низводно од ушћа реке Јабланице). За потребе приказа интензитета латералне миграције, у овом раду су издвојена три репрезентативна сектора (Сл.1; Таб. 1) са седам значајних меандара. Због покривања ширег дијапазона локалних физичко-географских и друштвено-географских одлика, меандри су лоцирани у распону од 31. до 123. речног километра.

## Резултати и дискусија

Сагледавањем и разматрањем текстуалне и картографске литературе о Јужној Морави, издвојени су репрезентативни сектори на којима су уочљиве промене положаја речних обала током посматраног периода (1924-2020.). На њима је регистровано седам меандарских кривина које су узете у разматрање и квантификовање процеса латералног померања обала (Таб. 1). Први сектор лоциран је у доњем делу тока Јужне Мораве између деоница на којима су обављени регулациони радови просецања меандара, што је умногоме утицало и на динамику кретања речних обала (због заштите локалних насеља око меандра 1 урађена је обалоутврда). Око 20 km узводно лоциран је други сектор, који се такође састоји од два меандра чије су обале махом оивичене пољопривредним земљиштем и ниском

жбунастом вегетацијом. Трећи, најузводнији сектор, карактеришу три меандарске кривине чије су леве стране ограничене шумско-жбунастом вегетацијом, а десне ораничним површинама. Анализирајући податке из Таб. 1. могу се увидети значајне промене у дужини обалских линија посматраних меандара (1924-2020.). Највећи индекси промена дужине обалске линије забележени су код меандра 1 на првом сектору, где је забележено повећање дужине за чак 32%, меандра 3 (други сектор) са повећањем од око 28% и меандара 5 и 6 (трећи сектор) са 32%, односно 37%. Наведени подаци иду у прилог чињеници о постојању изразитог процеса латералног померања обала. Да је процес актуелан и у последњој деценији посматраног периода, говори податак о дужини меандра 3 (други сектор) на којем је регистровано повећање од готово 40 m за седам година (2013-2020.), односно у просеку 5,7 m/god.

Таб. 2. Максимална латерална миграција Јужне Мораве на репрезентативним меандрима

С	М	1924-2020.		1971-2020.		2013-2020.	
		MLM (m)	ALM (m/god)	MLM (m)	ALM (m/god)	MLM (m)	ALM (m/god)
I	M1	304,5	3,2	10,6	0,2	1,2	0,1
	M2	507,4	5,3	16,5	0,3	1,6	0,2
II	M3	136,5	1,4	93,9	1,9	15,2	2,2
	M4	465,9	4,8	239,2	4,8	36,3	5,2
III	M5	380,7	3,9	146,5	2,9	29,5	4,2
	M6	448,5	4,7	223,9	4,6	8,1	1,2
	M7	370,5	3,9	159,1	3,2	35,2	5,0

С – сектор; М – меандар; MLM – максимална латерална миграција; ALM – просечна латерална миграција;

Одабране деонице тока Јужне Мораве издвојене су и графички представљене (Сл. 2). Еволутивни развој меандара, по раније објашњеним и наведеним изворима података, може се пратити у временском низу од скоро 100 година (1924-2020.). На најнижводнијем сектору (Сл. 2а) забележене су вредности максималне латералне миграције у распону од око 304 m (меандар 1) до 507 m (меандар 2) за читав посматрани период. Просечне годишње вредности максималне латералне миграције кретале су се од 3,2 до 5,3 m/god. Високе вредности интензитета латералног померања регистроване су на меандру 4 (Сл. 2б) (други сектор), у просеку 4,8 m/god, док су на меандру 3 забележене најниже вредности (у просеку 1,4 m/god) за читав посматрани период. На трећем сектору (Сл. 2с), на сва три меандра, забележене су вредности максималног бочног померања у распону од 370,5 m (меандар 7) до 448,5 m (меандар 6). Просечна годишња померања обала су се кретала од 3,9 m/god до 4,7 m/god. На основу добијених вредности, могуће је указати на појаву врло динамичних деоница тока Јужне Мораве, које су за период од 96 година, у просеку мењале свој положај за око 373 m (3,8 m/god), што је засигурно имало ефекта на трансформацију постојећег флувијалног рељефа.

За јасније разумевање добијених резултата, приказане су и промене које су се догодиле у мањим временским циклусима (1971-2020. и 2013-2020.). За проучавање латералног померања Јужне Мораве посебно је значајан временски период 1971-2020., јер је већина регулационих радова на њеном току извршена 60-их година прошлог века, што је умногоме утицало и на тренд природног латералног процеса на меандрима који су лоцирани низводно. На првом сектору (Сл. 2а) евидентне су минималне вредности (0,2 и 0,3 m/god) просечног максималног латералног

померања обала, као последице конструисања обалоутврда и антропогеног уређења тока Јужне Мораве на обе речне кривине. На другом истраживаном сектору (Сл. 2b) вредности максималног латералног померања су нешто више након 70-их година у односу на претходни период 1924-1971. (посебно на меандру 3 на којем је забележено повећање за више од 50%). За разлику од прва два сектора, на трећој истраживаној деоници (Сл. 2c), у два временска циклуса (1924-1971. и 1971-2020.) вредности интензитета латералног померања су приближно подударне – нпр. меандар 6 – 4,7 m/god (за период од 47 година), односно 4,6 m/god (за период од 49 година).

*Сл. 2. Графички приказ просторно-временских промена тока Јужне Мораве – а) – први сектор (меандри 1 и 2), б) други сектор (меандри 3 и 4), в) трећи сектор (меандри 5, 6 и 7) (стр. 7)*

Узимајући у обзир да је фокус рада и на рецентним променама, на крају је дат последњи временски период у дужини од седам година (2013-2020.) да би се указало на савремене трендове у вредностима максималног латералног померања обала. На већини меандара другог и трећег сектора можемо уочити највеће забележене вредности просечног годишњег померања, од 4,2 m/god до 5,2 m/god. Овакав податак указује на постојање веома интензивне динамике речних обала у последњих десет година. Интересантан је пример меандра 7, који је за готово 100 година остварио просечно померање од 3,9 m/god, док је у последњих седам година та вредност износила чак 5,0 m/god. Супротно њему, на меандру 6 регистрован је нижи интензитет померања обала – 1,2 m/god наспрам 3,9 m/god у 96-годишњем периоду.

Због различитих локалних физичко-географских и друштвено-географских карактеристика, морфодинамички развој обала на истраживаним секторима кретао се различитим темпом. Коришћењем технике "Historical Imagery" у оквиру програма Google Earth, могуће је идентификовати положаје обалских линија у последњој деценији и тиме одредити вредност интензитета латералног померања. За пример је узет други сектор, и меандри 3 и 4, на којима су раније утврђене највеће промене положаја обалске линије у последњих седам година (2013-2020.). У периоду од 32 месеца (септембар 2013. - април 2015. године) регистроване су изразите вредности померања обалске линије на оба меандра другог сектора (меандар 3 – 13,2 m, а меандар 4 – 31,9 m) (Сл. 3). Добијене вредности максималног латералног померања представљају у просеку 85% од укупног интензитета померања тока током трећег анализираних периода (2013-2020.). Према томе, главни недостатак показатеља просечне годишње вредности латералне миграције речног тока, је тај што не даје реалну слику годишњег померања тока, већ само годишњи просек за читав временски период. У минималном временском оквиру, од чак неколико дана, могуће је достићи вредност латералног померања пропорционалну вредности за дужи временски период, што су доказале и неке од претходно поменутих студија (Carroll et al., 2004; Dragicevic et al., 2017).

*Сл. 3. Графички приказ латералне миграције Јужне Мораве (2013-2015.) на примеру меандара другог сектора (стр. 8)*

Који је разлог интензивне миграције речних обала Јужне Мораве у посматраном периоду од 32 месеца? Као што је раније напоменуто, различити природних и антропогени фактори утичу на варијације латералног померања обала, са посебним нагласком на појаву максималних вредности протицаја. На основу ранијих истраживања, регистрован је опадајући тренд средњегодишњих вредности протицаја

Јужне Мораве (на основу Mann-Kendall теста вредност тренда је износила -1,2), који је у складу са већином река на територији Србије (Langović et al., 2017). Анализирајући према сезонама, може се утврдити благ пораст тренда протицаја једино током пролећне сезоне (вредност тренда од 0,5) што представља битну карактеристику, с обзиром на то да су се максимални дневни протицаји најчешће јављали током наведене сезоне. Година 2015. је издвојена као једна од оних у којој су забележене значајније вредности средњегодишњих и максималних протицаја на најближим хидролошким станицама Корвинград и Мојсиње у 50-годишњем периоду (1968-2017.) (Langović, 2019). Иста година је, на основу рангирања година према водности, издвојена као врло водна са вредношћу средњегодишњег протицаја од 137 m<sup>3</sup>/s, наспрам средњегодишње вредности за читав период која износи 87 m<sup>3</sup>/s на станици Мојсиње (за 32% већа вредност). Максимална вредност протицаја 2015. године, износила је 1.050 m<sup>3</sup>/s (станица Мојсиње) и 821 m<sup>3</sup>/s (станица Корвинград), што у последњем 20-годишњем периоду представља највећу забележену вредност (након 2010. године када је регистрована вредност од 1.200 m<sup>3</sup>/s на станици Мојсиње). Интензивна количина падавина у сливу Јужне Мораве, у периоду 30. март – 02. април 2015. године, имала је за последицу стварање интензивнијег поплавног таласа и изливање Јужне Мораве у доњем делу тока. Управо би поменуте појаве могле бити један од кључних фактора регистрованог померања обала Јужне Мораве у датом периоду. Наредна истраживања је потребно усмерити према детаљнијој анализи климатских и хидролошких стања током посматраног периода, како би се оправдала тачност наведене хипотезе.

*Сл. 4. Приказ активног меандра 4 (други сектор) и пример ерозије обала меандра 3 (други сектор) реке Јужне Мораве (Извор: аутор) (стр. 9)*

## **Закључак**

Проучавање процеса латералног померања речних обала представља актуелну и савремену истраживачку тематику, о чему сведочи већи број научно-истраживачких и стручних радова, студија и елабората у којима је ова концепција сагледана на интердисциплинаран начин. У оваквом типу истраживања просторно-географски аспект долази посебно до изражаја приликом сагледавања историјских и рецентних промена у вези са миграцијом речних токова и касније постављање регистрованих промена у корелациони однос са варијацијама физичко-географских и друштвено-географских показатеља. На простору Панонског басена и његовог јужног обода, на територији Србије, у којем је доминантан низијски рељеф, латерално померање је најзначајнији геоморфолошки и флувијални процес, те стога представља одличну базу за истраживање ове проблематике. Кроз овај рад дате су фундаменталне основе просторно-временског проучавања динамике речних обала, на примеру реке Јужне Мораве, одређивањем њиховог положаја у различитим временским секвенцама (1924-2020.) и међусобном компарацијом. Крајњи циљ рада подразумевао је израчунавање вредности максималног и просечног латералног померања обала Јужне Мораве на три репрезентативна сектора. Вредности максималне латералне миграције су се кретале и до 507 m (период 1924-2020.) (Меандар 2), док је у мањим временским циклусима вредност просечног годишњег померања била још значајнија (5,2 m/god за период од седам година – меандар 3). Добијени резултати могу послужити као основа за накнадно објашњавање и анализу узрока који су довели до историјских и рецентних промена, а касније и за квантитативно и квалитативно

проучавање последица по животну средину и околни простор. У будућим истраживањима потребно је детаљније и комплексније разрадити овај процес на току Јужне Мораве, сагледати вредности интензитета дуж читавог тока реке, и чињеницама и резултатима објаснити сваку промену која је регистрована. Значај познавања свих добијених података и резултата је у могућности њихове примене у изради планова и стратегија различитог садржаја, за потребе просторних анализа, заштите животне средине, социо-економског развоја, планирања и уређења простора итд.

### ***Захвалница***

Овај рад представља део резултата истраживања на пројекту број 176017, које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

© 2020 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

**Литература** (погледати у енглеској верзији текста)