

**Uroš Durlević<sup>1\*</sup>, Ana Momčilović\*, Vladimir Ćurić\*,  
Maja Dragojević\***

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

## **GIS APPLICATION IN ANALYSIS OF EROSION INTENSITY IN THE VLASINA RIVER BASIN**

**Abstract:** This paper analyses the state of erosion intensity in the Vlasina River Basin, the right tributary of the Južna Morava River. To determine the erosion intensity (Z) and sediment production, the Gavrilović method was used, in combination with the bare-soil index (BSI), with the application of geographic information systems (GIS) and multispectral satellite imagery. An erosion coefficient of 0.31 has been identified in the territory of the Vlasina River Basin, which has an area of 1,061.72 km<sup>2</sup>. The prominent vertical fragmentation of the relief, large amount of precipitation in the source parts, density of the river network (1.65 km/km<sup>2</sup>), which is above the average river network density in Serbia, as well as inadequate land exploitation, are the main reasons why it is necessary to monitor the erosion intensity in the Vlasina River Basin. The annual production of the sediment is 462,496.30 m<sup>3</sup>, while the value of specific sediment production is 435.47 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year. This study represents the attempt to apply modern technologies to determine the intensity of erosion in the Vlasina River Basin, and the results obtained could be used for more adequate management of land and water resources, sustainable planning of the forest ecosystems and environmental protection.

**Key words:** Gavrilović method, erosion coefficient, bare-soil index, sediment production, Vlasina River Basin

---

<sup>1</sup> durlevicuros@gmail.com (corresponding author)

## **Introduction**

Soil erosion is the global soil degradation problem that causes significant environmental and socio-economic problems (Eswaran et al., 2001; Gomes de Souza et al., 2018; Ighodaro et al., 2013). The main consequence of land degradation is a significant decrease of its productivity, which directly affects the percentage of the agricultural population in the area (Alam, 2014; Balasubramanian, 2017). Land erosion is one of the most significant forms of land degradation in the Republic of Serbia. Approximately 86% of its territory has the potential for land erosion of varying intensity, to occur. Stronger categories of erosion affect more than 35% of the territory of Serbia south of the Sava and Danube rivers (Lazarević, 1983; Dragičević et al., 2011; Ristić et al., 2012; Kostadinov et al., 2018).

In order to improve the management of the soil erosion process and help decision makers to take appropriate remediation measures and mitigation strategies, the first step is to monitor and assess the condition, so as to obtain adequate and reliable information on land erosion under the conditions of the current climate and land exploitation (Yin et al., 2018; Blanco & Lal, 2010; Kirkby et al., 2008). With the development of different software, depending on the size of the database and the availability of the satellite images, it is possible to determine the erosion intensity and the total deposition production through GIS software packages, and then double check the obtained results in the fieldwork.

Sudden degradation of the terrain and intensification of soil erosion in the Vlasina River Basin began in the mid-19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> century, when the agricultural production was dominant. The greatest attention to the study of soil erosion in this basin was provided only after the great flood that occurred in 1988. The rainfall in certain places in the basin reached up to 220 mm in 4 hours (Gavrilovic et al., 2004). In many places in the Vlasina River Basin, the river has taken bridges, destroyed homes and damaged hundreds of acres of farmland.

The inadequate land exploitation, i.e. tillage at high slopes (over 25%), contributed to the faster runoff of atmospheric water, and thus to the intensification of the process of soil erosion (Urošević et al., 2016). Looking through history, the land exploitation has changed significantly and thus the degree of erosion that has become more intense with the increase in cultivated ploughed land.

## **Materials and methods**

### ***Study area***

Vlasina River Basin covers an area of 1,061.72 km<sup>2</sup> and covers the south eastern part of Serbia, while territorially covers the municipalities of Surdulica, Crna Trava, Vlasotince, Babušnica, Gadžin Han, Leskovac, Pirot and Bela Palanka. West of Vlasotince, Vlasina River flows into the Južna Morava River. In physical-geographical terms, the basin extends from the Lužnica River Basin, across valley of Gornje Zaplanje and one part of the Suva Mountain in the north, up to Vlasina Lake and surrounding terrain in the south. The Vlasina River flows from the artificial reservoir - Vlasina Lake, and flows into the Južna Morava River as its right tributary. The total length of Vlasina River is 65.9 km. The largest part of the geological base of the Vlasina River Basin belongs to the Serbo-

Macedonian mass, formed in the Palaeozoic (Carbon-Perm). The most represented rock complexes the metamorphic rocks (49.31% of the total surface area) while the rest of the basin is mostly covered by the tertiary clastic sediments and mesozoic carbonate rocks. This basin is mostly of hilly-mountainous character, except for the Gornje Zaplanje, the Lužnica Valley and the north-western part of the basin, which is the part of the Leskovac valley. The altitude varies from 233-1,707 m, the mean slope of the terrain in the basin is 13° and is one of the main causes of the higher erosion coefficient in the past, when the agricultural production was very prevalent on the higher slopes of the terrain, which later on led to serious consequences. In the source parts of Vlasina River Basin (1,254 m) during the period 2010-2016, the mean annual temperature was 7.54°C, and the precipitation was 922 mm. At significantly lower terrain, in Vlasotince (271 m), for the period 2011 – 2014, the average annual temperature was 12.4°C and the annual rainfall was 729 mm.

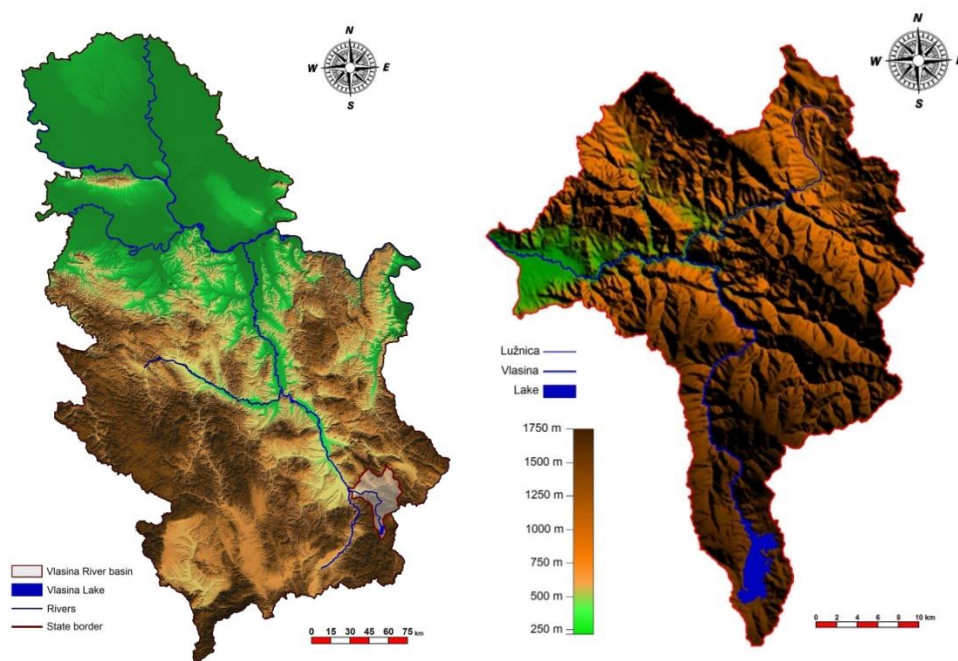


Fig. 1. Map of the geographical location of the Vlasina River Basin

## Methodology

Previous studies have attempted to estimate the soil erosion only on the basis of terrain slope and vegetation index (Hazarika & Honda, 2001). However, one of the best ways to combine DEM and satellite images in the land erosion research is to correctly classify erosion-related spatial parameters, represented through a smaller number of classes (units) (Milevski et al., 2007). More recently, there are numerous methodologies and models for mapping the soil erosion and producing the maps of erosion. The empirical models are more focused on modifying the transport of erosion and sediment at the basin level (Lovrić & Tošić, 2018; Ananda & Herath, 2003; Verstraeten et al., 2003). The

Gavrilović method belongs to the group of regional methods, and has been characterized in the world literature as a semi-quantitative method (de Vente et al., 2005). The practice has shown that the analytical method is long and impractical for exploration in larger catchments, and for this reason, the synthetic method was applied, which is incomparably faster, while maintaining the accuracy of the analytical method. Quantitative values of erosion coefficients have been used to extract erosion intensity across classes or categories (Tošić et al., 2012).

The risk of erosion was analysed on the basis of the method of Gavrilović (1972), according to which the total production of sediment in the basin is calculated according to the following formula:

$$W_{\text{god}} = T \cdot H_{\text{god}} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F, \text{ where}$$

$W_{\text{god}}$  - total sediment production ( $\text{m}^3/\text{year}$ ),  $T$  - temperature coefficient,  $H_{\text{god}}$  - average annual rainfall in mm,  $Z$  - erosion coefficient,  $F$  - catchment area in  $\text{km}^2$

Establishing the change in the intensity of land erosion through the Gavrilović method provides the possibility to determine each of the above factors that appear in a given formula (Mustafić, 2012).

The temperature coefficient ( $T$ ) is given by the following formula (Gavrilović, 1972):

$$T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0.1}, \text{ where}$$

$t$  - average annual temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), for the period 1981-2010, was obtained by analysing the dependence of changes in temperature with changes in altitude on the basis of data from relevant meteorological stations, based on the following formula:

$$t = -0.006 \cdot H + 13.32,$$

where is  $t$  the average annual temperature, while  $H$  represents the value in meters obtained through the digital elevation model (DEM).

The average annual precipitation of  $H_{\text{god}}$  was obtained by analysing the dependence of the changes in precipitation from the relevant precipitation stations for the period from 1981-2010, on the basis of the following formula:

$$H_{\text{god}} = 0.283 \cdot H + 511.9,$$

where  $H_{\text{god}}$  is the average annual rainfall and  $H$  (m) the value obtained through the digital model of altitudes.

The erosion coefficient ( $Z$ ) is calculated on the basis of the following formula (Gavrilović, 1972):

$$Z = Y \cdot X \cdot (\phi + \sqrt{I}), \text{ where:}$$

$Z$  - erosion coefficient;  $Y$  - coefficient of land resistance to erosion;  $X$  - coefficient of land protection from atmospheric factors and erosion;  $\phi$  - coefficient of type of the erosion;  $I$  - average drop in surface area for which the erosion coefficient is calculated.

The coefficient of land resistance to erosion ( $Y$ ) was acquired by analysing the basic geological maps of the SFRY for the area of the Vlasina River Basin, in the ratio of

1:100,000. Depending on the degree of resistance of the geological strata, the coefficient is classified 0.1-1, where the most resistant rocks (limestone, dolomite) have the smallest coefficient. The loose soil that is most susceptible to erosion has the highest coefficient.

*Tab. 1. Coefficient of land resistance (Gavrilović, 1972)*

Erosion resistance coefficient of the substrate	Y
Loose land	0.8 – 1
Skeletal and rocky soil	0.7
Impermeable and impervious rocks (slats, flysch, rocks)	0.6
Permeable and impervious rocks (sand, gravel, loess)	0.5
Semi-permeable rocks	0.4
Impermeable and resistant rocks	0.25
Permeable and resistant rocks	0.1

The coefficient of the land protection from the atmospheric factors and erosion (H) was achieved by the processing and analysis of the geospatial database on the land exploitation methods (Corine Land Cover), issued by the European Environment Agency (EEA). In the range of 0.1–1, the highest coefficient is assigned to the areas without vegetation, where many types of erosion dominate. The forests of good assemblage, due to extremely developed root system, absorb a large amount of rainfall, which would cause the material to be rinsed and carried away in the less resistant terrains.

*Tab. 2. The coefficient of the land purpose*

Substrate protection coefficient	X
Areas without vegetation	1
Plough-land with plowing up and down the slope, vineyards	0.9
Plough-land with plowing along the contour lines	0.8
Multiple-land crop rotation	0.6
Secondary/degraded pastures	0.4
Secondary/degraded forests	0.3
Meadows	0.2
Forests of good assembly	0.1

The coefficient of erosion type ( $\phi$ ) was determined by using the bare-soil index (BSI). For the purpose of obtaining the said index, the multispectral satellite images of the LANDSAT 8 satellite that belongs to the Geological Topographic Institute of the United States (USGS) were used. The remote detection technique has unparalleled advantages and potential in the field of regional land erosion assessment (Vrieling, 2006; Le Roux et al., 2007; Guo & Li, 2009; Mutekanga et al., 2010; El Haj El Tahir et al., 2010). This index (BSI) makes it easier to calculate the erosion coefficient. The bare-soil index is obtained by the following formula:

$$BSI = \frac{(B6+B4) - (B5+B2)}{(B6+B4) + (B5+B2)} + 1,$$

where B6 is the shortwave infrared spectral channel (SWIR 1), B4 is the red spectral channel, B5 is the near infrared spectral channel (NIR), and B2 is the blue spectral channel.

The average surface slope (the terrain slope)  $\sqrt{I}$ , is obtained from the one-hundred-meter digital elevation model (DEM) in the form of a percentage expressed in decimal

notations. As the slope increases, the stability of the slopes decreases, the intensity of erosion increases, and the likelihood of torrential floods rises (Novković, 2016).

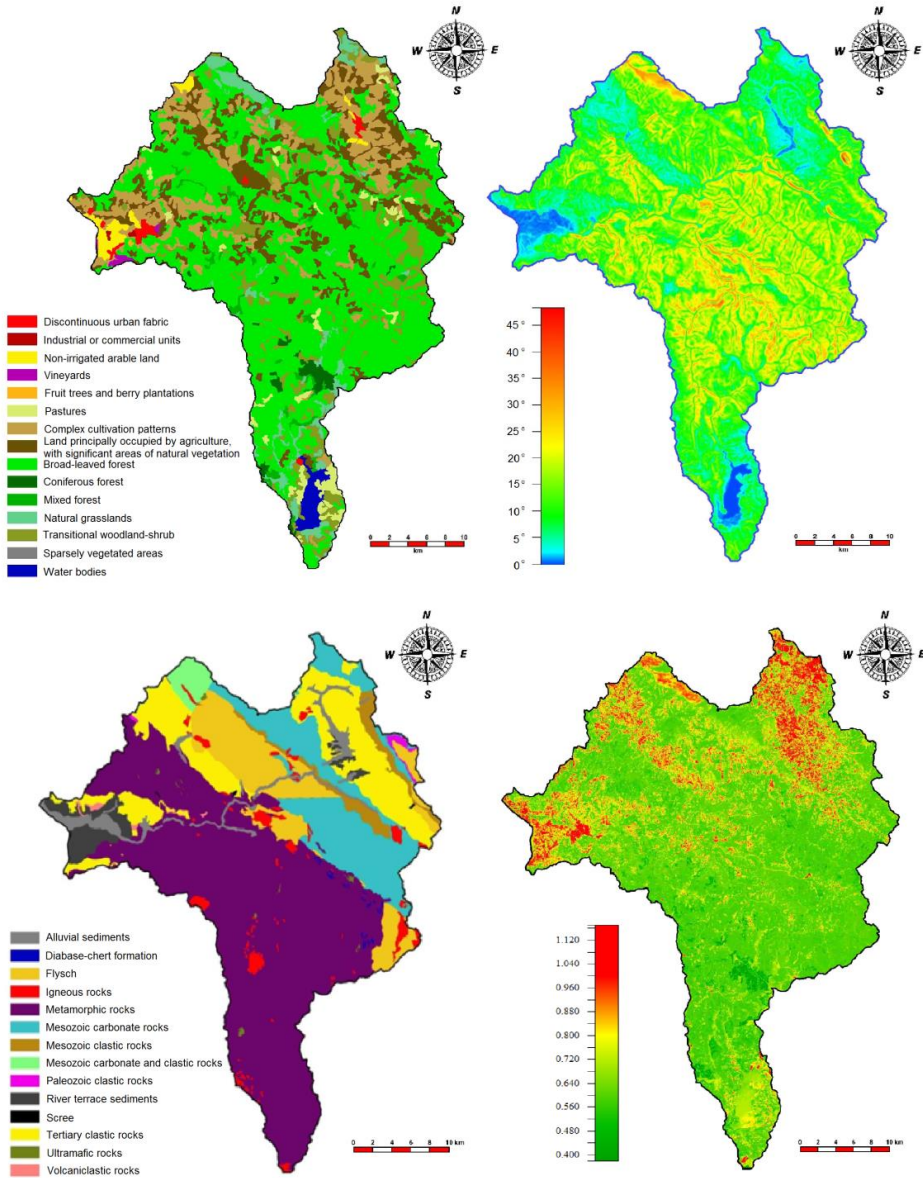
Specific annual production of erosion deposits in the basin ( $W_0$ ) is attained when the total production of erosion sediments is divided by the basin area, and is expressed in  $m^3/km^2/year$ .

## Results and Discussion

According to previous surveys carried out in 1966 (Ванчетовић, 1966), the average erosion coefficient ( $Z$ ) in the Vlasina River Basin was 0.47. During this period, the forest ecosystems comprised 30% of the catchment area, while the quarter of the total catchment area was under arable land. Field investigations with an aim to produce the Erosion Map of Serbia (Lazarević, 1983) during the period 1966-1971, determined the erosion coefficient at the value of 0.55. From 1966-1988, the percentage of arable land increased from 25% to 44.8% of the total catchment area, which caused the great degradation of the terrain and preceded the great flood that had occurred in 1988, when one third of the catchment area was exposed to severe storms and rains of catastrophic proportions (Gavrilovic et al., 2004). During 1995, the value of the erosion coefficient was 0.42, and with the emigration of population and reduced agricultural production, the erosion in the Vlasina River Basin began to weaken. The average erosion coefficient in 2016 was 0.38 (Urošević et al., 2016).

As it is well known, the erosion intensity is constantly influenced by natural factors, while anthropogenic influence is expressed through modification of process intensity. The relief directly affects the surface and linear erosion by its decline and slope length, while altitude and exposition indirectly influence through modification of climate elements. The height of the relief is significant for water erosion, since it indirectly influences the amount and shape of precipitation, as well as the temperature regime (Lazarević, 1975). Due to the extremely large slope of the terrain in most parts of the basin and considerable fragmentation of the relief, the surface erosion and linear erosion have a great influence to the increase of the erosion coefficient. Exposition of the topographic surface also indirectly influences the modification of micro-climatic conditions. As a result of extended insolation and the higher intensity of the solar radiation, there is a higher evaporation on the slope sides exposed to the Sun and, consequently, less water draining (Group of authors, 1990). The process of water erosion is mainly influenced by the climate elements of precipitation and temperature. The precipitation affects it by its shape, duration and intensity, as well as its schedule throughout the year. At higher altitudes in the Vlasina River Basin, the average annual precipitation exceeds 900 mm. The air and land temperatures modify the effect of precipitation (Lazarević, 1975). The average annual temperature in the basin varies from 7.5-12.4°C, depending on the morphometric characteristics of the area that is researched.

Unlike natural conditions, the method of land exploitation represents the anthropogenic factor that significantly affects the degree of erosion. Land erosion is one of the more serious problems of rural agriculture (Ighodaro et al., 2013). In this sense, man is the only factor that can cause and prevent more intensive erosive processes by changing the plant cover, processing of the productive layer or changing the morphological characteristics of the relief.

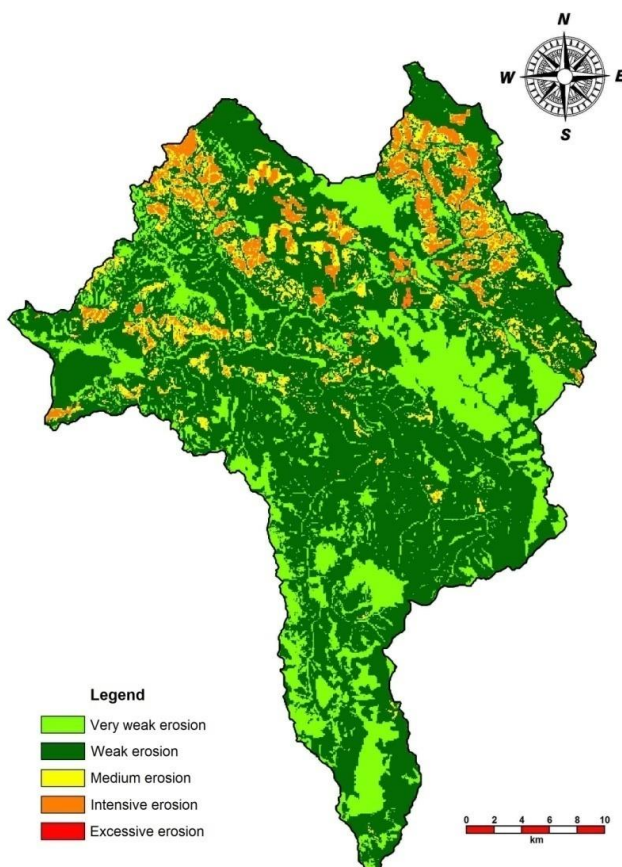


*Fig. 2. Map of land purpose; terrain slope map; geological map; map of the degree of the terrain denudation (BSI)*

Large areas under forest ecosystems may be noticed on the land purpose map, where erosion does not generally present a problem. Compared to 1996, when forests covered only 30% of the basin area, this percentage today amounts to more than 56% and is the consequence of properly implemented anti-erosion measures of afforestation, but also decreased agricultural activity. In the northern part of the basin, the agricultural parcels are largely represented, as well as agricultural areas with natural vegetation, which are

most vulnerable to erosion due to anthropogenic activity and devastation of the surface cover. The slope of the terrain in the central part of the basin is slightly higher than in other parts, while the extent of the terrain denudation is highest in the northern and western parts of the basin. The accelerated erosion is very much influenced by the land cultivation, because the soil breaks down, the oxidation of organic matters accelerates, the absorption reduces due to compaction caused by ploughs, machinery, etc. (Group of authors, 1990). It is not uncommon for corn to be cultivated on the same field for years with ploughing in the direction of the slope. It is well known that ploughing along the contour lines reduces erosion by 2.5 times or even up to 5 times (Lazarević, 1975).

The erosion map (Fig. 3) shows that the loss of land is not as intense as it was during the 1960s, 1970s and 1980s of the last century, but that there is a decrease in the intensity of the process. The largest areas of the basin are characterized by very weak and weak erosion.



*Fig. 3. Map of the land erosion for Vlasina River Basin*

The average erosion coefficient is 0.31, that is, it belongs to the II erosion category, which indicates that the process of the intensive erosion of the land has been stabilized in the most parts of the Vlasina River Basin. The medium, intensive and a very small



percentage of excessive erosion occur in the northern part of the basin, where agricultural parcels and agricultural areas with natural vegetation are represented. In areas where the erosion intensity is medium, intensive or excessive, the appropriate anti-erosion measures should be applied, while in places where erosion is very weak and weak, the state of occurrences and processes should be monitored and controlled. By means of using the geographic information systems, it is possible to identify the areas that are at risk of a greater erosion degree and which could impair the quality of nearby surface waters.

Tab. 3. Types of erosion and share in the total area

Type of erosion	Area (km <sup>2</sup> )	Share in the territory (%)
Very weak	248.11	23.37
Weak	676.84	63.75
Medium	80.26	7.56
Intensive	56.40	5.31
Excessive	0.11	0.01
Total	1,061.72	100.00

It is important to note that the reduced anthropogenic activity (caused by depopulation and migrations) resulted in a lower intensity of erosion. The 2011 census found that the population decreased by as much as 48%, where the rural population decreased by 70% while the number of households declined by 32% during the period from 1948-2011 (Urošević et al., 2016).

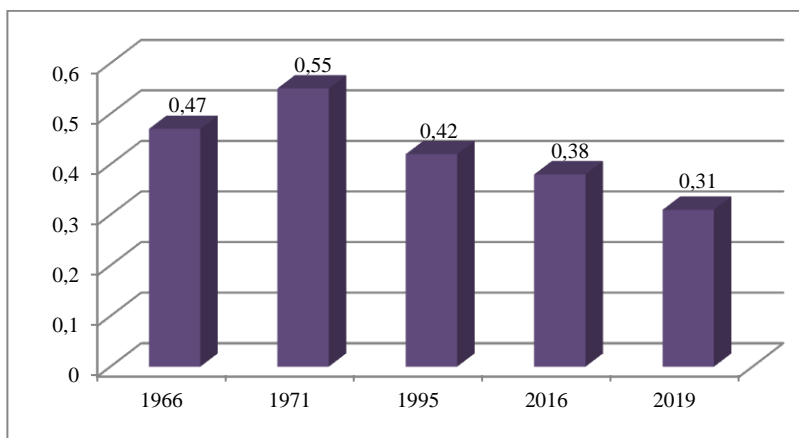


Fig. 4. Comparative analysis of average erosion coefficients for the period 1966 – 2019

The annual production of erosion sediment in the Vlasina River Basin is 462,496.30 m<sup>3</sup>, and the specific production of sediment is 435,47 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year. This data shows how much the specific production of sediment decreased in comparison to 1966 (790 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year), and during 1971, the specific production of sediment was 1,353.6 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year). Nowadays, the intensive sediment production occurs in the northern part of the basin, where the erosion coefficient is the highest.

## Conclusion

Based on the obtained data, it can be concluded that the state of erosion intensity in the Vlasina River Basin is satisfactory and significantly better than in the previous period. The analysis of natural conditions (geological foundation, slope of the terrain), satellite images, as well as the temperature and amount of precipitation in this area, revealed that out of 1,061.72 km<sup>2</sup> of surface, about 12.88% of the territory belongs to medium, intensive and excessive erosion. For example, in 1995, the same types of erosion covered 85.9% of the catchment area. The average erosion coefficient (Z) which is now 0.31 indicates a gradual decrease in the intensity of soil erosion in this area. As much as 924.95 km<sup>2</sup> today belongs to the category of weak and very weak erosion, and in very places where forest ecosystems are most represented and where anthropogenic impact is minimal.

The increased intensity of erosion occurs in a smaller area in the northern part of the basin, where anthropogenic activity is present and followed by more intensive cultivation of the agricultural parcels. The highest degree of sediment production is also represented in the northern part of the basin, where the population density is the highest. In most parts of the basin, due to the large expanse of forests, the intensity of erosion is generally weak, so that there is no major land loss. In places where the deforestation process is identified, afforestation of the terrain with proper selection of species should be carried out in order to avoid the increased erosion. For better and higher-quality management of the environment, it is necessary to constantly update the database with regular measurements of various parameters, so that the insight into the state of natural processes and phenomena is more accurate and efficient in preventing and mitigating the natural disasters. In the Vlasina River Basin, the negative natural growth and emigration of the local population will cause less and less environmental degradation in the coming period.

© 2019 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

- Alam, A. (2014). Soil Degradation: A Challenge to Sustainable Agriculture. *International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences*, 1 (4), 52.
- Ananda, J. & Herath, G. (2003). Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *Journal of Environmental Management*, 68, 343-353.
- Balasubramanian, A. (2017). *Soil Erosion – Causes and Effects*. University of Mysore, 1-5.
- Blanco, H. & Lal, R. (2010). *Principles of Soil Conservation and Management*, Springer, New York.
- de Vente, J., Poesen, J. & Verstraeten, G. (2005). The application of semiquantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*, 305, (1-4), 63-86.
- Dragičević, S., Filipović, D., Kostadinov, S., Ristić, R., Novković, I., Živković, N., Anđelković, G., Abolmasov, B., Šećerov, V. & Đurđić, S. (2011). Natural hazard assessment for land-use planning in Serbia. *Int. J. Environ. Res.*, 5 (2), 71–380.
- El Haj El Tahir, M., Kääh, A. & Xu, C. Y. (2010). Identification and mapping of soil erosion areas in the Blue Nile, Eastern Sudan using multispectral ASTER and MODIS satellite data and the SRTM elevation model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1167–1178.
- Eswaran, H., Lal, R. & Reich, P. F. (2001). Land degradation: an overview. *Science*, Enfield, 20–35.

- Gavrilovic, Z., Stefanovic, M. & Milojevic, M. (2004). Application of methodology for the real-time torrent flood forecasting. *Internationales symposion: Interprevent 2004* – Riva, Trient.
- Gavrilović, S. (1972). Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, *Časopis "Izgradnja"*, Specijalno izdanje, Beograd, 1-292.
- Gomes de Souza, F., Ferreira Melo, V., Farias Araújo, W. & Henrique de Castro Araújo, T. (2018). Losses of soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon, *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 40(1), 1-5.
- Group of authors, (1990). Commune Štrpce, Sirinička župa, Trait of natural environment, Special issues – No. 37/1, 160-166, SASA, Geographical institute "Jovan Cvijić", Belgrade.
- Guo, S. Y. & Li, Z. G. (2009). Development and achievements of soil and water conservation monitoring in China, *Sci. Soil Water Conserv.*, 7, 19–24.
- Hazarika, M. & Honda, K. (2001). Estimation of Soil Erosion Using Remote Sensing and GIS, Its Valuation and Economic Implifation of Agricultural Products. In D.E. Stott, R.H. Molnar and G.C. Steinhardt (eds.). *Sustaining the Global Farm*.
- Ighodaro, I.D., Lategan, F.S. & Yusuf, S.G.F. (2013). The Impact of Soil Erosion on Agricultural Potential and Performance of Sheshegu Community Farmers in the Eastern Cape of South Africa, *Journal of Agricultural Science*, 5, 140.
- Kirkby, M. J., Irvine, B. J., Jones, R. J. A., Govers, G., Boer, M., Cerdan, O., Daroussin, J., Gobin, A., Grimm, M., Le Bissonnais, Y., Kosmas, C., Mantel, S., Puigdefabregas, J. & van Lynden, G. (2008). The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I. – Model rationale and implementation, *Eur. J. Soil Sci.*, 59, 1293–1306.
- Kostadinov, S., Braunović, S., Dragičević, S., Zlatić, M., Dragović, N. & Rakonjac, N. (2018). Effects of erosion control works: Case study - Grdelica Gorge, the South Morava River (Serbia), *Water*, 10, 1-18.
- Lazarević, R. (1975): *Geomorfologija [Geomorphology]*, Institut za šumarstvo i drvenu industriju, Posebno izdanje XXXVIII, Beograd.
- Lazarević, R. (1983). *The Erosion Map of Serbia. Scale 1:500000*; Institute of Forestry: Belgrade, Serbia.
- Le Roux, J. J., Newby, T. S. & Sumner, P. D. (2007). Monitoring soil erosion in South Africa at a regional scale: review and recommendations, *S. Afr. J. Sci.*, 207, 329–335.
- Lovrić, E. & Tošić, R. (2018). Assessment of soil erosion and sediment yield using erosion potential method: Case study – Vrbas River Basin (B&H), *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98(1).
- Milevski, I., Dragičević, S. & Kostadinov, S. (2007). Digital elevation model and satellite images an assesment of soil erosion potential in the Pcinja catchment. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 87(2), 12–19.
- Mustafić, S. (2012). Geografski faktori kao determinante intenziteta erozije na primeru sliva Nišave. *Doktorska disertacija*. Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Mutekanga, F. P., Visser, S. M. & Stroosnijder, L. (2010). A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngenge watershed in Uganda, *Geoderma*, 160, 165–174.
- Novković, I. (2016). Prirodni uslovi kao determinante geohazarda na primeru slivova Ljiga, Jošaničke i Vranjskobanjske reke. *Doktorska disertacija*, Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Ristić, R., Kostadinov, S., Albomasov, B., Dragičević, S., Trivan, G., Radić, B., Trifunović, M. & Radosavljević, Z. (2012). Torrential floods and town and country planning in Serbia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 23–35.
- Tošić, R., Dragičević, S. & Lovrić, N. (2012). Assessment of soil erosion and sediment yield changes using erosion potential model – case study: Republic of Srpska (BiH). *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 7 (4), 147-154.
- Urošević, M., Stefanović, M., Milovanović, I. & Jovičić, A. (2016). Demografske promene u slivu reke Vlasine kao faktor promene intenziteta erozije, *Erozija – časopis za uređenje bujica i zaštitu od erozije*, 42, 41.

- Ванчетовић, Ж. (1966). Ерозија земљишта и бујице у СР Србији, *Заштита природе*, 32/1966, Београд. [Vančetović, Ž. (1966). Erozija zemljišta i bujice u SR Srbiji, *Zaštita prirode*, 32/1966, Beograd.]
- Verstraeten, G., Poesen, J., de Vente, J. & Koninck, X., (2003). Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology*, 50, 4, 327-348.
- Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review, *Catena*, 65, 2–18.
- Yin, Sh., Zhu, Zh., Wang, L., Liu, B., Xie, Y., Wang, G. & Li, Y. (2018). Regional soil erosion assessment based on a sample survey and geostatistics, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 1695.

Оригинални научни рад

UDC: 007:912]:004]:551.3.053 (497.11 reka Vlasina)  
<https://doi.org/10.2298/GSGD1902017D>

Примљено: 01. новембра 2019.

Исправљено: 03. децембра 2019.

Прихваћено: 16. децембра 2019.

**Урош Дурлевић<sup>1</sup>, Ана Момчиловић\*, Владимир Ђурић\*,  
Маја Драгојевић\***

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

**ПРИМЕНА ГИС-а У АНАЛИЗИ ИНТЕНЗИТЕТА ЕРОЗИЈЕ У  
СЛИВУ РЕКЕ ВЛАСИНЕ**

**Апстракт:** У овом раду анализирано је стање интензитета ерозије у сливу реке Власине, десне притоке Јужне Мораве. За одређивање интензитета ерозије (Z) и продукције наноса коришћен је метод Гавриловића у комбинацији са индексом оголићености земљишта (BSI), применом географских информационих система (ГИС) и мултиспектралних сателитских снимака. На територији слива Власине који има површину од 1.061,72 km<sup>2</sup>, идентификован је коефицијент ерозије од 0,31. Изражена вертикална рашчлањеност рељефа, велика количина падавина у изворишним деловима, густина речне мреже (1,65 km/km<sup>2</sup>) која је изнад просечне густине речне мреже у Србији, као и неадекватан начин коришћења земљишта представљају главне разлоге због којих је потребно пратити интензитет ерозије у сливу Власине. Годишња продукција наноса износи 462.496,30 m<sup>3</sup>, док је вредност специфичне продукције наноса 435,47 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. Овај рад представља покушај примене савремених технологија за одређивање интензитета ерозије у сливу Власине, а добијени резултати се могу користити за адекватније управљање земљишним и водним ресурсима, одрживо планирање шумских екосистема и заштиту животне средине.

**Кључне речи:** метод Гавриловића, коефицијент ерозије, индекс оголићености земљишта, продукција наноса, слив Власине

---

<sup>1</sup> durlevicuros@gmail.com (corresponding author)

## Увод

Ерозија земљишта представља глобални проблем деградације земљишта који узрокује значајне еколошке и социо-економске проблеме (Eswaran et al., 2001; Gomes de Souza et al., 2018; Ighodaro et al., 2013). Главна последица деградације земљишта је значајно смањење његове продуктивности, а то индиректно утиче на број пољопривредног становништва у тој области (Alam, 2014; Balasubramanian, 2017). Ерозија земљишта представља један од најзначајнијих облика деградације земљишта у Републици Србији. Приближно 86% њене територије има потенцијал за појаву ерозије земљишта различитог интензитета. Јачим категоријама ерозије захваћено је више од 35% територије Србије јужно од Саве и Дунава (Lazarević, 1983; Dragičević et al., 2011; Ristić et al., 2012; Kostadinov et al., 2018).

Како би се побољшало управљање процесом ерозије земљишта и помогло доносиоцима одлука за предузимање одговарајућих мера санације и стратегије ублажавања последица, први корак је праћење и процена стања. Тиме би се добиле адекватне и поуздане информације о ерозији земљишта у условима садашње климе и коришћења земљишта (Yin et al., 2018; Blanco & Lal, 2010; Kirkby et al., 2008). Развојем различитих софтвера, у зависности од величине базе података и доступности сателитских снимака, могуће је кабинетским радом помоћу ГИС софтверских пакета одредити интензитет ерозије и укупну продукцију наноса, а затим теренским истраживањима проверити добијене резултате.

У сливу Власине нагла деградација терена и интензивирање ерозије земљишта почело је средином 19. века када је била доминантна пољопривредна производња. Највећа пажња истраживању ерозије земљишта у овом сливу посвећена је тек након велике поплаве која се догодила 1988. године. Количина падавина у појединим местима у сливу износила је и до 220 mm за 4 сата (Gavrilovic et al., 2004). На многим местима у сливу Власине река је однела мостове, уништила куће и оштетила стотине хектара обрадивог земљишта.

Неадекватан начин коришћења земљишта, тј. обрада земљишта на великим нагибима (преко 25%), допринела је бржем отицању атмосферске воде, а тиме и интензивирању процеса ерозије земљишта (Urošević et al., 2016). Гледајући кроз историју, начин коришћења земљишта се значајно мењао, а самим тим и степен ерозије који је са повећањем површина под ораницама постајао интензивнији.

## Материјали и методе

### *Простор истраживања*

Слив Власине има површину од 1.061,72 km<sup>2</sup> и захвата југоисточни део Србије, а територијално обухвата општине Сурдулицу, Црну Траву, Власотинце, Бабушницу, Гаџин Хан, Лесковац, Пирот и Белу Паланку. Западно од Власотинца, Власина се улива у Јужну Мораву. У физичко-географском погледу, слив се простире од Лужничке котлине и Горњег Заплања на северу, до Власинског језера и околног терена на југу. Река Власина истиче из вештачке акумулације – Власинског језера, и улива се у Јужну Мораву као њена десна притока. Укупна дужина Власине износи 65,9 km. Највећи део геолошке подлоге слива Власине припада Српско-македонској

маси, насталој у палеозооку (карбон-перм). Најзаступљенији стенски комплекс су метаморфне стене (49,31% укупне површине), док је остатак слива углавном прекривен терцијарним кластичним седиментима и мезозојским карбонатним стенама. Овај слив је највећим делом брдско-планинског карактера, осим Горњег Заплања, Лужничке котлине и северозападног дела слива који представља део Лесковачке котлине. Надморска висина варира од 233 до 1.707 m, средњи нагиб терена у сливу износи 13° и представља један од главних узрока већег коефицијента ерозије у прошлости, када је пољопривредна производња на већим нагибима терена била веома заступљена, што је касније довело до великих последица. У изворишном делу слива Власине (1.254 m) током периода 2010-2016., средња годишња температура износила је 7,54°C, а висина падавина 922 mm. На знатно нижем терену, у Власотинцу (271 m), за период 2011-2014. измерена је средња годишња температура од 12,4°C, а годишња количина падавина 729 mm.

*Сл. 1. Карта географског положаја слива Власине (стр. 19)*

## **Методологија**

У претходним истраживањима направљени су покушаји да се ерозија земљишта процени само на основу нагиба терена и вегетационог индекса (Hazarika & Honda, 2001). Међутим, један од најбољих начина за комбинацију DEM и сателитских снимака у истраживању ерозије земљишта јесте правилна класификација просторних параметара везаних за ерозију, представљена кроз мањи број класа (јединица) (Milevski et al., 2007). У новије време постоје бројне методологије и модели за картирање ерозије земљишта и израду карата ерозије. Емпиријски модели су више фокусирани на моделовање транспорта ерозије и седимената на нивоу слива (Lovrić & Tošić, 2018; Ananda & Herath, 2003; Verstraeten et al., 2003). Метод Гавриловића припада групи регионалних метода, и у светској литератури окарактерисан је као полу-квантитативни метод (de Vente et al., 2005). Пракса је показала да је аналитички метод дуг и непрактичан за истраживања у већим сливовима, те се из наведеног разлога приступило синтетичком методу, који је неупоредиво бржи, а при томе је задржао тачност аналитичког метода. Квантитативне вредности коефицијента ерозије употребљене су за издвајање интензитета ерозије кроз класе или категорије (Tošić et al., 2012).

Угроженост ерозијом је анализирана на основу методе Гавриловића (1972), према којој се укупна продукција наноса у сливу рачуна према формули:

$$W_{\text{god}} = T \cdot H_{\text{god}} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F, \text{ где је}$$

$W_{\text{god}}$  – укупна продукција наноса ( $\text{m}^3/\text{god}$ ),  $T$  – температурни коефицијент,  $H_{\text{god}}$  – средња годишња количина падавина у mm,  $Z$  – коефицијент ерозије,  $F$  – површина слива у  $\text{km}^2$ .

Утврђивање промене интензитета ерозије земљишта преко Гавриловићевог метода пружа могућност детерминације сваког од наведених фактора који у датој формули фигурирају (Mustafić, 2012).

Температурни коефицијент ( $T$ ) добија се по формули (Gavrilović, 1972):

$$T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0,1}, \text{ где је}$$

t - средња годишња температура (°C), за период 1981-2010., добијена анализом зависности промена температуре са променом надморске висине на основу података са релевантних метеоролошких станица, на основу формуле:

$$t = -0,006 \cdot H + 13,32,$$

где је t – средња годишња температура, док H представља вредност у метрима добијена преко дигиталног модела висина (DEM).

Средња годишња количина падавина  $N_{god}$  добијена је анализом зависности промена количине падавина са релевантних падавинских станица за период 1981-2010., на основу формуле:

$$N_{god} = 0,283 \cdot H + 511,9,$$

где је  $N_{god}$  – средња годишња количина падавина, а H (m) вредност добијена преко дигиталног модела висина.

Коефицијент ерозије (Z) рачуна се на основу формуле (Gavrilović, 1972):

$$Z = Y \cdot X \cdot (\phi + \sqrt{I}), \text{ где је:}$$

Z - коефицијент ерозије; Y - коефицијент отпорности земљишта на ерозију; X - коефицијент заштићености земљишта од атмосферилија и ерозије;  $\phi$  - коефицијент вида ерозије; I - средњи пад површине за коју се израчунава коефицијент ерозије.

Коефицијент отпорности земљишта на ерозију (Y) добијен је анализом основних геолошких карата СФРЈ за простор слива Власине, у размери 1:100.000. У зависности од степена отпора геолошке подлоге, коефицијент је класификован 0,1 – 1, при чему најмањи коефицијент имају најотпорније стене (кречњак, доломит). Највећи коефицијент припада растреситом земљишту које је најподложније ерозији.

Таб. 1. Коефицијент отпорности земљишта (Gavrilović, 1972)

Коефицијент отпора подлоге од ерозије	Y
Растресито земљиште	0,8 – 1
Скелетоидно и скелетно земљиште	0,7
Непропустљиве и неотпорне стене (шкриљци, флиш, стене)	0,6
Пропустљиве и неотпорне стене (песак, шљунак, лес)	0,5
Полупропустљиве стене	0,4
Непропустљиве и отпорне стене	0,25
Пропустљиве и отпорне стене	0,1

Коефицијент заштићености земљишта од атмосферилија и ерозије (X) добијен је обрадом и анализом геопросторне базе података о начину коришћења земљишта (Corine Land Cover), издате од Европске агенције за заштиту животне средине [ЕЕА]. У опсегу 0,1–1, највећи коефицијент додељује се површинама без вегетације, где доминирају многи видови ерозије. Шуме доброг склопа због изузетно развијеног кореновог система апсорбују велику количину падавина, која би на мање отпорним теренима изазвала спирање и одношење материјала.



Таб. 2. Коefицијент намене земљишта

Коefицијент заштићености подлоге	X
Површине без вегетације	1
Оранице са орањем уз и низ падину, виногради	0,9
Оранице са орањем по изохипси	0,8
Вишепољни плодоред	0,6
Деградирани пашњаци	0,4
Деградиране шуме	0,3
Ливаде	0,2
Шуме доброг склопа	0,1

Коefицијент вида ерозије ( $\phi$ ) одређен је помоћу индекса оголићености земљишта (BSI). За потребе добијања поменутог индекса, коришћени су мултиспектрални сателитски снимци LANDSAT 8 сателита, који припада Геолошком топографском институту САД (USGS). Техника даљинске детекције има неупоредиве предности и потенцијал у раду регионалне процене ерозије тла (Vrieling, 2006; Le Roux et al., 2007; Guo & Li, 2009; Mutekanga et al., 2010; El Haj El Tahir et al., 2010). Овим индексом (BSI) олакшано је рачунање коefицијента ерозије. Индекс оголићености земљишта добија се формулом:

$$BSI = \frac{(B_6+B_4)-(B_5+B_2)}{(B_6+B_4)+(B_5+B_2)} + 1,$$

где је  $B_6$  – краткоталасни инфрацрвени спектрални канал (SWIR 1),  $B_4$  – црвени спектрални канал,  $B_5$  – блиски инфрацрвени спектрални канал (NIR),  $B_2$  – плави спектрални канал.

Средњи пад површине (нагиб терена)  $\sqrt{I}$ , добијен је из стометарског дигиталног модела висине (DEM) у виду процената изражених у облику децималног записа. Са повећањем нагиба терена смањује се стабилност падина, расте интензитет ерозије, већа је вероватноћа појаве бујичних поплава (Novković, 2016).

Специфична годишња продукција ерозионих наноса у сливу ( $W_{godsp}$ ) добија се када се укупна продукција ерозионих наноса подели са површином слива, а изражава се у  $m^3/km^2/god$ .

## Резултати и дискусија

Претходним истраживањима (Ванчетовић, 1966), средњи коefицијент ерозије ( $Z$ ) у сливу Власине износио је 0,47. У том периоду, шумски екосистеми обухватили су 30% територије слива, док се под ораницама налазила четвртина укупне површине слива. Теренским истраживањима у циљу израде Карте ерозије Србије (Лазаревић, 1983) током периода 1966-1971. одређен је коefицијент ерозије у вредности од 0,55. У периоду од 1966. до 1988. године, проценат ораница се повећао са 25% на 44,8% укупне површине слива, што је узроковало велику деградацију терена и претходило великој поплави која се догодила 1988. године, када је једна трећина слива била изложена јакој олуји и киши катастрофалних размера (Gavrilovic et al., 2004). Током 1995. године вредност коefицијента ерозије износила је 0,42. Са емиграцијом становништва и смањењем пољопривредне производње, ерозија у сливу Власине је

почела да слаби. Средњи коефицијент ерозије у 2016. години износио је 0,38 (Urošević et al., 2016).

Као што је познато, на интензитет ерозије утичу природни фактори, док је антропогени утицај изражен кроз модификацију интензитета процеса. Рељеф непосредно утиче на површинску и линијску ерозију својим падом и дужином нагиба, док висина и експозиција посредно утичу кроз модификацију елемената климе. Висина рељефа има значај за водну ерозију која се изражава посредним утицајем на количину и облик падавина, као и на температурни режим (Lazarević, 1975). Због изузетно великог нагиба терена у већем делу слива и знатне рашчлањености рељефа, површинска и линијска ерозија имају велики утицај на повећање коефицијента ерозије. Експозиција топографске површине такође посредно утиче на модификовање микроклиматских услова. Услед дужег осунчавања и јачег интензитета сунчевог зрачења, на присојним странама је веће испаравање, а тиме и мање сливање воде (Group of authors, 1990). На процес водне ерозије, од климатских елемената највећи утицај имају падавине и температура. Падавине утичу обликом, трајањем и интензитетом, као и распоредом у току године. На већим надморским висинама у сливу Власине, просечна годишња количина падавина прелази 900 mm. Температуре ваздуха и земљишта, модификују утицај падавина (Lazarević, 1975). Просечна годишња температура у сливу варира од 7,5 до 12,4°C у зависности од морфометријских карактеристика истраживаног подручја.

За разлику од природних услова, начин коришћења земљишта представља антропогени фактор који битно утиче на степен ерозије. Ерозија земљишта представља један од озбиљнијих проблема пољопривреде (Ighodaro et al., 2013). У том смислу, човек је једини фактор који може да изазове и спречи интензивније ерозивне процесе променом биљног покривача, обрадом продуктивног слоја или мењањем морфолошких карактеристика рељефа.

На карти намене коришћења земљишта могу се приметити велике површине под шумским екосистемима, где ерозија углавном не представља проблем. У односу на 1996. годину, када су шуме покривале само 30% територије слива, данас тај удео износи више од 56%. То је последица правилно спроведених антиерозивних мера пошумљавања, али и смањења пољопривредне активности. У северном делу слива у великој мери заступљене су пољопривредне парцеле, које су због антропогеног деловања и девастације површинског покривача најугроженије ерозијом. Нагиб терена у централном делу слива нешто је већи у односу на друге делове, док је степен оголићености терена највећи у северном и западном делу слива. Убрзану ерозију највише потпомаже обрада земљишта, јер се земљиште разбија, убрзава се оксидација органских материја, смањује упијање због сабијања које изазивају плуг, машине, итд (Group of authors, 1990). Није редак случај да се на истој њиви годинама гаји кукуруз са орањем у правцу нагиба падина. Познато је да орање по изохипси умањује ерозију за 2,5 пута, па чак и до 5 пута (Lazarević, 1975).

*Сл. 2. Карта намене коришћења земљишта; карта нагиба терена; геолошка карта; карта степена оголићености терена (стр. 23)*

На карти ерозије (Сл. 3) може се уочити да губитак земљишта није интензиван као што је то био случај током 60-их, 70-их и 80-их година прошлог века, односно

да је присутно смањење интензитета процеса. Сада се слив углавном одликује веома слабом и слабом ерозијом.

*Сл. 3. Карта ерозије земљишта за слив Власине (стр. 24)*

Средњи коефицијент ерозије износи 0,31, односно припада II категорији ерозије, што говори да је процес интензивне ерозије земљишта стабилизован у највећем делу слива Власине. Средња, јака и ексцесивна ерозија се у малом проценту јављају у северном делу слива, где су заступљене пољопривредне парцеле и пољопривредне површине са природном вегетацијом. На просторима где је интензитет ерозије средњи, јак или ексцесиван треба применити одговарајуће антиерозивне мере, док на местима где је ерозија веома слаба и слаба, потребно је пратити и контролисати стање појава и процеса. Употребом географских информационих система могуће је идентификовати подручја која су угрожена већим степеном ерозије, и која би могла нарушити квалитет површинских вода које се налазе у близини.

*Таб. 3. Типови ерозије и удео у укупној површини*

Тип ерозије	Површина (km <sup>2</sup> )	Удео у територији (%)
Веома слаба	248,11	23,37
Слаба	676,84	63,75
Средња	80,26	7,56
Јака	56,40	5,31
Ексцесивна	0,11	0,01
Укупно	1.061,72	100,00

Важно је напоменути да је смањена антропогена активност (условљена депопулацијом и миграцијама) утицала на мањи интензитет ерозије. Попис становништва за 2011. годину открио је да се број становника смањило за чак 48%, при чему се у руралном подручју број становника смањило за 70%, док је број домаћинства опао за 32% током периода 1948-2011. (Urošević et al., 2016).

*Сл. 4. Упоредна анализа средњих коефицијената ерозије за период 1966-2019. (стр. 25)*

Годишња продукција ерозионог наноса у сливу Власине износи 462.496,30 m<sup>3</sup>, а специфична продукција наноса износи 435,47 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. Овај податак говори о томе колико се специфична продукција наноса смањила у односу на 1966. (790 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god), а током 1971. године специфична продукција наноса износила је 1.353,6 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god). Данас, интензивна продукција наноса јавља се у северном делу слива, где је коефицијент ерозије највећи.

## **Закључак**

На основу добијених података може се закључити да је стање интензитета ерозије у сливу реке Власине задовољавајуће и знатно боље у односу на претходни период. Анализом природних услова (геолошке подлоге, нагиба терена), сателитских снимака, као и температуре и количине падавина на овом простору, установљено је да од 1.061,72 km<sup>2</sup> површине, око 12,88% територије припада средњој, јакој и ексцесивној ерозији. Примера ради, исти видови ерозије су 1995. године покривали

85,9% територије слива. Средњи коефицијент ерозије ( $Z$ ) који сада износи 0,31 показује на постепено смањење интензитета ерозије земљишта на овом простору. Чак 924,95 km<sup>2</sup> данас припада категорији слабе и веома слабе ерозије, и то на местима где су највише заступљени шумски екосистеми, а где је антропогени утицај минималан.

Појачан интензитет ерозије јавља се на мањој површини у северном делу слива, где је присутна антропогена активност праћена интензивнијом обрадом пољопривредних парцела. Највећи степен продукције наноса такође је заступљен у северном делу слива у којем је густина становништва највећа. У већем делу слива због великог пространства шума, интензитет ерозије је углавном слаб, тако да не постоје већи губици земљишта. На местима где се идентификује процес дефорестације, потребно је извршити пошумљавање терена уз правилан одабир врста, како не би дошло до појачане ерозије. За квалитетније и боље управљање животном средином, неопходно је стално ажурирати базу података редовним мерењима различитих параметара. Тако би увид у стање природних процеса и појава био прецизнији и ефикаснији у спречавању и ублажавању природних непогода. У сливу Власине, негативан природни прираштај и емиграција локалног становништва условиће све мању деградацију животне средине у наредном периоду.

© 2019 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)