

## MORPHOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SERBIAN BORDER ZONE TOWARDS BULGARIA

PREDRAG DJUROVIĆ<sup>1</sup>, NENAD ŽIVKOVIĆ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia*

**Abstract:** Morphological and hydrological analyses of the characteristics of the Serbian border zone towards Bulgaria were performed. The morphological analysis included the mountain (Stara Planina, Tupižnica, Svrliške Planine, Suva Planina and Vidlič), structural basin (Zaječar, Knjaževac, Svrlijig and Bela Palanka) and valley (Veliki Timok, Beli Timok, Visočica, Dragovištica) parts. Within the hydrological analysis, the areas with the highest and lowest annual amount of precipitation were identified, as well as the hottest and coldest areas. The change of river basins runoff was analysed, as well as the distribution of waters throughout the year in the studied area. The most important elements of the water balance were shown and the hydrological characteristics of the karst terrain were analysed.

**Key words:** morphology, hydrology, border zone, Serbia, Bulgaria

### Introduction

Research of natural occurrences and processes should not have restrictions artificially imposed, such as municipal or regional borders. In such cases, the area of interest extends to the borders with the necessary data, and the conclusions perform to those administrative. But how to act when the border is the state one, when it is 318 km long, with a unique evolution of the relief, but also the factors influencing its heterogeneous modification, that is, runoff conditions from the opposite sides. We should not ignore the fact that the above mentioned line often implies a lack of relevant data, as well as the incompatibility of the existing ones (different periods of observations, measurement methods, mapping and displaying on the maps, etc.). What greatly facilitates the display of the border zone between Serbia and Bulgaria is that the border largely follows the natural river basin boundaries, i.e. watersheds on Stara Planina and Vlasina Massif.

### Morphological characteristics

Serbian part of the Serbian-Bulgarian border area is characterized by different morphological elements of relief. They differ mutually as in size, so as in the manner and time of genesis and phases of development. The biggest, macro forms, represent the mountains, structural basins and river valleys (Figure 1).

---

\* E-mail: schmele @gef.bg.ac.rs



Figure 1. - Map of morphological elements of the Serbian part of the Serbian-Bulgarian border area

STRUCTURAL BASINS: A – Zaječar, B – Knjaževac, C – Svrljig, D – Bela Palanka, E – Piroć;  
 VALLEYS: I – Veliki Timok, II – Beli Timok, III Trgoviški Timok, IV - Svrljiški Timok, V - Visočica., VI - Jerma, VII - Dragovištica

### *Mountains*

Mountains cover the largest part of the border area. The most striking mountainous area which covers the central part is Stara Planina. Besides it, in broader border area, there are also Tupižnica (1,160 m a.s.l.), Tresibaba (808 m a.s.l.), Svrljiške Planine (1,334 m a.s.l.), Suva Planina (1,808 m a.s.l.), Vlaška Planina (1,442 m a.s.l.), Vidlič (1,180 m a.s.l.), Ruj (1,704 m a.s.l.), Vardenik (1,874 m a.s.l.), Besna Kobila (1,923 m a.s.l.) and Dukat (1,881 m a.s.l.). Over time, these mountains have passed through various stages of development. Also, today different physical-geographical processes act on them.

**Stara Planina** stretches from Vrška Čuka (692 m a.s.l.) in the northwest, up to Vidlič (1,371 m a.s.l.) in the southeast. It is about 100 km long and covers an area of about 1,700 km<sup>2</sup>. This is a complex mountain, both in geological and tectonic context, and the morphological-landscape as well. Limestones make 1/3 of the mountain structure. Sinkholes and uvalas are the most numerous, and the explored caves are of small sizes (Gavrilović D., Gavrilović Lj., 1998). In the north limestone slopes of the mountain there is no significant surface karst forms. However, the caves that are located in this region (Djurović P., 1986; Nešić D., 1994) indicate that the limestones were karstified.

The highest parts of the mountain have been affected by modern periglacial process. On the northern slopes of Babin Zub (1,758 m a.s.l.) there are currents of stones that are above the upper forest border. Their length is of approximately 350 m. They consist of 30 to 40 m wide and 5 to 10 m deep corridors where large blocks of rocks are moving. They were formed by sliding of the blocks over the basis that alternately froze and thawed. These forms were created during the Pleistocene, although it does not exclude the possibility that they are still active, due to the fact that in the immediate vicinity there are active sliding blocks (Gavrilović D., 1970). At the same location in the elevation zone between the altitudes of 1,600 and 1,700 m, the existence of sliding blocks was established. Volume of the sliding blocks is up to 12 m<sup>3</sup>. Besides sliding of the blocks, the soil itself has been moved by the periglacial movements. Because of the greater speed, the soil covers the blocks creating soil caps on them. On the western slopes of Midžor, solifluctional terraces were observed (Gavrilović D., 1970). On the main mountain ridge, on the area of Kopren (1,963 m a.s.l.) a dozen of frost-snow uloke were observed. These are elongated depressions, several meters long and of 0.5 up to 1 m deep on the average. Most of the year they are filled with water. They were made under the influence of cold mountain climate (Nešić D., Milivojević M., 2002).

**Tupižnica** structurally represents a syncline. For the most part it was built of limestones (86 km<sup>2</sup>). The western part of the mountain ends by the limestone cliff of several hundred meters height, while the east side is gradually descending, and the limestones sink under the Neogene sediments of the Knjaževac Structural Basin (Zeremski M., 1994). Although built of limestones, there is not many surface karst forms on the mountain. In contrast to it, there are numerous speleological forms (Djurović P., Nešić D., 1992). Complete absence of surface watercourses indicates that the limestones of these mountains are deeply karstified. This is also indicated by well caves located at the rim of the mountain (Djurović P., 1986).

**Svrljiške Planine** have a length of about 25 km and extend in the direction of WNW-ESE. Almost at all sides, the mountain is surrounded by the neighbouring structural basins. The structure is dominated by the rocks of Mesozoic and Devonian formations, which, in terms of structural aspect, form the anticline (Maksimović B., 1976). Creation of the oldest forms on the mountain, plains, is related to the older Tertiary period (Zeremski M., 2008). Then, due to the low position of the river low base level, favourable conditions for aplanation of the structural forms of the mountains have existed and the creation of plain, which is also observed in other neighboring mountains (Tupižnica, Ozren, Devica) (Zeremski M., 1994, 2002). On the mountain sides the Premiocene fluvial forms were observed, epigenetic gorges were exhumed (Ršumović R., 1967). During the Middle and Upper Miocene, lower parts of the mountain were under the influence of the lake. The maximum level of sedimentation was reconstructed on the basis of height of the epigenetic gorges and ranged from the altitude of 640 m to 770 m (Zeremski M., 2008). In the post-lacustrine period, the karst process has begun, which was especially intense in the mountain plains. The karst process, as the dominant process, has also kept place on the mountain in the modern period.

**Suva Planina**, with its "alpine" appearance, is morphologically very different from other mountains in this area. The base of the mountain is formed of red Permian sandstones. Above them, there are several hundred meters thick limestone sediments. Limestone surface is significantly karstified. Particularly stands out the area of Valožje, where its western part has characteristics of cockpit karst. Due to intense soil erosion, the rim of the sinkholes is bare, rocky, and the ground is showered with eroded material. The lack of surface watercourses caused that the eroded soil transport was being done through cracks and channels in the limestones. This often leads to blurring of the wells at the rim of the mountain (Petrović J., 1954). The mountain is waterless, without surface watercourses. Along the rim of the mountain, there are numerous very strong karst wells. Based on the study of karst of this mountain, it was found that on it, during the Wurm glacial stage, the area at the altitude above 1,600 m was affected by permafrost, and a partial freezing was up to the altitude of 1,200 m. The zone of expansion of lichens and mosses, where there was a partial freezing, was at the altitude from 1,000 to 1,200 m, while the grassy zone was located in the area at the altitude from 400 to 1,000 m. Just below the height of 400 m, there was a forest (Milić Č., 1970). In the highest parts of the mountain the polygenetic karst-nival sinkholes were formed, that were, due to openness on one side, morphologically different from the sinkholes on the lower area of Valožje. They were, during the cold periods of the Pleistocene, exposed not only to karst process, but also to effect of the nival process (Gavrilović D., 1970).

**Vidlič** is a limestone mountain with the characteristic cliff of 200 m height. It is a waterless mountain without watercourses (Vidanović G., 1955). Between the mountain and the Nišava River Valley there is the only karst field in the Serbian part of the border area - Odorovačko Polje. It is about 10 km long, and 3 to 4 km wide. Through the field, flows the river of the same name, which sinks underground in the western part of the field. During exceptionally high flow, the lowest part of the field is being flooded. The field is located in the tectonic trench partly filled with the Miocene and Pliocene sediments. At the base of the mountain, across the lake sediments, several large alluvial fans were formed (Gavrilović D., 1975). Lowering of the field had started before the Neogene, and during the Neogene and Pliocene the field was filled by the lake in which the thick layers of freshwater sediments were precipitated. By opening a ponor in the western part of the field, at the end of the Pliocene, the connection between the lake in Odorovačko Polje and Pirot Structural Basin was broken. In the next phase, the removal of lacustrine sediments and the formation of the modern field morphology was being started (Petrović J., 1974).

**Vlaška Planina** stretches between Pirot and Lužnica Depression in the direction northwest-southeast. The most part was formed of the Titon reef limestones which basis is of red Permian sandstones (Petrović J., 1999). Atmospheric precipitation quickly sink into the depths of the limestone mass leaving the surface waterless. Subterranean watercourses generally gravitate to the southwest, and at the contact with the Permian sandstones and Devonian sandstones, alevolytes and conglomerates, there is a large number of springs that feed the Kusovranska River discharge.

**Greben** is separated from the wreath of Vlaška Planina by the Jerma River Gorge. It is an extension of Vlaška Planina to the southeast, so that the top of the anticline was made of the same Titon reef limestones. Towards the Jerma River Valley, the Titon limestones interspersed with some older Dogger limestones and sandstones and Triassic limestones, sandstones and conglomerates. They downward come in contact with the Permian and Devonian sandstones, alevolytes and conglomerates. At the contact of the carbonate and clastic rocks, the springs occur. Towards the Jerma River Valley, the watercourses are short and generally periodic, while toward the Poganovska River Basin they are fewer in number, but also with higher runoff (Djokić M., 2010).

### *Structural basins*

The second significant macromorphological element of the relief of this border area are the structural basins: Zaječar, Knjaževac, Svrlijig, Bela Palanka and Pirot.

**Zaječar Structural Basin** is a broad basin in which the valleys of the Beli and Crni Timok converge, and from it starts the Veliki Timok River Valley. It is of a meridian direction of expansion, in the length of 21 km, and a maximum width of 15 km. The structural basin is located in the area of Timok trench. Through it, during transgression in the Middle Miocene, water penetrated from the II Mediterranean Sea up to the Knjaževac Structural Basin to the south. In the eastern part of the basin, below Vrška Čuka, there is a spacious, almost flattened plain. It is bent down the Veliki Timok river course and to the north extends up to the Danube. The plain was created after the marine-lacustrine phase, that is, after the Sarmatian, when over the initial lacustrine plain the Timok flowed. Along the entire rim of this plain, the floor was carved into. Since the surface also extends into the Crni Timok River Basin, and the floor only in the eastern part of the Zaječar Basin, the carving of the floor marks the beginning of morphological evolution exclusively of the Zaječar Basin and is related to the Pliocene. From the upper Pliocene the carving of the series of river terraces has begun (Petrović D., 1970).

**Knjaževac Structural Basin** is located between the mountains Tresibaba, Tupižnica, Devica and Stara Planina. It is of a round shape, a diameter of about 25 km. The structural basin is filled with the Neogene sediments. Valleys that are carved into the bottom of a structural basin are usually asymmetric, and between them are long inter-valley headlands. Going down from the rim, the structural basin create the expressive bend at the altitude of about 500 m. It marks the boundary between the bottom of the structural basin and its sides. Contemporary valley bottom corresponds to the bottom of the former lacustrine bottom (Ršumović R., 1972). The Beli Timok Valley does not extend by the central part of the structural basin, but is nailed to the western part of the bottom, that is, it is asymmetric in relation to the bottom of the Knjaževac Structural Basin.

**Svrlijig Structural Basin** is lowered between the Svrliške Planine to the south and Tresibaba to the north. The structural basin is elongated in the direction of east-west, in the length of about 25 km, and a width of about 10 km. The bottom and the rim of the structural basin were covered with a variety of the Neogene sediments, while the highest parts were made of limestones. The structural basin passed through various stages of development, primarily lacustrine and fluvio-denudation. During the long lacustrine phase, the powerful layers of lacustrine sediments, primarily Plioquaternary sediments were deposited in the structural basin (Group of authors, 1971; Milaković B., Novković M., 1977). There are different views about the height of the central lacustrine plain (Janković P.T., 1909; Milaković B., Novković M., 1977; Dinić J., 1974). On the basis of the narrow epigenetic gorge of the Lukavica River, it was found that the central lacustrine plain was at the altitude of 620 m (Spasojević M., 1984). During the fluvial phase in the Svrlijig Structural Basin, dramatic changes were taking place. The largest of these is a turning of the Staroplaninska Reka that once flowed through the structural basin. At the end of the Upper Pliocene, in the eastern part of the Svrlijig Structural Basin, the stream piracy of the Staroplaninska Reka by the Trgoviški Timok took place. As evidence of its existence in the structural basin remained up to 10 m thick deposits of fluvial material (Dinić J., 1967). Besides the karst and fluvial process in the Svrlijig Structural Basin, due to the large presence of the Neogene sediments, there is a large number of landslides usually of the stratigenic type (Dinić J., 1979).

**Bela Palanka Structural Basin** stretches in the east- west direction, at a distance of about 22 km and with a maximum bottom width of about 4 km. By the narrow epigenetic gorge of Skokanjčin Kamen and Belenovac-Crvena Reka narrowing, the structural basin is

divided into three morphological units (Kostić M., 1970). The structural basin represents a tectonic depression that was formed even before the Neogene, by lowering the Mesozoic rocks between two fault zones of the west-east direction. There are thermal springs along this zone. It was during the Neogene when the lake existed in which thick layers of lacustrine sediments were deposited. After the withdrawal of the lake, the fluvial relief in the structural basin has begun to form. The structural basin is surrounded by the limestones highly karstified and there are a number of wells at its rim (Petrović J., 1998).

### *Valleys*

The third macromorphological element are the valleys. They differ from each other by basic morphological characteristics, length and depth, but also by the the manner of genesis and evolution. Of the larger valleys, the following valleys distinguish: Veliki Timok, Beli Timok, Svrliški Timok, Trgoviški Timok, Visočica, Jerma and Dragovištica. Traces of filling of valleys that have been preserved in some caves suggest that the late Pleistocene and the Holocene were three major filling of river valleys and several smaller, of the local character (Gavrilović D., 1990).

**Veliki Timok River Valley** is of a very complex form that, during the long evolution, passed through various stages of development. Mainland of Timočka Krajina from the Lower Miocene was flooded by transgression during the Middle Miocene. The Tortonian and Sarmatian Sea had penetrated southward through the valley of the Veliki Timok and the Beli Timok to the town of Knjaževac, when the preliminary relief was covered by the thick marine sediments. From the Sarmatian stage the regression has begun, so that even from the end of the Miocene (except the area of Ključ), the fluvial phase in Timočka Krajina takes place (Petrović D., 1963). Formation of the Veliki Timok River Valley began after the Sarmatian stage. On the initial surface, which was composed of lacustrine sediments, the carving of the valley begins. Based on the height of epigenetic gorges, it was found that the cutting could have started at the altitudinal height of 340 m at the least. Due to a small drop and soft sediments where it cut into, the Veliki Timok formed, in the long period of time, a wide shallow valley of the mild sides. Firstly, it carved the lacustrine sediments, and then began the carving into the limestones and marls. After this period, a vertical carving of the valley has begun and formation of a series of river terraces in the amount of 300 m (Petrović D., 1953).

**Beli Timok River Valley** is divided into two unequal parts by the Vratarnik epigenetic gorge. The largest part is located in the Knjaževac Structural Basin, and only a small part of it is in the Zaječar Structural Basin. Vratarnik Gorge is very important for understanding the origin and development as the whole Knjaževac Structural Basin, so as the Beli Timok River Valley. Transgression that occurred in the Sarmatian covered the former relief by the sediments of this stage. Postlacustrine evolution, or the period of formation of the Beli Timok River Valley, is characterized by a shift of vertical and lateral river erosion. The result is the formation of a series of river terraces in the valley sides of the Beli Timok. This phase has begun in the Late Miocene and continues today. During this period, the Beli Timok has carved into for about 220 m (Petrović D., 1954).

**Svrliški Timok River Valley** is one of the most striking morphological entities in this area. Especially the Svrliški Timok Gorge stands out. The gorge is characterized by curving meanders carved into the limestones. It represents an epigenetic valley, that is, a particular type of epigenetic gorge - epigenetic breakthrough gorge. The Sarmatian transgression, by the Beli Timok River Valley, has affected also the current area of the Svrliški Timok River Valley, and in the area of the Svrlijig Structural Basin, a lake was formed. At the end of the Sarmatian, the regression has begun by which the lake narrowness between the Svrlijig and Knjaževac Lake turns into the outflow of Svrlijig Lake. By the

bottom of the outflow, which has been preserved in the form of spacious floor on either side of the gorge, the carving of the valley has begun, that is, the Svrliški Timok Gorge of around 200 m. The carving has begun in the Mid or Late Pliocene. Numerous rapids, waterfalls and plunge pools in the gorge point to the intensive carving in the modern period as well (Dinić J., 1967).

**Visočica River Valley** was formed in parallel with the expansion of the southern part of Stara planina, and the largest part of the Visočica River Basin covers the area of this mountain. The gorge of Vladikina Ploča, carved into the limestones, divides the Visočica River Valley into two parts: the Donji and Gornji Visok (Vidanović S., 1955). The gorge is about 3 km long and consists of a few large curving meanders. The depth of the gorge is about 200 m, and the width of the narrowest part from 4 to 5 m. In the gorge, there is the longest explored cave on Stara Planina and the entire border area. It is the cave Vladikina Ploča, 660 m long (Gavrilović D. et al., 1988). In the downstream part of the Visočica River Valley, in the village of Zavoj, the biggest natural disaster in the region took place. In February of the year of 1963, the landslide was triggered on the right side of the Visočica River Valley. The length of the landslide was 1.3 km, with an average width of 160 to 220 m. It initiated the 1,950,000 m<sup>3</sup> of material which dammed the valley by a 36 m high dam. This formed a lake of 7.2 km length, with an area of 5.84 km<sup>2</sup> (Gojić et al., 1964-1965). Attempts that by digging of the channels deplete the reservoir failed, and the water in the lake reached a depth of 33 m (Zeremski M., 1964). Because of the danger of a sudden and uncontrolled dam rupture, a tunnel was dug through which the lake was drained. At the place of the natural dam, later the artificial dam was built and the lake is now used as a multipurpose hydropower and water management facility (Stanković S., 1993).

**Jerma River Valley** was formed on the contact of the Carpatho-Balkan Mountains and the Serbian- Macedonian Mass. Serbia occupies 47% and Bulgaria 53% of the basin area. The largest basin area form the watertight terrains of the ancient metamorphic rocks, clastic rocks of the Mesozoic and Paleozoic age and igneous rocks. These rocks are present in 70% of the Jerma River Basin area, while the other part belongs to the Tertiary and Quaternary sediments of the lower part of the basin. The basic landforms were built during the Hercynian and Alpine orogeny. To the fold mountains of the basin, the following belong: Vlaška, Greben, Ezdimirska Planina and Straža, and to the Serbian-Macedonian Mass: Krajište and Znepolje Structural Basin. Tectonic movements and formation of deep faults have led to the occurrence of thermal waters - thermal spring of Vlasi, at the exit of the Jerma from the Vlaška Gorge, and Zvonačka Banja (Petrović J., 2000).

**Dragovištica River Valley** was formed in the rocks of the Archean and Paleozoic age representing the oldest core of the Balkan Peninsula. During the Mesozoic, it was elevated, faulted and broken. These processes were accompanied by strong volcanic activity. During the Neogene, it comes to formation of the Bosilegrad Structural Basin where the lake was being formed. Thick layers of various sediments have been preserved from it. The valleys of the Dragovištica and its tributaries are characterized by significant drops and steep, rocky sides (Rodić D., 1989).

### Hydrological characteristics

Each hydrological research in a certain territory, to ensure full independence and objectivity, starts from its basic unit, which is the river basin. What it more provides is the set of interactions among all the factors that define its water richness, where they are either already well known or can be easily adapted empirically to similar conditions in the hydrologically studied basins. In this sense, this border area cannot also be understood through a survey of the conditions of runoff or hydro potentials of a certain zone along the border, no matter how big it is, nor take into account only the basins that directly lean on it.

It must be the area of integrated influence of all relevant factors that gather here and give it the hydrological peculiarity.

Water properties in this area will be best shown by analyzing the condition in the basins of the Veliki Timok, Nišava, Vlasina and Dragovištica. The biggest part of these basins belongs to the Carpathian-Balkanides as follows: the Timok completely, the Nišava without the upper part of the Jerma River Basin, and the Vlasina through its largest tributary the Lužnica. The farthest southern part of the border zone belongs to the crystalline massif of the Vlasina, and it is drained by the Jerma and Dragovištica.

To get the basic ideas of the hydrological characteristics, one must be familiar with the factors of formation and runoff of waters, as well as their water regime and balance.

### *Precipitation and air temperature*

The annual amount of precipitation in the border zone varies in the range from 600 to 1,500 mm. The driest are the areas of the structural basins and that are their lowest parts. Thus, in the basin of the Veliki Timok, the entire territory under the contour line of the altitude of 350 m, receives less than 700 mm of precipitation, and that is the largest part of the basin. Within it, the driest is the alluvial plain of the Veliki Timok, about 600 mm, as well as the bottom of the Beli Timok River Valley, 620 mm. The same amount of precipitation is represented in the Nišava River Valley, from Dimitrovgrad to Bela Palanka, and also in the lowest part of the Dragovištica River Basin (Živković N., 1996). Western, mountainous rim of the studied basins receives more precipitation. It ranges from 950 to 1,000 mm on the highest peaks of Deli Jovan, Kučaj, Tupižnica and Vlasina Massive (although it is much higher), up to 1,150 mm in the highest parts of Rtanj and Suva Planina. The central and also the highest part of the Stara Planina, which belongs to the basins of the Trgoviški Timok and Temska, is the wettest part of the border zone. By calculations, it has been found that the ridge itself with the picks Midžor and Kopren receives about 1,500 mm of precipitation per year (Živković N., Andjelković G., 2004), although there are estimates that it is much less, about 1,200 mm (Milovanović B., 2010). In the pluviometric regime, there are two maximums and two minimums of precipitation: the first maximum occurs in late spring and early summer (May-June) and the second in late autumn (November). The first minimum of precipitation is in early autumn (September) and the other in late winter and early spring (February-March). Snowfall is excreted in the areas of lower altitudes from November to mid-March, and on the mountains from October to mid-April. The average maximum height of snow cover is in the Timočka Krajina 20-30 cm, 70-110 cm on Kučaj, and on Stara Planina reaches 110-150 cm (Dukić D., 1975).

According to the isothermal map of East Serbia (Živković N., Smiljanić S., 2005a), the highest average annual air temperatures in the border zone are prevailing in its northernmost part which belongs to Negotinska Krajina. Here, they are slightly over 11 °C, while in the lowest parts of the valley parts of the Timok River Basin (Zaječar, Crna Reka and Knjaževac Structural Basin) are from 10 to 10.5 °C. Valley sides of the Veliki and Crni Timok between the contour lines of the altitude from 200 to 380 m, have the temperatures from 9 to 10 °C, in the Beli Timok River Valley it is the zone of the altitude from 300 to 470 m, in the Pirot Structural Basin it is of the altitude from 460 to 630 m, and in the area of Dimitrovgrad of the altitude from 380 to 600 m. Isotherms of 8 and 9 °C are in the Timok River Basin, north from Knjaževac limited by the contour lines of the altitude of 400 and 550 m, and south of it, it is the zone of the altitude from 460 to 660 m (the biggest part of Tresibaba and Zaglavak). The highest hypsometric zone of Kučaj, Rtanj, Devica and Svrližiške Planine has the annual temperatures between 4 and 5 °C, while the lowest temperatures are represented at the mountain peaks of Suva Planina (2-3 °C), Vardenik (2 °C) and Stara Planina (0-1 °C).



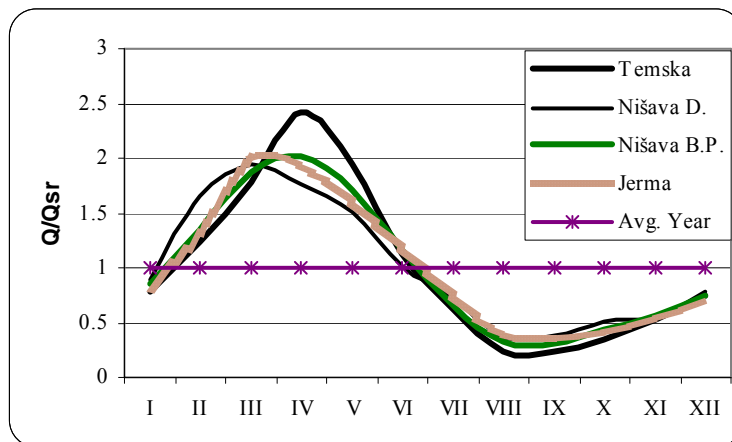
These thermal differences in the meridian direction are very important for the regime of the rivers and in combination with slopes, soil and lithological composition, are the most important factor of evaporation.

### *Water regime of rivers*

Changes of discharge of the studied rivers during the year is to be reported on multiple profiles that reflect different conditions of formation of waters. The used staff gauges do not have the same period of water level monitoring, which prevents any comparison of results among their data. Therefore, that period is reduced to a common one, and that is the thirty years' period, which is a recommendation of the World Meteorological Organization, from 1961 to 1990. As a basis for the representation, the most important element of the water regime of the rivers will serve, which is the discharge.

**Table 1. Average monthly discharges of the rivers Nišava, Vlasina and Dragovištica ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), as well as the modules of the monthly runoffs( $Q/Q_{av}$ )**

| River/Profile           |            | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX  | X    | XI   | XII  | Year |
|-------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| Dragovištica<br>Ribarce | Q          | 5,1  | 6,7  | 9,8  | 12,1 | 8,1  | 6,3  | 3,7  | 2,1  | 2,3 | 2,8  | 3,7  | 4,2  | 5,6  |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 0,9  | 1,2  | 1,8  | 2,2  | 1,5  | 1,1  | 0,7  | 0,4  | 0,4 | 0,5  | 0,7  | 0,8  |      |
| Vlasina<br>Svode        | Q          | 3,3  | 5,2  | 6,8  | 7,5  | 6,2  | 5,2  | 3,2  | 1,9  | 1,8 | 1,8  | 2,5  | 2,9  | 4,0  |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 0,8  | 1,3  | 1,7  | 1,9  | 1,5  | 1,3  | 0,8  | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,6  | 0,7  |      |
| Lužnica<br>Svode        | Q          | 2,9  | 4,7  | 6,2  | 5,2  | 3,9  | 3,3  | 2,0  | 1,2  | 1,2 | 1,2  | 1,7  | 2,3  | 3,0  |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 1,0  | 1,6  | 2,1  | 1,7  | 1,3  | 1,1  | 0,7  | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,5  | 0,8  |      |
| Temska<br>Staničenje    | Q          | 8,2  | 13,0 | 18,8 | 25,4 | 20,4 | 11,8 | 6,4  | 2,4  | 2,6 | 3,6  | 5,5  | 7,7  | 10,5 |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 0,8  | 1,2  | 1,8  | 2,4  | 1,9  | 1,1  | 0,6  | 0,2  | 0,2 | 0,3  | 0,5  | 0,7  |      |
| Nišava<br>Dimitrovgrad  | Q          | 1,8  | 3,3  | 3,9  | 3,5  | 3,0  | 2,0  | 1,5  | 0,7  | 0,7 | 1,0  | 1,1  | 1,6  | 2,0  |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 0,9  | 1,6  | 1,9  | 1,8  | 1,5  | 1,0  | 0,7  | 0,4  | 0,4 | 0,5  | 0,5  | 0,8  |      |
| Nišava<br>B. Palanka    | Q          | 20,9 | 32,5 | 45,5 | 49,2 | 41,6 | 28,4 | 15,9 | 8,1  | 7,7 | 10,4 | 13,5 | 17,9 | 24,3 |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 0,9  | 1,3  | 1,9  | 2,0  | 1,7  | 1,2  | 0,6  | 0,3  | 0,3 | 0,4  | 0,6  | 0,7  |      |
| Jerma<br>Sukovo         | Q          | 4,3  | 7,1  | 10,8 | 10,4 | 8,6  | 6,4  | 4,0  | 2,1  | 1,9 | 2,3  | 2,9  | 3,8  | 5,4  |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 0,8  | 1,3  | 2,0  | 1,9  | 1,6  | 1,2  | 0,7  | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,5  | 0,7  |      |
| Gaberska<br>Mrtvine     | Q          | 1,2  | 2,0  | 2,3  | 2,0  | 1,8  | 1,5  | 0,9  | 0,5  | 0,5 | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,3  |
|                         | $Q/Q_{sr}$ | 1,0  | 1,6  | 1,8  | 1,6  | 1,4  | 1,1  | 0,7  | 0,4  | 0,4 | 0,5  | 0,6  | 0,8  |      |



**Figure 2. Ratio of the hydrographs on used profiles expressed by the modules of monthly runoffs**

According to the data from Table 1 and in Figure 2, it is observed that all the rivers in this part of the border area have one very distinctive maximum and one minimum during the annual runoff. Flows occur everywhere in late winter and early spring and are related to the early melting of snow. The rest of the hydrograph, from June to February is almost of no difference, except in quantitative amount. The period of maximum waters can be divided into two groups. To the first one belong the rivers where the dominant month is March, and those are the Nišava to the town of Dimitrovgrad, Jerma, Gaberska and Lužnica. For them, it can be concluded that they are not the rivers of high-mountain river basins and they all have the average altitude below 1,000 m (Nišava-Dimitrovgrad altitude of 881 m, Jerma-Sukovo 936 m, Lužnica 705 m) (Ocokoljić M., 1987). In addition, for the first three, the influence of the Mediterranean is important, which by the Struma River Valley brings a little higher air temperatures even in February, and their biggest parts of the basins have exactly been developed on the territory of Bulgaria. The second group includes the Temska, Nišava (Bela Palanka), Vlasina (Svodje) and Dragovištica. Besides the Nišava, all other basins are highly mountainous ( $H_{av}$  Temska altitude of 1,065 m, Dragovištica 1,252 m), so a certain delay in the snow melting is here felt, so the nival component is moved to April. For the Nišava, on the profile of Bela Palanka, the influences of the Temska from Stara Planina mix with the upstream part of the Nišava together with Jerma. Both of these influences, by the amount of water during spring are the similar, but water flow in April is slightly higher in the first basin, so that the aggregate of this month has a small advantage over the month of March.

Compared to the average annual discharge, the maximum monthly discharges, in most of the rivers, are higher of about 2 times, while this is something more for a very mountainous basins. So, April discharge in the Dragovištica is higher for 2.2 times and 2.4 times in the Temska. The last triver particularly, but it applies to all the others, has a fairly large inter-monthly changes in discharges (up to 50% compared to the previous month), which is observed in the hydrographs through distinctive steepness.

The second part of the hydrograph, below the average waters line, shows very similar characteristics in all river basins. August and September are of low waters everywhere, and that amounts from 30 to 40% of the perennial waters, except for the Temska where the discharge decreases to 20%. It is also interesting that the dry period on the Vlasina and its tributary the Lužnica River extends in the same amount even to October.

**Table 2. Average monthly discharges in the Veliki Timok Basin ( $m^3s^{-1}$ ), as well as the modules of the monthly runoffs ( $Q/Q_{ar}$ )**

| River/Profile                |                   | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X   | XI   | XII  | Year |
|------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| Trg. Timok<br>G.<br>Kamenica | Q                 | 3,3  | 5,3  | 7,0  | 6,8  | 6,1  | 4,0  | 2,0  | 1,1  | 1,2  | 1,2 | 1,7  | 2,6  | 3,5  |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 0,9  | 1,5  | 2,0  | 1,9  | 1,7  | 1,1  | 0,6  | 0,3  | 0,3  | 0,3 | 0,5  | 0,7  |      |
| Svr. Timok<br>Rgošte         | Q                 | 4,2  | 6,7  | 8,8  | 6,3  | 5,4  | 3,3  | 1,8  | 0,9  | 1,0  | 1,4 | 1,6  | 2,7  | 3,7  |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 1,1  | 1,8  | 2,4  | 1,7  | 1,5  | 0,9  | 0,5  | 0,2  | 0,2  | 0,3 | 0,4  | 0,4  |      |
| Beli Timok<br>Zaječar        | Q                 | 12,1 | 22,2 | 30,0 | 25,1 | 20,1 | 11,6 | 5,5  | 2,8  | 3,3  | 4,5 | 6,2  | 9,6  | 12,8 |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 0,9  | 1,7  | 2,3  | 2,0  | 1,6  | 0,9  | 0,4  | 0,2  | 0,3  | 0,3 | 0,5  | 0,7  |      |
| Crni Timok<br>Zaječar        | Q                 | 10,0 | 19,0 | 32,8 | 31,1 | 16,7 | 9,4  | 4,7  | 2,1  | 2,2  | 3,7 | 6,2  | 9,2  | 12,2 |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 0,8  | 1,6  | 2,7  | 2,5  | 1,4  | 0,8  | 0,4  | 0,2  | 0,2  | 0,3 | 0,5  | 0,8  |      |
| Veliki<br>Timok<br>Tamnič    | Q                 | 22,5 | 46,4 | 76,7 | 66,4 | 40,0 | 24,6 | 10,4 | 5,9  | 5,3  | 8,6 | 13,2 | 19,4 | 28,3 |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 0,8  | 1,6  | 2,7  | 2,3  | 1,4  | 0,9  | 0,4  | 0,2  | 0,2  | 0,3 | 0,5  | 0,7  |      |
| Zlotska<br>Sumrakovac        | Q                 | 3,0  | 4,6  | 7,7  | 8,2  | 4,7  | 3,2  | 1,7  | 0,9  | 1,0  | 1,4 | 2,0  | 2,7  | 3,4  |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 0,9  | 1,3  | 2,2  | 2,4  | 1,4  | 0,9  | 0,5  | 0,3  | 0,3  | 0,4 | 0,6  | 0,8  |      |
| Sikolska<br>Mokranje         | Q                 | 0,5  | 1,0  | 1,8  | 1,4  | 0,8  | 0,4  | 0,3  | 0,08 | 0,06 | 0,3 | 0,5  | 0,5  | 0,6  |
|                              | Q/Q <sub>sr</sub> | 0,8  | 1,6  | 2,8  | 2,3  | 1,2  | 0,7  | 0,4  | 0,1  | 0,1  | 0,5 | 0,7  | 0,8  |      |

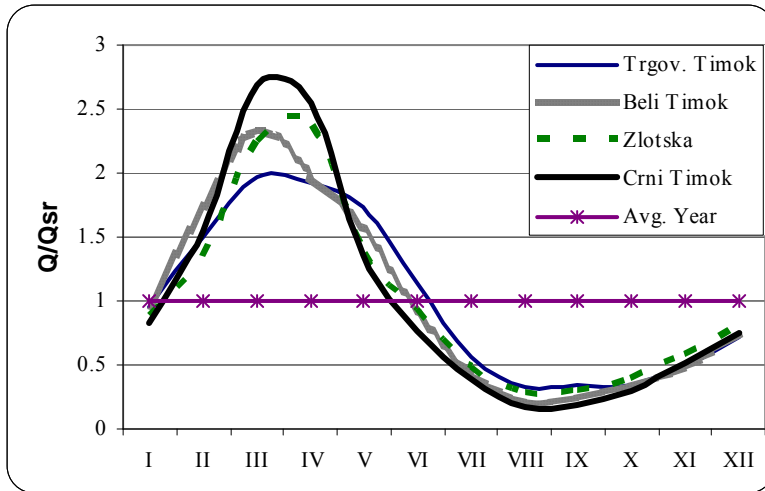


Figure 3. Ratio of the hydrographs on used profiles expressed by the modules of monthly runoffs

The distribution of waters throughout the year in the Timok River Basin is very similar to the distribution in the southern border river basins. Here also the high waters occur after snow melting, supported by spring rains, while the dry period is felt from July. For a visual representation, on the hydrograph, four rivers were selected. Due to visibility, the Svrliški Timok was omitted, which distribution of waters was very similar to the regime of the Beli Timok, except that the April waters were somewhat lower in comparison with the average annual, and that the January were higher than the average annual, which was the unique example in the entire river basin. The graph does not include the Veliki Timok and Sikolska Reka, which runoffs are of similar values to the Crni Timok runoff (with slightly lower April waters).

Compared with the previous basins, firstly observed are the larger amplitudes of monthly discharges in the Timok River Basin, especially in months with high and low waters. So the Crni Timok, Veliki Timok and Sikolska Reka exceed the module ( $Q/Q_{av}$ ) from 2.5 (Sikolska 2.82), whereas in the last, the August and September water is only about 10 % of the average annual waters. On all profiles, except on the Zlotska, the maximum waters occur in March. However, that peak of March is not everywhere so distinct. This can be said for the Beli Timok in Zaječar, Veliki Timok and Sikolska Reka, where it differs significantly from the runoffs of adjacent months, and especially for the Svrliški Timok, where the April waters are 30 % less than March waters. All this is a consequence of lower terrains and slightly earlier snow melting. For other profiles, with a significant participation of the April waters should be taken into account as the relief and physiognomy of the basin, so as its lithological composition. In fact, the atypical hydrograph of the Trgoviški Timok is the result of several factors. The main maximum occurs in March, as in the neighboring Svrliški Timok, due to higher temperatures and the snow thawing in the lower parts of the basin, particularly from its left valley side. But, its striking asymmetry in favour of the right side, which is the part of Stara Planina, emphasizes the delay, that is, extension of the nival component in April also. However, that duration of high waters has another dimension which is reflected in the fact that the snow melting from Stara Planina is not sudden, as at the Temska River, but gradual, due to the western aspect of the river basin, which extends the peak of the hydrograph to May as well, almost in the same amount as in March and April. Therefore, although this river basin is known for the torrential characteristics, its average monthly discharges do not have large amplitudes and high waters can be expected

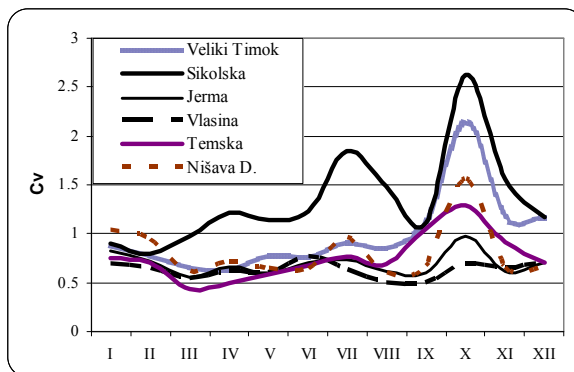
from February to May. The Crni Timok in Zaječar has a sudden increase in waters from February to March, when the maximum is also, but the high waters in almost the same amount retain in April as well. The reason is primarily that the water runoff from snow occurs in the second half of March due to the vast and low Crna Reka Structural Basin where it melts, and sometime later affluents also from high mountains of Kučaj and Rtanj. In addition, here the karst relief also plays an important role because for the emptied aquifers feeding some time is needed, and gradually the issuance of waters through the wells prolong high waters to April as well. This is clearly evident in the Zlotska Reka, real karst basin, where April is more dominant than March.

As mentioned above, the period of low waters starts earlier than at the Nišava or Vlasina. In these last ones, the June waters are everywhere higher than the average annual, while in the Timok River Basin it only occurs in Trgoviški Timok, and all other rivers are below the average (for the Sikolska Reka 71%). Already in July, it can be expected with high probability that everywhere in the basin the discharges decline by more than 50 % compared to the average waters. This trend is maintained until November, where the driest August and September nowhere exceed 30 % of the average annual water.

All of the foregoing indicates that the water regimes of the rivers of this border zone are formed by the influence of rain and snow, where the rainy period is much longer, but for high waters, the meltwater is more important, which occurs every year in more or less the same time and provides stability of the water regime. The differences observed in the amplitudes and time of occurrence of the extreme waters are the result of several factors, and each of them, according to their impact, performs a certain modification of the simple hydrograph, with one wet and one dry period. Be sure that the precipitation (in both forms) is the most important factor of the water regime, but for some deviation from basin to basin are more worthy the relief with its height, position of the basin (in the meridian direction, the impact of temperature), its aspect and lithological composition.

**Table 3. Coefficient of variation of monthly discharges on the selected profiles in the border zone (Cv)**

| River     | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| V. Timok  | 0,88 | 0,78 | 0,65 | 0,63 | 0,78 | 0,76 | 0,91 | 0,86 | 1,12 | 2,14 | 1,18 | 1,17 |
| Sikolska  | 0,91 | 0,79 | 0,97 | 1,22 | 1,14 | 1,23 | 1,84 | 1,48 | 1,11 | 2,63 | 1,56 | 1,17 |
| Jerma     | 0,82 | 0,72 | 0,56 | 0,65 | 0,61 | 0,7  | 0,73 | 0,62 | 0,6  | 0,98 | 0,61 | 0,7  |
| Vlasina   | 0,69 | 0,64 | 0,54 | 0,62 | 0,59 | 0,77 | 0,63 | 0,5  | 0,5  | 0,69 | 0,65 | 0,71 |
| Temska    | 0,75 | 0,71 | 0,44 | 0,5  | 0,58 | 0,68 | 0,77 | 0,68 | 1,05 | 1,29 | 0,92 | 0,7  |
| Nišava D. | 1,03 | 0,94 | 0,61 | 0,71 | 0,64 | 0,64 | 0,96 | 0,6  | 0,67 | 1,56 | 0,66 | 0,64 |



**Figure 4. Coefficient of variation of monthly discharges**

All of these monthly values were obtained as the average of the period 1961-1990. What is not seen behind these data is their frequency, that is, information on reliability that these values will be exactly that much. One of good indicators of this occurrence is the coefficient of variation.

As a relative measure of dispersion, the coefficients of variation indicate the average deviation of each data in the series from its average. In the case of monthly discharges, it is shown that these values for most of the year, are less than 1, and the only rivers where the deviations do not exceed the average monthly value are the Vlasina and Jerma. That still does not mean that the runoffs of these rivers are stable during the year, but only that in the set of observed basins, their runoffs vary least. As a rule, as the river discharge is higher, so the variations in discharges are less. What should be noted in Figure 4 are the line of the Sikolska Reka, as well as the values of the month of October. For the Sikolska Reka, as the poorest in water, the rule that in such basins the amplitudes of discharges are very high and that they are thankless for evaluation is confirmed. Here the coefficients are particularly high in spring and summer, when certain rain of prolonged duration or high intensity can significantly change the usual runoff. For example, the July coefficient of variation of 1.84 is a consequence of only two data in a series of 30. These are the discharges in July of 1970 and 1986 ( $1.75$  and  $1.88 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), wherein the average July discharges of about  $150 \text{ ls}^{-1}$ . This occurrence is much more evident in the example of October. If not for the heavy rains in September and October in 1972, for which almost on all the rivers in Serbia the discharge manifold outstripped the average values, these sharp peaks on the graph would not exist. Then on the Sikolska Reka, the October discharge was  $3.95 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  compared to the average of  $0.16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , which was about 25 times more. And not just on such a small river, the October anomaly was observed at many other much larger rivers. This one value led to the the fact that this ratio, at the Timok, or Nišava, was over 1.5, that is, 2 (i.e. the Veliki Timok has the October discharge of about  $4.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , without the year of 1972, and that year it was  $121 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , almost 26 times more!). The conclusion is that the coefficients of variation are an excellent indicator of changes in a set of data, but they should be always accepted together with the analysis of specific values, especially if it is the case of the above mentioned upper extremes. In general, October is the month with bigger oscillations of discharges in all rivers of our region, and out of the other months it can be almost every month, except for those on which spring high waters are expected. These months have the least deviations, which are typically less than 1, and in the study area is the range from 0.4 to 0.7. By comparison, the coefficients of variation on the large rivers, such as the Sava and Danube, throughout the year do not exceed 70 % of the average monthly values, and in a stable period, in spring and summer, on the Sava is about 35 % and 26 % on the Danube.

### ***Water balance of the border area***

Using all available data and the results of measurements of hydro-meteorological stations of the studied river basins, the relation of the most important elements of the water balance will be shown.

What is the most important for water balance, as well as for water regimes, is the amount of precipitation, its distribution throughout the year, the thermal properties of air and the character of the relief. Considering this, and all other factors in the formation and runoff of waters, it can be concluded that in this border area there are high contrasts, which affect that the relation between the elements of the balance is extremely uneven. Although the measurement profiles do not include all river basins, which clearly indicate that, from Table 4 it can be concluded that there are the areas of distinctive runoff, but also those with very low runoffs. The first includes the central parts of Stara Planina, the highest zone of Vlasina

Massif and the eastern rim of the Kučajske Planine. Runoffs of the rivers of these areas have the values of over  $10 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , and the runoff coefficients of over 0.4. As an example of the uneven runoff Stara Planina can be regarded. According to Živković N. (1998), the range of runoffs on it is from 4.6 to  $26.1 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , which corresponds to the runoff coefficients of 0.19 and 0.85. Minimum values are related to the direct basin of the Beli Timok (the northernmost part of Stara Planina), and the maximum to the Toplodolska River Basin (right tributary of the Temska River). According to estimates, the basin that drains the highest peaks of Stara Planina, the Javorska Reka, in its spring parts has the runoff of about  $30 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ . Such high values are the characteristics of the highest parts of the Dojkinačka River Basin (right tributary of the Visočica River) and also the Crnovrška Reka (spring of the Trgoviški Timok). Unlike central parts of the mountain, its eastern parts (Berkovska Planina in Serbia), receive less precipitation, temperatures are slightly higher, and thus the runoffs are less. So, the Kamenička Reka, with about 860 mm of precipitation and the average altitude of 1,277 m, has the runoff of  $13.5 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$  (according to calculation), which makes 50 % of the precipitation (Živković N., 1995). To that, the easternmost part of the Nišava River Basin, which belong to Serbia (excluding the Visočica River), then its tributaries the Jerma, that is, Krajište (Dragovištica River Basin), it was pointed out several times as the area of specific precipitation, thermal and lithologic conditions, which in hydrological terms significantly differ from somewhat western basins (Živković N., 2005, Živković N., Smiljanić S., 2005, Ducić V., Radovanović M., Milovanović B., 2005). After all, also the part of the Nišava River Basin belonging to Bulgaria through multiple linear regression model, where independent variables are the precipitation, the limestone complex and sedimentary rocks, shows similar values for the direct Nišava River Basin with the runoff coefficient of 0.28, 0.33 for the Jerma and only Visočica stands out with 0.65 (Živković N., 1994). It may be noted that apart from the Temska River Basin in the Nišava River Basin, the evaporation from the soil significantly exceeds the runoff, and that is why many of its tributaries are periodic streams. Likewise, the lack of precipitation, despite the high altitude that have the subbasins of the Dragovištica River in Serbia, contributes to their low runoff: Brankovačka at the altitude of 1,238 m, 761 mm,  $8.5 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , Ljubatska at the altitude of 1,314 m, 777 mm,  $10.9 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , Božička at the altitude of 1,344 m, 877 mm,  $7.2 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$  (Živković N., 2007).

**Table 4. Basic elements of the water balance in the border zone basins**

| River (Profile)            | F    | X <sub>o</sub> | Y <sub>o</sub> | Z <sub>o</sub> | Q    | q    | C    |
|----------------------------|------|----------------|----------------|----------------|------|------|------|
| Dragovištica (Ribarce)     | 687  | 790            | 256            | 534            | 5,58 | 8,12 | 0,32 |
| Vlasina (Svođe)            | 349  | 910            | 364            | 546            | 4,02 | 11,5 | 0,40 |
| Lužnica (Svođe)            | 318  | 760            | 297            | 463            | 2,99 | 9,4  | 0,39 |
| Temska (Staničenje)        | 818  | 860            | 405            | 455            | 10,5 | 12,8 | 0,47 |
| Jerma (Sukovo)             | 795  | 770            | 214            | 556            | 5,38 | 6,77 | 0,28 |
| Gaberska (Mrtvine)         | 232  | 750            | 174            | 576            | 1,28 | 5,52 | 0,23 |
| Nišava (Dimitrovgrad)      | 344  | 760            | 183            | 577            | 2,00 | 5,81 | 0,24 |
| Nišava (B.Palanka)         | 3087 | 740            | 248            | 492            | 24,3 | 7,87 | 0,34 |
| Trgov. Timok (G. Kamenica) | 331  | 810            | 336            | 474            | 3,52 | 10,6 | 0,41 |
| Svrlj. Timok (Rgošte)      | 618  | 700            | 187            | 513            | 3,67 | 5,94 | 0,27 |
| Beli Timok (Zaječar)       | 2150 | 690            | 188            | 502            | 12,8 | 5,95 | 0,27 |
| Zlotska (Sumrakovac)       | 269  | 820            | 404            | 416            | 3,44 | 12,8 | 0,49 |
| Crni Timok (Zaječar)       | 1242 | 740            | 310            | 430            | 12,2 | 9,82 | 0,42 |
| Sikolska (Mokranje)        | 114  | 760            | 172            | 588            | 0,62 | 5,44 | 0,23 |
| Veliki Timok (Tamnič)      | 4191 | 710            | 213            | 497            | 28,3 | 6,75 | 0,30 |

Note: F – basin area ( $\text{km}^2$ ), X<sub>o</sub> – average annual precipitation (mm), Y<sub>o</sub> – runoff height (mm), Z<sub>o</sub> – evaporation height (mm), Q – discharge ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), q – specific runoff ( $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ ), C – runoff coefficient

For the Timok River is safe to say that it is preserved thanks to the karst wells. The basin which is throughout the whole western side surrounded by the limestone mountains, despite the rather insignificant precipitation and significant evaporation in the areas of the structural basins, at the confluence it has the runoff of  $6.75 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , generated from 30 % of the total precipitation. That is why the differences in the basin are distinctive, ranging from many small tributaries of the Veliki and Beli Timok, that dry up each year, to those on Kučaj or Stara Planina with the coefficient of runoffs of more than 0.6 and 0.7. How climate can be cruel to rivers shows an example of the right tributaries of the Beli Timok, even if they come from Stara Planina (its northern, lower part). It is a total of 21 tributaries, of which only 10 are the perennial streams, 4 are the intermittent streams and 7 sinks even before their confluence in the river sediments or swamp soil (Gavrilović Lj., 2005). The situation is similar throughout the whole basin, but this is not surprising due to the fact that the largest part receives less than 700 mm of precipitation, and this is after the Niš-Aleksinac Structural Basin and the northern Pomoravlje, the largest area in Serbia, limited by the isohyet of 700 mm. Specific runoffs of that area according to the runoff map (Manojlović P., Živković N., 1997) would be in the range from 2 to  $5 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , while most of the studied territory is of  $5\text{-}10 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ .

### *Hydrological characteristics of karst terrains*

What is the specific characteristic of East Serbia terrain are the karst wells and losing streams. As water is a resource of immeasurable value, and deficiency of it constantly follows the development of human society, so many wells were converted into the sources of watersupply for people. Some of the largest settlements of East Serbia are supplied with water from the following wells: Niš, Bela Palanka, Pirot, Dimitrovgrad, Svrlijig, Knjaževac, Bor. Neither in any part of the country, nor on the Balkan Peninsula, there is no karst area with such frequency of springs and wells as in East Serbia. According to some data, there are about 1,360 springs, including 86 with a minimum yield of more than  $5 \text{ ls}^{-1}$  and a maximum of over  $100 \text{ ls}^{-1}$  (Petrović J., 1974). It lists only a strongest wells, with the data on the minimum and maximum yield. The Crni Timok River Basin: well of the Crni Timok in Krivi Vir (min.  $20 \text{ ls}^{-1}$ , max.  $4,000 \text{ ls}^{-1}$ ), Radovansko Vrelo on Kučaj (min.  $100 \text{ ls}^{-1}$ , max. over  $2,500 \text{ ls}^{-1}$ ), Mrliš on southeastern Kučaj (average yield of  $600 \text{ ls}^{-1}$ ), Zlotsko Vrelo on eastern Kučaj (min.  $30 \text{ ls}^{-1}$ , max. over  $2,000 \text{ ls}^{-1}$ ), Beljevinsko Vrelo on eastern Kučaj, a total of 6 wells of the minimum yield of about  $100 \text{ ls}^{-1}$ , Mirovsko Vrelo on northeastern Rtanj (min.  $40 \text{ ls}^{-1}$ ). The Veliki Timok River Basin: Kriveljsko Vrelo, southwest of Veliki Krš (min.  $15 \text{ ls}^{-1}$ ), Surdup, southern Goli Krš (min.  $40 \text{ ls}^{-1}$ ). The Beli Timok River Basin: Lenovačko Vrelo, Tupižnica (min.  $20 \text{ ls}^{-1}$ ). The Svrliški Timok River Basin: Sinji Vir, northern Tresibaba (yield up to  $700 \text{ ls}^{-1}$ ). The Trgoviški Timok River Basin: Paješko Vrelo, eastern Pajež (min.  $30 \text{ ls}^{-1}$ ). The Nišava River Basin: Modro Oko, the south of the Svrliške Planine (min.  $150 \text{ ls}^{-1}$ ), Belopalanačko Vrelo, Bela Palanka (min.  $130 \text{ ls}^{-1}$ ), Krupačka Vrela, southwestern Vidlič (min.  $300 \text{ ls}^{-1}$ ), Gradištansko Vrelo, southwestern Vidlič (min.  $150 \text{ ls}^{-1}$ ). The Vlasina River Basin: Ljuberadska Vrela, southern part of Suva Planina (12 wells, of which 5 with the min. of  $10 \text{ ls}^{-1}$ ). All of these wells, and there are dozens of lower yields, are predisposed by impermeable or less permeable formations and position of the fault structures. They appear at the rim of the karst massifs or within them, and flow out gravitationally or ascending (Stevanović Z., 1991).

Karst landscapes of the eastern part of Serbia are primarily related to the mountain ranges, flattened ridges and ridges. As the mountains are broken by the numerous structural basins and valleys, the karst landscapes appear as a set of isolated oases surrounded by younger, lacustrine sediments. Paleozoic rocks are rare in the limestone basis, but they are a regular occurrence on mountain ridges and under the ridges. Bare Paleozoic

rocks on the limestone mountains, which core they form indeed, are the main cause of the large number of simple losing streams (Petrović J., Božović B., 1991).

**Table 5. Larger losing streams of the Veliki Timok Basin and the Nišava River Basin (Gavrilović Lj., 2005)**

| Losing stream | Location   | Length (km) | Ponor height (altitude in m) | Subterranean watercourse (m) | Spring           | Spring height (altitude in m) |
|---------------|------------|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Klencuš       | Kučaj      | 13,0        | 581                          | 4700                         | Zlotsko V.       | 284                           |
| Demizlok      | Kučaj      | 10,6        | 645                          | 6000                         | Lazar C.         | 284                           |
| Mikulj        | Kučaj      | 9,5         | 677                          | 5125                         | Zlotsko V.       | 284                           |
| Bogovina      | Kučaj      | 8,0         | 408                          | 3300                         | Bogovina C.      | 268                           |
| V. Brezovica  | Kučaj      | 6,0         | 830                          | 5500                         | Radovanska R. V. | 500                           |
| Vojal         | Kučaj      | 3,5         | 840                          | 7580                         | Mala C.          | 329                           |
| Dubašnica     | Kučaj      | 3,0         | 889                          | 3750                         | Velika C.        | 339                           |
|               |            |             |                              |                              | Mala C.          | 329                           |
| Turija        | Svrlj. Pl. | 10,5        | 485                          | 600                          | Svrlj. T. V.     | 440                           |
| Blato         | Vidlič     | 7,0         | 680                          | 8300                         | Gradištansko V.  | 420                           |
| Berovačka R.  | Vlaška Pl. | 7,0         | 690                          | 2000                         | Vlaško V.        | 470                           |

A common characteristic of the losing streams is a small length of their subterranean watercourse. Except for Blato in Odorovačko Polje of the length of 8.3 km, all the others are all significantly shorter (referring to the studied border area). The most common are 1-3 km long. This characteristic is a consequence of the shallow karst of East Serbia, which is why the karstification affected the entire layer of the limestones to the waterproof basis (Gavrilović, Lj., 2005).

## Discussion

Natural characteristics of the border area of Serbia towards Bulgaria are very interesting, unusual and diverse. In the morphological and hydrological aspect and its heterogeneity are unique among our border areas. This, first of all, comes from the fact that the two striking mountain system, the Carpatho-Balkanides and Serbian-Macedonian Mass are the most distinctive exactly in the border zone. Belonging to different geotectonic entities are largely reflected in their physiognomy as well. While the first ones are of fold structure and mostly of karst characteristics, others form a metamorphic complex, made by faulting, of rounded shape and shouldered appearance. Such a structure has caused completely different water characteristics. The northern part (the Timok River Basin and the Nišava River Basin), maintains the water richness thanks to the abundance of underground waters which drain a number of wells, while the southern part (Vlasina and Dragovištica) has a dense river network, but shallow aquifer and intermittent streams. Morphologically, the Carpatho-Balkanides are more diverse, and to that contribute the composite valleys, of picturesque gorges, vast structural basins with wide alluvial plains of the rivers. In contrast, in the Vlasina complex, the valleys are unique and with deep gorges. Soil erosion processes, unfortunately, in this part of Serbia are very intense, but with the emigration of the population, that is, with the extinction of villages also disappear the direct causes of increased soil transport. That is how the depopulation, a negative process, has contributed to the consolidation of the soil, by transforming the farmland in thickets and forests (Mustafić S., 2007).

Hydrological curiosity is that the main rivers of the border zone are oriented towards three sides of the world, the Timok towards north, the Nišava towards west and the Dragovištica towards south. In addition, there are two large and unusual artificial lakes. While Zavoj is known for its catastrophic formation, Vlasina is our highest artificial lake (1,200 m a.s.l.)



with floating peat islands. What still deserves mentioning is the discovery of several waterfalls on Stara Planina, of impressive dimensions, some of which have been known only by the local people's stories, and in recent years those not known have been described (Veselinović R., 2013). In the field of hydrology, the water pollution is classified as well, and in this regard the Borska River should be mentioned, which is the example that do not serve to our honor, and to which no one is able to cope with. The importance of the Bor copper mine is that significant that not only the Borska, Kriveljska and Bela Reka are sacrificed, but also the Veliki Timok as well downstream from Vražognac. According to all biological parameters, these rivers are dead.

### References

- Богићевић, М. (1914). Сврљишка котлина. *Гласник СГД*, Београд, св. 3-4.
- Видановић, С., (1955). *Висок*. Београд: Географски институт САНУ, Посебна издања, књ. 6
- Гојић, Д., Јанић М., Луковић С., (1964-65). Инжењерско-геолошки услови стварања клизишта природне бране језера Завој, *Весник Завода за геолошка и геофизичка истраживања*, серија Б, Београд, књ. IV-V
- Динић, Ј. (1967). *Природни услови и природна богатства у сливу Белог Тимока*. Београд: Географски факултет, докторска дисертација
- Динић, Ј. (1967). Дезорганизација долине Старопланинске реке пиратеријом Трговишног Тимока. *Зборник радова Географског института "Јован Цвијић" САНУ*, Београд, књ. 21
- Dinić, J. (1974). Morphogenese du defile de Svrlijig. *Studea geomorphologica Carpatho-balcanica*, Krakow vol. VIII
- Динић, Ј. (1979). Урвински рељеф Сврљишке котлине. *Гласник СГД*, Београд, св. LIX(1)
- Дукић, Д. (1975). Хидрографске особине Источне Србије. *Зборник радова ГИ "Јован Цвијић" САНУ*, књ. 26, 23-94.
- Гавриловић, Д. (1970). Мразно-снежанички облици у рељефу Карпато-балканских планина Југославије. *Зборник радова Географског завода ПМФ*, Београд, св. 17
- Гавриловић, Д. (1975). Крас Карпатско-бакланских планина у Југославији. *Гласник СГД*, Београд, св. LV(2)
- Gavrilović, D. (1990). Tragovi zasipanja dolina očuvani u pećinama Srbije. *Zbornik referatov 5. znanstvenega posavetovanja geomorfologov Jugoslavije*, Ljubljana
- Гавриловић, Д. (1996). Радиокарбон датације у пећинама у Србији. *Зборник радова Географског факултета*, Београд, св. XLVI
- Гавриловић, Д., Станковић С., Манојловић П. (1988). Пећине у клисури Владикине плоче (Стара планина), *Зборник радова Одбора за крас и спелеологију САНУ*, Београд, књ. III
- Гавриловић, Љ. и Дукић Д. (2002). *Реке Србије*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Gavrilović, Lj. (1992). *Hydrological characteristic of sinking creeks of Carpatho-Balkanian Mountains*. Belgrade: Faculty of Geography, Physico-geographical problems of Carpatho-Balkanian mountains in Serbia. Edition Physical geography of Serbia, Vol. 2.
- Gavrilović, Lj. (2005). *Surface waters of Mt. Stara planina*. Belgrade: Faculty of Geography, Physico-geographical problems of Carpatho-Balkanian mountains in Serbia. Edition Physical geography of Serbia, Vol. 2.
- Група аутора (1971). *Тумач за основну геолошку карту СФРЈ 1:100 000 - Лист Књажевац*, Београд, Савезни геолошки завод
- Ђокић, М. (2010). Хидрогеографска студија реке Јерме. Магистарски рад, Београд.
- Ђуровић, П. (1987). Врелске пећине у долини Ласовачке реке. *Гласник СГД*, Београд, св. LXVII(2)
- Ђуровић, П. (1986). Пећина Топлик. *Гласник СГД*, Београд, св. LXVI(2)
- Ђуровић, П. Нешић Д. (1992). Пећине и јаме Тупижнице. *Гласник СГД*, Београд, св. LXXI(2)
- Живковић, Н. (1992). Утицај геолошког састава на густину речне мреже у сливу Тимока. *Гласник Српског географског друштва*, Београд, књ. LXXII(1), 33-44.
- Živković, N. (1992). *Runoff in Carpatho-Balkanian Mountains of Serbia*. Belgrade: Faculty of Geography, Physico-geographical problems of Carpatho-Balkanian mountains in Serbia. Edition Physical geography of Serbia, Vol. 1.

- Живковић, Н. (1994). Прилог проучавању водног биланса слива Нишаве. *Гласник Српског географског друштва*, Београд, књ. LXXIV(1), 65-72.
- Живковић, Н. (1995). *Утицај физичко-географских фактора на висину отицаја у Србији*. Београд: Географски факултет Универзитета у Београду, Посебна издања, бр. 6.
- Живковић, Н. (1996). Прилог одређивању годишње висине падавина у сливовима Србије. *Зборник радова Географског факултета Универзитета у Београду*, књ. XLVI, 35-48.
- Живковић, Н. (1998). *Неке хидролошке особености Старе планине*. Зборник радова Географског факултета Универзитета у Београду, књ. XLVIII, 49-60.
- Живковић, Н. и Анђелковић Г. (2004). Висински градијенти падавина у Србији. *Гласник Српског географског друштва*. Београд, књ. LXXXIV(2), 31-36.
- Živković, N. (2005). *Precipitation in Eastern Serbia in the period 1961–1990*. Belgrade: Faculty of Geography, Physico-geographical problems of Carpatho-Balkanian mountains in Serbia. Edition Physical geography of Serbia, Vol. 2.
- Живковић, Н. и Смиљанић С. (2005а). Изотермна карта источне Србије. *Гласник Српског географског друштва*. Београд, књ. LXXXV(1), 31-38.
- Живковић, Н. (2007). *Отицање вода у Србији – услови формирања и хидрогеографска рејонизација*. Београд: Географски факултет, докторска дисертација.
- Зеремски, М. (1964). Улога антропогеног фактора у заштити клизног земљишта у долини Височице. *Зборник радова ГИ "Јован Цвијић"*, Београд, књ. 19
- Зеремски, М. (1994). Тупижница (са погледом на главне одлике краса). *Зборник радова Одбора за крас и спелеологију САНУ*, Београд, књ. IV
- Зеремски, М. (2002). Крас Озрена и Девнице. *Зборник радова Одбора за крас и спелеологију САНУ*. Београд, књ. VII
- Зеремски, М. (2008). Крас Сврљешких планина. *Зборник радова Одбора за крас и спелеологију САНУ*. Београд, књ. IX
- Костић, М. (1970). *Белопаланачка котлина*. Београд: ГИ "Јован Цвијић" САНУ, Посебна издања, књ. 23
- Максимовић, Б. (1976). *Кучајско-сврљешка зона*. Београд: Геологија Србије IV, Тектоника. Завод за регионалну геологију Рударско-геолошког факултета
- Манојловић, П., и Живковић Н. (1997). Карта специфичних отицаја у Србији. *Зборник радова Географског факултета Универзитета у Београду*, књ. XLVII, 15-25.
- Милаковић, Б., Новковић М. (1977). Белешка о стратиграфском положају "штајерске фауне" сисара из сврљешког неогеног басена (Источна Србија). *Гласник природњачког музеја*, Београд, књ.32
- Милић, Ч. (1970). Основне карактеристике геоморфолошке еволуције кречњачких терена у источној Србији. *Зборник радова ГИ "Јован Цвијић" САНУ*, Београд књ. 23
- Миловановић, Б. (2010). *Клима Старе планине*. Посебна издања, књ. 75, ГИ "Јован Цвијић", САНУ.
- Мустафић, С. (2007). Неки аспекти антропогеног утицаја на интензитет ерозивних процеса у сливу Темштице. *Гласник СГД*, св. бр. 1, 23-30.
- Нешић, Д. (1994). Пећина Барбарош. *Зборник радова Географског факултета*, Београд, св. 44
- Нешић, Д., Миливојевић М. (2002). Мразно-снежаничке улоке на Копрену-Стара планина. *Пиротски зборник*, Пирот, бр. 27-28
- Оцокољић, М. (1987). *Висинско зонирање вода у сливу Велике Мораве и неки аспекти њихове заштите*. Београд: Српско географско друштво, Посебно издање, књ. 64.
- Петровић, Д. (1953). Епигенетска клисура Великог Тимока код Зајечара. *Географски институт "Јован Цвијић" САНУ*, Београд, књ. 4
- Петровић, Д. (1964). Вратарничка клисура. *Зборник радова Географског факултета*, Београд, св. 1
- Петровић, Д. (1963). Палеорељеф Тимочке крајне. *Зборник радова Географског факултета*, Београд, св. X
- Петровић, Д. (1970). Слив Црног Тимока. Београд: *Географски институт "Јован Цвијић" САНУ*, Посебна издања, књ. 22
- Петровић, Ј. (1954). Ерозија тла на Сувој планини. *Зборник радова ПМФ*, Географски завод, Београд, св. 1
- Петровић, Ј. (1974). *Крш Источне Србије*. Београд: Српско географско друштво, Посебна издања, књ.40

- Петровић, Ј. и Божовић Б. (1991). Учесталост и величина понорница у кршу источне Србије. *Зборник радова одбора за крас и спелеологију*, Београд, књ. IV, 59-70.
- Петровић, Ј. (1998). Природа Беле Паланке и средњег Понишавља. *Институт за географију*, Нови Сад
- Петровић Ј. (1999): *Природа Пиротске котлине и горњег Понишавља*. Институт за географију, Природно-математички факултет у Новом Саду, Нови Сад.
- Ракићевић, Т. (1976). Климатске карактеристике источне Србије. *Зборник радова ГИ "Јован Цвијић" САНУ*, књ. 28, 41-68.
- Родић, Д. (1989). Босилеград. *Зборник радова ПМФ*, Географски факултат, Београд, бр. XXXVI
- Ршумовић, Р. (1967). Нишко-алексиначки део удолине Јужне Мораве - геоморфолошка проучавања. *Зборник радова ГИ "Јован Цвијић"*, Београд, књ. 21
- Ршумовић, Р. (1972). Књажевачка туристичка регија. *Зборник радова ГИ "Јован Цвијић" САНУ*, Београд, књ. 24
- Спасојевић, М. (1984). Епигенија Лукавице у Малушничкој коси. *Гласник СГД*, Београд, св. LXIV(1)
- Станковић, С. (1993). Завојско језеро као основа географских промена у околини Пирота. *Зборник радова Географског факултета*, Београд, књ. XLI
- Стевановић, З. (1991). *Хидрогеологија карста Карпато-балканида Источне Србије и могућности водоснабдевања*. Београд: Рударско-геолошки факултет.

## МОРФОЛОШКО-ХИДРОЛОШКЕ ОДЛИКЕ ПОГРАНИЧНОГ ПОЈАСА СРБИЈЕ ПРЕМА БУГАРСКОЈ

ПРЕДРАГ ЂУРОВИЋ<sup>1</sup>, НЕНАД ЖИВКОВИЋ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски тр 3/3, Београд, Србија

**Сажетак:** Извршена је морфолошко-хидролошка анализа одлика пограничног појаса Србије према Бугарској. Морфолошка анализа обухватила је планинске (Стара планина, Тупижница, Сврљишке планине, Сува планина и Видлич), котлинске (Зајечарска, Књажевачка, Сврљишка и Белопаланачка котлина) и долинске (Велики Тимок, Бели Тимок, Височица, Драговиштица) делове. У оквиру хидролошке анализе издвојени су простори са највећом и најмањом годишњом количином падавина, као и најтоплији и најхладнији делови. Анализирана је промена водности сливова, као и расподела вода током године на проучаваном простору. Приказани су најважнији елементи водног биланса и анализирани хидролошке одлике крашких терена.

**Кључне речи:** морфологија, хидрологија, погранични појас, Србија, Бугарска

### Увод

Истраживања природних појава и процеса не би требало да имају ограничења вештачки наметнута, попут општинских или регионалних граница. У таквим случајевима се интересни простор проширује до граница са потребним подацима, а закључци изводе до оних административних. Међутим, како поступити кад је граница државна, кад је дуга 318 km, са јединственом еволуцијом рељефа, али факторима који условљавају његову хетерогену модификацију, односно услове отицања са супротних страна. Не би требало занемарити ни чињеницу да поменута линија често подразумева и недостатак важних података, као и некомпатибилност постојећих (различити периоди осматрања, методи мерења, картирања и приказивања на картама, итд.). Оно што умногоме олакшава приказ пограничне зоне Србије и Бугарске је тај што граница већим делом прати природне границе сливова, тј. вододелнице на Старој планини и власинском масиву.

### Морфолошке одлике

Српски део Српско-бугарског пограничног простора одликују различити морфолошки елементи рељефа. Они се међусобно разликују како по величини, тако и по начину и времену настанка и фазама развоја. Највеће, макро облике, представљају планине, котлине и долине (Слика 1).

**Слика 1 - Карта морфолошких елеманата српског дела Српско-бугарског пограничног простора**

**КОТЛИНЕ:** А - Зајечарска, Б - Књажевачка, Ц - Сврљишка, Д - Белопаланачка, Е - Пиротска;  
**ДОЛИНЕ:** I - Велики Тимок, II - Бели Тимок, III Трговишки Тимок, IV - Сврљишки Тимок, V - Височица., VI - Јерма, VII - Драговиштица

### Планине

Планине заузимају највећи део пограничног простора. Најмаркантнији планински простор који заузима централни део је Стара планина. Сем ње у ширем пограничном простору налазе се и Тупижница (1 160 m н.в.), Тресисаба ( 808 m н.в.), Сврљишке планине (1 334 m н.в.), Сува Планина ( 1 808 m н.в.), Влашка планина (1 442 m н.в.), Видлич (1 180 m н.в.), Руј (1 704 m н.в.), Варденик ( 1 874 m н.в.), Бесна кобила (1 923 m н.в.) и Дукат (1 881 m н.в.). Током времена ове планине су прошле

кроз различите фазе развоја. Такође, данас на њима делују различити физичко-географски процеси.

**Стара планина** простира се од Вршке чуке (692 м н.в.) на северозападу, па све до Видлича (1 371 м н.в.) на југоистоку. Дужине је око 100 км и заузима површину од око 1700 км<sup>2</sup>. Ово је сложена планина, како у геолошко-тектонским смислу, тако и у морфолошко-предеоном. Кречњаци чине 1/3 грађе планине. У њима су најбројније вртаче и увале, а истражене пећине су малих димензија (Гавриловић Д., Гавриловић Љ., 1998). У северним кречњачким огранцима планине нема значајних површинских облика краса. Међутим, пећине које се налазе у овом простору (Ђуровић П., 1986; Нешић Д., 1994) указују да су кречњаци карстификовани.

Највиши делови планине захваћени су савременим периглацијалним процесом. На северним падинама Бабиног зуба (1758 м н.в.) постоје струје камења које се налазе изнад горње шумске границе. Дужине су око 350 м. Чине их 30 до 40 м широки и 5 до 10 м дубоки коридори којима се крећу велики блокови стена. Настали су клижењем блокова преко основе која се неизменично замрзава и крави. Ови облици настали су током плеистоцена мада се не искључује могућност да су и даље активне, с обзиром на то да у непосредној близини постоје активни клизећи блокови (Гавриловић Д., 1970). На истом локалитету у висинској зони између 1600 и 1700 м н.в. утврђено је постојање клизећих блокова. Запремина клизећих блокова је и до 12 м<sup>3</sup>. Сем клижења блокова периглацијалним покретима је покренуто и само земљиште. Због веће брзине кретања земљиште прекрива блокове стварајући на њима земљишне капе. На западним падинама Мицора уочене су и солифлуционе терасете (Гавриловић Д., 1970). На главном планинском билу, на простору Копрена (1963 м н.в.) уочено је десетак мразно-снежаничких улока. То су издужена удубљења, неколико метара дуга и просечно 0,5 до 1 м дубока. У већем делу године су испуњена водом. Настале су под утицајем хладне планинске климе (Нешић Д., Миливојевић М., 2002).

**Тупијница** у структурном смислу представља синклиналу. У највећем делу је изграђена од кречњака (86 км<sup>2</sup>). Западни део планине завршава се кречњачким одсеком висине неколико стотина метара, док источна страна постепено пада, а кречњаци тону под неогене седименте Књажевачке котлине (Зеремски М., 1994). Иако је изграђена од кречњака на планини нема много површинских крашких облика. Насупрот томе на њој постоје бројни спелеолошки облици (Ђуровић П., Нешић Д., 1992). Потпуно одсуство површинских токова указује да су кречњаци ове планине дубоко карстификовани. На то указују и врелске пећине које се налазе по ободу планине (Ђуровић П., 1986).

**Сврљишке планине** имају дужину од око 25 км и пружају се у правцу ЗСЗ-ИЈИ. Скоро са свих страна планине окружују околне котлине. У грађи доминирају стене мезозојске и девонске формације које у структурном погледу граде антиклиналу (Максимовић Б., 1976). Стварање најстаријих облика на планини, површи, везано је за период старијег терцијара (Зеремски М., 2008). Тада су због ниског положаја доње ерозивне базе постојали повољни услови за апланацију структурних форми планина и стварање површи, која се уочава и на другим суседним планинама (Тупијница, Озрен, Девица) (Зеремски М., 1994, 2002). На планинским странама уочени су премиоцени флувијални облици, ексхумиране епигеније (Ршумовић Р., 1967). Током средњег и горњег миоцена нижи делови планине су били под утицајем језера. Максимални ниво седиментације реконструисан је на основу висина епигенија и кретао се од 640 до 770 m н.в. (Зеремски М. 2008). У постјезерском периоду започиње крашки процес, који је посебно био интензиван на планинским површима. Крашки процес, као доминантан процес одржао се на овој планини и у савременом периоду.

**Сува планина** се "алпским" изгледом битно морфолошки разликује од других планина овог простора. Основу планине чине црвени пермски пешчари. Изнад њих се налазе неколико стотина метара дебеле наслеге кречњака. Кречњачка површина је знатно карстификована. Посебно се истиче површ Валоже, где њен западни део има одлике богињавог краса. Због интензивне ерозије земљишта обод вртача је огољен, стеновит, а дна су засута еродованим материјалом. Одсуство површинских токова условило је да се транспорт еродованог земљишта врши кроз пукотине и канале у кречњацима. То често доводи до замућивања врела на ободу планине (Петровић Ј., 1954). Планина је безводна, без површинских токова. По ободу планине налазе се бројна врло снажна крашка врела. На основу проучавања краса ове планине утврђено је да је на њој током вирма простор изнад 1600 м н.в. био захваћен пермафростом, а делимичног замрзавања је било све до 1200 м н.в. Зона простирања лишајева и маховина, у којој је било местимичног замрзавања, била је од 1000 до 1200 м н.в., док се травна зона налазила у простору од 400 до 1000 м н.в. Тек испод висине од 400 м н.в. налазила се шума (Милић Ч., 1970). У највишим деловима планине изграђене су полигенетске крашко-нивалне вртаче које се због отворености једне стране морфолошки разликују од вртача на нижој површи Валоже. Оне су током хладних периода плеистоцена биле сем крашког процеса изложене и дејству нивалног процеса (Гавриловић Д., 1970).

**Видлич** је кречњачка планина са карактеристичним одсеком висине 200 м. То је безводна планина, без речних токова (Видановић Г., 1955). Између ове планине и долине Нишаве налази се једино крашко поље у српском делу пограничног простора - Одоровачко поље. Дуго је око 10, а широко 3 до 4 км. Кроз поље протиче истоимена река која понире у западном делу поља. Током изузетно високог поводња најнижи део поља бива плављен. Поље је смештено у тектонском рову који је делом испуњен миоценом и плиоциеном седиментима. У подножју планине преко језерских седимената формирано је неколико великих плавина (Гавриловић Д., 1975). Спуштање поља је започело пре неогена, а током неогена и плиоцена поље је било испуњено језером у коме су се сталожиле дебеле насlage слатководних седимената. Отварањем понора у западном делу поља, крајем плиоцена, прекида се веза између језера у Одоровачком пољу и Пиротској котлини. У следећој фази започиње одношење језерских седимената и формирање савремене морфологије поља (Петровић Ј., 1974).

**Влашка планина** простира се између Пиротске и Лужничке потолине у правцу северозапад-југоисток. Највећим делом изграђена је од титонских спрудних кречњака у чијој се подини налазе црвени пермски пешчари (Петровић Ј., 1999). Атмосферске падавине брзо понире у дубину кречњачке масе остављајући површину безводном. Подземни токови углавном гравитирају ка југозападу, и на контакту са пермским пешчарима и девонским пешчарима, алевролитима и конгломератима јавља се велики број извора који хране протицај Кусовранске реке.

**Гребен** је клисуром Јерме одвојен од венца Влашке планине. Представља наставак Влашке планине ка југоистоку тако да је теме антиклинале изграђено од истих титонских спрудних кречњака. Према долини Јерме титонски кречњаци смењују се нешто старијим догерским кречњацима и пешчарима и тријаским кречњацима, пешчарима и конгломератима. Они наниже долазе у контакт са пермским и девонским пешчарима, алевролитима и конгломератима. На контакту карбонатних и кластичних стена јављају се извори. Према долини Јерме токови су кратки и углавном периодични, док су према сливу Погановске реке малобројнији али и воднији (Ђокић М., 2010).

### *Котлине*

Други значајни макроморфолошки елемент рељефа овог пограничног простора су котлине: Зајечарска, Књажевачка, Сврљишка, Белопаланачка и Пиротска.

**Зајечарска котлина** представља широки басен у који се сустичу долине Белог и Црног Тимока, а из њега започиње долина Великог Тимока. Има меридијански правац пружања, дужине 21 км, а максималне ширине 15 км. Котлина се налази на простору тимочког рова. Кроз њега су током трансгресије, у средњем миоцену, продрле воде П медитеранског мора све до Књажевачке котлине на југу. У источном делу басена, испод Вршке чуке постоји пространа, готово уравњена површ. Она је нагнута низ ток Великог Тимока и на север се простире све до Дунава. Површ је настала после маринско-језерске фазе, односно после сармата, када је преко иницијалне језерске површине потекао Тимок. Дуж читавог обода ове површи усечен је под. Пошто се површ простире и у сливу Црног Тимока, а под само у источном делу Зајечарског басена, усецање пода означава почетак морфолошке еволуције искључиво Зајечарског басена и везан је за плиоцен. Од горњег плиоцена започиње усецање серије речних тераса (Петровић Д., 1970).

**Књажевачка котлина** налази се између планина Тресибаве, Тупижнице, Девике и Старе планине. Округлог је облика, пречника око 25 км. Котлина је испуњена неогеним седиментима. Долине које су усечене у котлинско дно су најчешће асиметричне, а између њих су дуги међудолински ртови. Спуштајући се са обода котлине стварају изразити прегиб на око 500 м н.в. Он означава границу између долинског дна и њених страна. Савремено долинско дно одговара дну некадашњег језерског дна (Ршумовић Р., 1972). Долина Белог Тимока не простире се централним делом котлине, већ је прибијена уз западни део дна, односно асиметрична је у односу на дно Књажевачке котлине.

**Сврљишка котлина** је спуштена између Сврљишких планина на југу и Тресибаве на северу. Котлина је издужена у правцу запад-исток, дужине око 25, ширине око 10 км. Дно и обод котлине су прекривени различитим неогеним седиментима, док су највиши делови изграђени од кречњака. Котлина је прошла кроз различите фазе развоја и то пре свега језерске и флувио-денудационе. Током дуге језерске фазе у котлини су наталожене моћне насlage језерских седимената и то пре свега плиоквартарних седимената (Група аутора, 1971; Милаковић Б., Новковић М., 1977). Различита су схватања о висини централне језерске равни (Јанковић П. Т., 1909; Милаковић Б., Новковић М., 1977; Динић Ј., 1974). На основу епигенетске сутеске реке Лукавице утврђено је да је централна језерска равна била на 620 м н.в. (Спасојевић М., 1984). Током флувијалне фазе у Сврљишкој котлини су се дешавале драматичне промене. Највећа од њих је скретење Старопланинске реке која је некада текла котлином. Крајем горњег плиоцена у источном делу Сврљишке котлине, од стране Трговишког Тимока, извршено је пиратерисање Старопланинске реке. Као доказ њеног постојања у котлини су остале и до 10 м дебеле насlage флувијалног материјала (Динић Ј., 1967). Сем крашког и флувијалног процеса, у Сврљишкој котлини, због велике заступљености неогених седимената, постоји велики број клизишта најчешће стратигеног типа (Динић Ј., 1979).

**Белопаланачка котлина** пружа се правцем исток-запад на дужини од око 22 км и са највећом ширином дна од око 4 км. Епигенетском сутеском Скокањиног камена и Беленовачко-црвеноречким сужењем котлина је подељена у три морфолошке целине (Костић М., 1970). Котлина представља тектонску потлину која је настала још пре неогена, спуштањем мезозојских стена између две раседне зоне правца запад-исток. Дуж ове зоне јављају се термални извори. У њој је током неогена постојало језеро у коме су се наталожиле дебеле насlage језерских седимената. После

повлачења језера у котлини почиње да се формира флувијални рељеф. Котлина је окружена кречњацима који су јако карстификовани и на чијем ободу се налазе бројна врела (Петровић Ј., 1998).

### *Долине*

Трећи макроморфолошки елемент су долине. Међусобно се разликују по основним морфолошким одликама, по дужини и дубини, али и по начину настанка и еволуцији. Од већих долина издвајају се долине: Великог Тимока, Белог Тимока, Сврљишког Тимока, Трговишког Тимока, Височице, Јерме и Драговиштице. Трагови засипања долина који су очувани у појединим пећинама упућују да је крајем плеистоцена и у холоцену било три већа засипања речних долина и неколико мањих, локалног карактера (Gavrilović D., 1990).

**Долина Великог Тимока** представља врло сложен облик који је током дуге еволуције прошао кроз различите фазе развоја. Копно Тимочке крајине из доњег миоцена је трансгресијом током средњег миоцена поплављено. Тортонско и сарматско море је продрло на југ долином Великог и Белог Тимока све до Књажевца, када је претходни рељеф прекривен дебелим маринским седиментима. Од сармата започиње регресија, тако да се већ од краја миоцена (сем области Кључа) одвија флувијална фаза у Тимочној крајини (Петровић Д., 1963). Формирање долине Великог Тимока започело је после сарматске епохе. На иницијалној површини која је била састављена од језерских седимената започиње усецање долине. На основу висина епигенија утврђено је да је усецање могло започети најмање на висини од 340 м н.в. Због малог пада и меких седимената у којима се усецао, Велики Тимок је изградио, у дугом временском периоду, плитку широку долину благих страна. Прво је пресекао језерске седimente, а затим је започео усецање у кречњацима и лапорцима. После овог периода започиње вертикално усецање долине и стварање серије речних тераса у износу од преко 300 м (Петровић Д., 1953).

**Долина Белог Тимока** је Вратарничком епигенетском клисуром подељена на два неједнака дела. Највећи део се налази у Књажевачкој котлини, а само мањи део је у Зајечарској котлини. Вратарничка клисура је врло значајна за разумевање настанка и развоја како читаве Књажевачке котлине, тако и долине Белог Тимока. Трансгресија која је наступила у сармату прекрила је некадашњи рељеф седиментима ове фазе. Постјезерска еволуција, односно период изградње долине Белог Тимока одликује смена вертикалне и бочне речне ерозије. Резултат тога је стварање серије речних тераса на долинским странама Белог Тимока. Ова фаза је започела крајем миоцена и траје до данас. Током овог периода Бели Тимок се усекао за око 220 м (Петровић Д., 1954).

**Долина Сврљишког Тимока** представља једну од најмаркантнијих морфолошких целина у овом простору. Посебно се источе клисура Сврљишког Тимока. Клисуру карактеришу укљештени меандри усечени у кречњацима. Она представља епигенетску долину, односно посебан тип епигеније - епигенетску пробојницу. Сарматска трансгресија је долином Белог Тимока захватила и данашњи простор долине Сврљишког Тимока, а на простору Сврљишке котлине формирано је језеро. Крајем сармата започиње регресија којом се језероузина између Сврљишког и Књажевачког језера претвара у отоку Сврљишког језера. По дну отоке, које је очувано у виду пространог пода са обе стране клисуре, започиње усецање долине, односно клисуре Сврљишког Тимока у износу од око 200 м. Усецање је започело средином или крајем плиоцена. Бројни брзаци, слапови и циновски лонци у клисури указују на интензивно усецање и у савременом периоду (Динић Ј., 1967).

**Долина Височице** изграђена је паралелно са пружањем јужног дела Старе планине, а највећи део слива реке Височице захвата простор ове планине. Клисура



Владикина плоча, усечена у кречњацима, дели долину Височице на два дела: Доњи и Горњи Висок (Видановић С., 1955). Клисуре је дуга око 3 км и чине је неколико великих укљештених меандара. Дубина клисуре је око 200 м, а ширина у најужем делу 4 до 5 м. У клисури се налази најдужа испитана пећина на Старој планини и у читавом пограничном простору. То је пећина Владикина плоча дуга 660 м. (Гавриловић Д., и др., 1988). У низводном делу долине Височице, у атару села Завој, одиграла се највећа природна катастрофа на овом простору. Фебруара 1963. године покренуто је клизиште на десној долинској страни реке Височице. Дужина клизишта је била 1,3 км, а просечна ширина 160 до 220 м. Покренуто је 1 950 000 м<sup>3</sup> материјала који је преградио долину 36 м високом браном. Тако је створено језеро дужине 7,2 км, са површином од 5,84 км<sup>2</sup> (Гојић и др., 1964-1965). Покушаји да се прокопавањем канала испразни акумулација нису успели, те је вода у језеру достигла дубину од 33 м (Зеремски М, 1964). Због опасности од наглог и неконтросаног пробијања бране прокопан је тунел којим је језеро исушено. На месту природне бране касније је изграђена вештачка брана, а језеро се данас користи као вишенаменски хидроенергетски и водопривредни објекат (Станковић С., 1993).

**Долина Јерме** је изграђена на додиру Карпато-балканида и Српско-македонске масе. Србији припада 47%, а Бугарској 53% површине слива. Највећу површину слива изграђују водонепропусни терени од старих метаморфних стена, кластичних стена мезозојске и палеозојске старости и магматских стена. Ове стене заступљене су на 70% површине слива Јерме, док остали део припада терцијарним и квартарним седиментима доњег дела слива. Основни облици рељефа су изграђени током херцинске и алпске орогенезе. Веначним планинама слива припадају Влашка, Гребен, Ездимирска планина и Стража, а Српско-македонској маси Крајиште и Знепољска котлина. Тектонски покрети и образовање дубоких раседа довели су до појаве термалних вода – термалног извора Власи, на излазу Јерме из Влашке клисуре, и Звоначке бање (Петровић Ј., 2000).

**Долина Драговиштице** изграђена је у стенама архајске и палозојске старости, које представљају најстарије језгро Балканског полуострва. Оно је током мезозоика издигнуто израседано и разломљено. Ове процесе је пратила и снажна вулканска активност. Током неогена долази до формирања Босилеградске котлине у којој се формира језеро. Од њега су очуване дебеле наслеге разноврсних седимената. Долина Драговиштице и долине њених притока одликују се знатним падовима и стрмим, стеновитим странама (Родић Д., 1989).

### Хидролошке одлике

Свако хидролошко истраживање на некој територији, ради обезбеђивања потпуне независности и објективности, полази од своје основне јединице, а то је речни слив. Оно што он још обезбеђује је и скуп интеракција међу свим факторима који дефинишу његову водност, при чему су оне или већ добро познате или се могу емпиријски лако прилагодити сличним условима у хидролошки проученим сливовима. У том смислу и овај погранични простор се не може разумети кроз приказ услова отицања или хидро потенцијала одређене зоне уз границу, ма колика она била, нити узети у обзир само сливове који се непосредно ослањају на њу. То мора бити простор интегралног утицаја свих релевантних фактора који се ту стичу и дају му хидролошку особеност.

Водна својства овог простора ће бити најбоље приказана анализом стања у сливовима Великог Тимока, Нишаве, Власине и Драговиштице. Највећи део ових сливова припада Карпато – балканидима, и то Тимок потпуно, Нишава без горњег дела слива Јерме, а Власина преко своје највеће притоке Лужнице. Крајњи јужни део

пограничне зоне припада кристаластом масиву Власине, а њега дренирају Јерма и Драговиштица.

Да би се стекле основне представе о хидролошким особеностима морају се познавати фактори формирања и отицања вода, као и њихов водни режим и биланс.

### *Падавине и температура ваздуха*

Годишња сума падавина у пограничном појасу варира у распону од 600 до 1500 mm. Најсушније су котлинске области и то њихови најнижи делови. Тако у сливу Великог Тимока читава територија испод изохипсе од 350 m н.в. прима мање од 700 mm падавина, а то је највећи део слива. У оквиру ње најсушнија је алувијална раван Великог Тимока, око 600 mm, као и дно долине Белог Тимока, 620 mm. Исти износ падавина је заступљен у долини Нишаве, од Димитровграда до Беле Паланке, као и у најнижем делу слива Драговиштице (Живковић Н., 1996). Западни, планински обод проучаваних сливова прима више падавина. Оне се крећу од 950 до 1000 mm на највишим врховима Дели Јована, Кучаја, Тупизнице и власинског масива (иако је он знатно виши), па до 1150 mm на највишим деловима Ртња и Суве планине. Средишњи и највиши део Старе планине који припада сливовима Трговишког Тимока и Темске је и највлажнији део пограничне зоне. Прорачунима је установљено да само било са врховима Миџор и Копрен прима око 1500 mm падавина годишње (Живковић Н., Анђелковић Г., 2004), мада има и процена да је то знатно мање, око 1200 mm (Миловановић Б., 2010). У плувиометријском режиму постоје два максимума и два минимума падавина: први максимум се појављује крајем пролећа и почетком лета (мај-јун), а други крајем јесени (новембар). Први минимум падавина је почетком јесени (септембар), а други крајем зиме и почетком пролећа (фебруар-март). Снежне падавине се излучују у пределима са мањим надморским висинама од новембра до половине марта, а на планинама од октобра до половине априла. Средња максимална висина снежног покривача износи у Тимочној Крајини 20-30 cm, на Кучају 70-110 cm, а на Старој планини достиже 110-150 cm (Дукић Д., 1975).

Према изотермној карти Источне Србије (Живковић Н., Смиљанић С., 2005а), највише средњегодишње температуре ваздуха у пограничној зони владају у њеном најсевернијем делу који припада Неготинској Крајини. Ту су оне нешто мало преко 11 °С, док у најнижим долинским деловима слива Тимока (Зајечарска, Црноречка и Књажевачка котлина) износе од 10 до 10,5 °С. Долинске стране Великог и Црног Тимока између изохипси од 200 и 380 m н.в. имају температуре од 9 до 10 °С, у долини Белог Тимока је то зона од 300 до 470 m н.в., у пиротској котлини од 460 до 630 m н.в. и околини Димитровграда у зони од 380 до 600 m н.в. Изотерме од 8 и 9 °С су у сливу Тимока северно од Књажевца ограничене изохипсама од 400 и 550 m н.в., а јужно од њега је то појас од 460 до 660 m н.в. (највећи део Тресибаве и Заглавка). Највиши хипсометријски појас Кучаја, Ртња, Девице и Сврљишких планина има годишње температуре између 4 и 5 °С, док су оне најниже температуре заступљене на врховима Суве планине (2-3 °С), Варденика (2 °С) и Старе планине (0-1 °С).

Ове термичке разлике у меридијанском правцу су врло важне за режим река и у комбинацији са падовима, земљиштем и литолошким саставом најважнији су фактор испаравања.

### *Водни режим река*

Промене водности проучаваних сливова током године исказаће се на више профила који одражавају различите услове формирања вода. Коришћени водомери немају исти период осматрања водостаја, што онемогућава било какву компарацију резултата међу њиховим подацима. Зато је тај период сведен на заједнички, и то онај

тридесетогодишњи који је препорука Светске метеоролошке организације, 1961-1990. година. Као основа за приказ послужиће најважнији елемент водног режима река, а то је протицај.

**Табела 1. Средњи месечни протицаји на Нишави, Власини и Драговиштици ( $m^3s^{-1}$ ), као и модули месечних отицаја ( $Q/Q_{sr}$ )**

**Слика 2. Однос хидрограма на коришћеним профилима исказан модулима месечних отицаја**

Према подацима из табеле 1 и са слике 2 се уочава да све реке овог дела пограничног простора имају по један изразити максимум и један минимум током годишњег отицања. Поводњи се свуда јављају крајем зиме и почетком пролећа и у вези су са почетком отапања снега. Остали део хидрограма, од јуна па до фебруара готово да и нема никакве разлике, осим у квантитативном износу. Период максималних вода се може поделити у две групе. Првој припадају оне реке у којима је доминантан март, а то су Нишава до Димитровграда, Јерма, Габерска и Лужница. За њих се може констатовати да нису реке високопланинских сливова и све имају средњу надморску висину испод 1000 m н.в. (Нишава Д. 881 m н.в., Јерма С. 936 m н.в., Лужница 705 m н.в.) (Оцокољић М., 1987). Осим тога, за прве три је важан и утицај Медитерана, који долином Струме доноси нешто више температуре ваздуха још у фебруару, а њихови највећи делови сливова су управо развијени на територији Бугарске. Другој групи припадају Темска, Нишава (Бела Паланка), Власина (Свође) и Драговиштица. Осим Нишаве сви остали сливови су изразито планински ( $H_{sr}$  Темске је 1065 m н.в., Драговиштице 1252 m н.в.), тако да се ту осећа извесно кашњење у отапању снега, па је нивална компонента померена на април. Код Нишаве на профили Бела Паланка се мешају утицаји Темске са Старе планине и узводног дела Нишаве заједно са Јермом. Оба та утицаја су по количини воде у току пролећа слична, али је април нешто воднији у првом сливу, тако да збирно овај месец има малу предност над мартом.

У односу на просечни годишњи протицај, максимални месечни протицаји су код већине река воднији око 2 пута, док је то код изразито планинских сливова нешто више. Тако је април воднији у Драговиштици 2,2 пута, а у Темској 2,4 пута. Ова последња река нарочито, али се то односи и на све остале, има прилично велике међумесечне промене протицаја (и до 50% у односу на претходни месец), што се на хидрограмима запажа преко изражених стрмина.

Други део хидрограма, испод линије средњих вода, показује врло сличне особине код свих сливова. Август и септембар су свуда подједнако маловодни, а то износи од 30 до 40 % средњегодишњих вода, осим код Темске где протицај опада на 20 % истих. Интересантан је и податак да се сушни период на Власини и њеној притоци Лужници продужава у истом износу и на октобар.

**Табела 2. Средњи месечни протицаји у сливу Великог Тимока ( $m^3s^{-1}$ ), као и модули месечних отицаја ( $Q/Q_{sr}$ )**

**Слика 3. Однос хидрограма на коришћеним профилима исказан модулима месечних отицаја**

Расподела вода током године у сливу Тимока је врло слична расподели у јужнијим пограничним сливовима. И овде се велике воде јављају након отапања снега, подржане пролећним кишима, док се сушни период осећа већ од јула. За визуелни приказ, на хидрограму, изабране су 4 реке. Због прегледности су изостављени Сврљишки Тимок чија је расподела вода врло слична режиму Белог Тимока, осим што су априлске воде нешто ниже у односу на средњегодишње, и што су јануарске веће од средњегодишњих, а то је јединствен случај у читавом сливу. На

графикону нема Великог Тимока и Сиколске реке чији су отицаји слични отицају Црног Тимока (са нешто нижим априлским водама).

Поређењем са претходним сливовима најпре се уочавају веће амплитуде месечних протицаја у сливу Тимока, и то посебно код месеца са великим и малим водама. Тако Црни Тимок, Велики Тимок и Сиколска река премашују модул ( $Q/Q_{sr}$ ) од 2,5 (Сиколска 2,82), док код последње, августовске и септембарске воде износе само 10 % од средњегодишњих вода. На свим профилима, осим на Злотској, максималне воде се јављају у марту. Међутим, тај мартовски пик није свуда тако изразит. То се може рећи за Бели Тимок у Зајечару, Велики Тимок и Сиколску реку где се он значајно разликује од отицаја суседних месеци, а посебно код Свљишког Тимока где су априлске воде 30 % мање од мартовских. Све ово је последица нижих терена и нешто ранијег отапања снега. Код осталих профила, са значајнијим учешћем априлских вода требало би узети у обзир како рељеф и физиономију слива, тако и његов литолошки састав. Наиме, нетипични хидрограм Трговишког Тимока последица је више фактора. Главни максимум се јавља у марту, кад и код суседног Сврљишког Тимока, због виших температура и отопљавања снега у нижим деловима слива, нарочито са његове леве долинске стране. Али, његова изразита асиметрија у корист десне стране која је део Старе планине, потенцира кашњење, односно продужење нивалне компоненте и на април. Међутим, то трајање великих вода има још једну димензију која се огледа у томе да отапање снега са Старе планине није нагло, као код Темске, већ постепено, због западне експозиције слива, чиме се врх хидрограма продужава и на мај, готово у истом износу као и у марту и априлу. Зато, иако је овај слив познат по бујичарским особинама, његови просечни месечни протицаји немају велике амплитуде и велике воде се могу очекивати већ од фебруара па до маја. Црни Тимок у Зајечару има нагли пораст вода из фебруара у март, када је и максимум, али се високе воде у готово истом износу задржавају и у априлу. Разлог је најпре тај што се отицање воде од снега јавља у другој половини марта због простране и ниске Црноречке котлине где се топи, а нешто касније притиче и са високих Кучаја и Ртња. Осим тога, овде и крашки рељеф има важну улогу јер је за прехрањивање испражњене издани потребно извесно време, а постепено издавање вода преко врела продужава велике воде и на април. То се јасније уочава код Злотске реке, правог крашког слива, у коме је април доминантнији од марта.

Као што је напоменуто, период малих вода почиње раније него на Нишави или Власини. Код ових последњих јунске воде су свуда веће него средњегодишње, док се у сливу Тимока то јавља само на Трговишком Тимоку, а све остале су испод просека (на Сиколској 71 %). Већ у јулу се може са великом вероватноћом очекивати да свуда у сливу протицаји опадну за више од 50 % у односу на средње воде. Такав тренд се задржава све до новембра, при чему најсушнији август и септембар нигде не премашују 30 % средњегодишњих вода.

Све напред изнето упућује на то да се водни режими река ове пограничне зоне формирају под утицајем кише и снега, при чему је кишни период много дужи, али је за велике воде важнија снежница, која се сваке године појављује у мање-више исто време и обезбеђује стабилност водном режиму. Разлике које се уочавају у амплитудама и времену појављивања екстремних вода, последица су више фактора, а сваки од њих сходно свом утицају врши извесну модификацију једноставног хидрограма, са једним влажним и једним сушним периодом. Свакако да су падавине (у оба облика) најважнији фактор водног режима, али су за извесна одступања од слива до слива заслужнији рељеф са својом висином, положај слива (у меридијанском правцу, утицај температуре), његова експозиција и литолошки састав.

Све ове месечне вредности су добијене као просек периода 1961-1990. година. Оно што се иза тих података не види је њихова учестаност, односно

информација о поузданости да ће те вредности бити баш толике. Један од добрих показатеља ове појаве је коефицијент варијације.

**Табела 3. Коефицијенти варијација месечних протицаја на изабраним профилима у пограничној зони (Cv)**

**Слика 4. Коефицијенти варијација месечних протицаја**

Као релативна мера дисперзије коефицијенти варијације указују на просечно одступање сваког податка у низу од његовог просека. У случају месечних протицаја показује се да су те вредности током већег дела године мање од 1, а једине реке код којих одступања уопште не прелазе просечну месечну вредност су Власина и Јерма. То још увек не значи да су отицаји ових река током године стабилни, већ само да у скупу посматраних сликова њихови отицаји најмање варирају. По правилу, што је река воднија то су и варијације протицаја мање. Оно нашта би требало обратити пажњу на слици 4 су линија Сиколске реке, као и вредности месеца октобра. За Сиколску реку, као најсиромашнију водом, потврђује се правило да су у таквим сликовима амплитуде протицаја врло велике и да су најнезахвалније за процену. Овде су коефицијенти посебно високи у пролеће и лето, када нека киша продуженог трајања или великог интензитета може значајно да поремети устањено отицање. На пример, јулски коефицијент варијације од 1,84 је последица само два податка у низу од 30. То су протицаји у јулу 1970. и 1986. године ( $1,75$  и  $1,88 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), при чему су просечни јулски протицаји око  $150 \text{ ls}^{-1}$ . Оваква појава се много боље уочава на примеру октобра. Да није било изузетних киша у септембру и октобру 1972. године, због којих је готово на свим рекама у Србији протицај вишеструко надмашивао просечне вредности, ни ови нагли пикови на графикону не би постојали. Тада је на Сиколској октобарски протицај износио  $3,95 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  у односу на просечан од  $0,16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , што је око 25 пута више. И не само на тако малој реци, октобарска аномалија се примећује и код осталих много већих река. Та једна вредност је довела до тога да овај коефицијент буде и на Тимоку, или Нишави преко 1,5, односно 2 (нпр. В. Тимок има октобарски протицај око  $4,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , без 1972. године, а те године је био  $121 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , готово 26 пута више!). Закључак је да коефицијенти варијација јесу одличан показатељ промена у неком низу података, али да их увек треба прихватати уз анализу конкретних вредности, нарочито ако се ради о уоченим горњим екстремима. Уопште, октобар и јесте месец са више већих осцилација протицаја на свим рекама нашег поднебља, а од осталих месеци то могу бити готово сви, осим оних на којима се очекују пролећне велике воде. Ти месеци имају најмања одступања, која су по правилу мања од 1, а у проучаваном простору је то распон од 0,4 до 0,7. Поређења ради, коефицијенти варијација на великим рекама, попут Саве и Дунава, током читаве године не прелазе 70% од средњих месечних вредности, а у стабилном периоду, у пролеће и лето, на Сави је то око 35%, а на Дунаву 26%.

### ***Водни биланс пограничног простора***

Користећи све расположиве податке и резултате мерења хидрометеоролошких станица проучаваних сликова, приказаће се однос најважнијих елемената водног биланса.

**Табела 4 – Основни елементи водног биланса у сликовима пограничне зоне**

**Напомена:** F – површина слива ( $\text{km}^2$ ),  $X_0$  – просечне годишње падавине (mm),  $Y_0$  – висина отицаја (mm),  $Z_0$  – висина испаравања (mm), Q – протицај ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), q – специфични отицај ( $\text{ls}^{-1}\text{km}^2$ ), C – коефицијент отицаја

Оно што је за водни биланс најважније, као и код водних режима, јесу количина падавина, њихова расподела током године, термичке особине ваздуха и карактер рељефа. Узимајући у обзир ове, и све друге факторе формирања и отицања вода, може се констатовати да у овом пограничном простору постоје изражене контрасти које утичу на то да однос међу елементима биланса буде изразито неуједначен. Иако мерним профилима нису обухваћени сви сливови који јасно указују на то, из табеле 4 се може извести закључак да постоје области изразите водности, али и оне са врло малим отицајима. У прве спадају централни делови Старе планине, највиша зона власинског масива и источни обод Кучајских планина. Специфични отицаји река ових области имају вредности преко  $10 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , а коефицијенте отицаја преко 0,4. Као пример неуједначене водности може послужити Стара планина. По Н. Живковићу (1998), распон специфичних отицаја на њој је од 4,6 до  $26,1 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , што одговара коефицијентима отицаја од 0,19 и 0,85. Минималне вредности се односе на непосредни слив Белог Тимока (најсевернији део Старе планине), а максималне на слив Топлодолске реке (десне саставнице Темске). Према прорачунима, слив који дренира највише врхове Старе планине, Јаворска река, у својим изворишним деловима има специфични отицај око  $30 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ . Тако високим вредностима се одликују и највиши делови сливова Дојкиначке реке (десне притоке Височице), као и Црновршке реке (извориште Трговишког Тимока). За разлику од средишњих делова планине, њени источни делови (Берковска планина у Србији), примају мање падавина, температуре су нешто више, а тиме су и отицаји умањени. Тако Каменичка река, са око 860 mm падавина и средњом надморском висином од 1277 m, има специфични отицај од  $13,5 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$  (по прорачуну), што чини 50 % од падавина (Живковић Н., 1995). На тај крајњи источни део слива Нишаве који припада Србији (осим Височице), затим њене притоке Јерме, односно Крајиште (слив Драговиштице), указивано је више пута као на простор посебних падавинских, термичких и литолошких услова, који се у хидролошком смислу значајно разликује од нешто западнијих сливова (Живковић Н., 2005, Живковић Н., Смиљанић С., 2005, Дуцић В., Радвановић М., Миловановић Б., 2005). Уосталом, и део слива Нишаве који припада Бугарској кроз модел вишеструке линеарне регресије, где су независне променљиве падавине, кречњачки комплекс и седиментне стене, показује сличне вредности: непосредни слив Нишаве има коефицијент отицаја 0,28, Јерма 0,33, а само Височица одскаче са 0,65 (Живковић Н., 1994). Може се констатовати да осим слива Темске у сливу Нишаве испаравање са тла значајно премашује отицање, и то је разлог што су многе њене притоке сушице. Исто тако, недостатак падавина и поред велике надморске висине коју имају субсливови Драговиштице у Србији, доприноси њиховој малој водности: Бранковачка 1238 m н.в., 761 mm,  $8,5 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , Љубатска 1314 m н.в., 777 mm,  $10,9 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , Божичка 1344 m н.в., 877 mm,  $7,2 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ ) (Живковић Н., 2007).

За реку Тимок се слободно може рећи да је одржавају крашка врела. Слив који је читавом западном страном окружен кречњачким планинама, и поред невеликих падавина и значајног испаравања у котлинским областима, на ушћу има специфични отицај од  $6,75 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , створених од 30% укупних падавина. Зато су и разлике унутар слива изразите, почев од многих мањих притока Великог и Белог Тимока које сваке године пресушују, до таквих на Кучају или Старој планини које имају отицаје од преко 0,6 и 0,7. Како поднебље зна бити сурово према рекама показује и пример десних притока Белог Тимока, макар оне долазиле и са Старе планине (њен северни, ниски део). Притока је укупно 21, од којих је само 10 сталних, 4 су периодична водотока, а 7 понире и пре ушћа у речним наносима или замочвареном тлу (Гавриловић Љ., 2005). Слична је ситуација у читавом сливу, али то не чуди због чињенице да највећи део прима мање падавина од 700 mm, и то је после

Нишко- алексиначке котлине и северног Поморавља највећа површина у Србији ограничена изохијетом од 700 mm. Специфични отицаји тог простора према карти отицаја (Манојловић П., Живковић Н., 1997) били би у распону од 2-5  $l s^{-1} km^{-2}$ , док је највећи део проучаване територије водности од 5-10  $l s^{-1} km^{-2}$ .

### *Хидролошке одлике у крашким теренима*

Оно што је посебна одлика терена источне Србије су крашка врела и реке понорнице. Како је вода ресурс немерљиве вредности, а оскудица у њој стално прати развој људског друштва, то су и многа врела претворена у изворе водоснабдевања људи. Нека од највећих насеља источне Србије снабдевају се водом из врела: Ниш, Бела Паланка, Пирот, Димитровград, Сврљиг, Књажевац, Бор. Ни у једном делу наше земље, па ни на Балканском полуострву, нема крашке области са таквом честином извора и врела као што је Источна Србија. Према неким подацима овде има око 1360 извора, међу којима 86 са минималном издашношћу већом од 5  $l s^{-1}$ , а максималном преко 100  $l s^{-1}$  (Петровић Ј., 1974). Набројаће се само нека најснажнија врела, са подацима о минималној и максималној издашности. Слив Црног Тимока: врело Црног Тимока у Кривом Виру (мин. 20  $l s^{-1}$ , макс. 4000  $l s^{-1}$ ), Радованско врело, на Кучају (мин. 100  $l s^{-1}$ , макс. преко 2500  $l s^{-1}$ ), Мрљиш, југоисточни Кучај (средња издашност 600  $l s^{-1}$ ), Злотско врело, источни Кучај, (мин. 30  $l s^{-1}$ , макс. преко 2000  $l s^{-1}$ ), Бељевинска врела, источни Кучај, укупно 6 врела минималне издашности око 100  $l s^{-1}$ , Миrowsко врело, североисточни Ртањ (мин. 40  $l s^{-1}$ ). Слив Великог Тимока: Кривељско врело, југозапад Великог крша (мин. 15  $l s^{-1}$ ), Сурдуп, јужни Голи крш (мин. 40  $l s^{-1}$ ). Слив Белог Тимока: Леновачко врело, Тупижница (мин. 20  $l s^{-1}$ ). Слив Сврљишког Тимока: Сињи Вир, северна Тресибаба (издашност до 700  $l s^{-1}$ ). Слив Трговишког Тимока: Пајешко врело, источни Пајеж (мин. 30  $l s^{-1}$ ). Слив Нишаве: Модро око, југ Сврљишких планина (мин. 150  $l s^{-1}$ ), Белопаланачко врело, Бела Паланка (мин. 130  $l s^{-1}$ ), Крупачка врела, југозападни Видлич (мин. 300  $l s^{-1}$ ), Градиштанско врело, југозападни Видлич (мин. 150  $l s^{-1}$ ). Слив Власине: Љуберађска врела, јужни део Суве планине (12 врела од којих 5 са мин. 10  $l s^{-1}$ ). Сва ова врела, а постоје још на десетине слабије издашности, су предиспонирана водонепропусним или слабије пропусним творевинама и положајем раседних структура. Јављају се на ободу крашких масива или унутар њих, а истичу гравитационо или узлазно (Стевановић З., 1991).

Крашки предели источног дела Србије су везани првенствено за планинске венце, заравњена била и гребене. Како су планине разбијене бројним котлинама и долинама, крашки предели имају изглед изолованих оаза окружених млађим, језерским седиментима. Палеозојске стене се ретко појављују у кречњачкој подини, али су зато редовна појава на планинским билима и под гребенима. Оголићене палеозојске стене на кречњачким планинама, чије језгро уистину чине, главни су узрок појаве великог броја једноставних река понорница (Петровић Ј., Божовић Б., 1991).

#### **Табела 5. Веће понорнице сливова Великог Тимока и Нишаве (Гавриловић Љ., 2005)**

Заједничка одлика понорница је мала дужина њиховог подземног тока. Изузев Блата у Одоровачком пољу од 8,3 km сви су знатно краћи (мисли се на проучавани погранични простор). Најчешће су дуги 1-3 km. Ова особина последица је плитког краса Источне Србије, због чега је карстификација захватила цео слој кречњака до вододржљиве основе (Гавриловић Љ., 2005).

## Дискусија

Природне одлике пограничног простора Србије према Бугарској су веома интересантне, необичне и разнолике. У морфолошко-хидролошком погледу и својој хетерогености су јединствене међу нашим пограничним областима. То, најпре, проистиче из чињенице да су два маркантна планинска система, Карпато-балканиди и Српско-македонска маса најистакнутији управо у пограничној зони. Припадност различитим геотектонским јединицама се умногоме одражава и на њихову физиономију. Док први имају убрану структуру и претежно крашке одлике, други чине метаморфни комплекс, настао раседањем, облих форми и плећатог изгледа. Такав склоп је условио и потпуно различита водна својства. Северни део (сливови Тимока и Нишаве), водност одржавају захваљујући обиљу подземних вода које дренирају бројна врела, док јужни део (Власина и Драговиштица) има густу речну мрежу, али плитку издан и периодичне токове. Морфолошки, Карпато-балканиди су разноврснији, а томе доприносе и композитне долине, живописних клисура, пространих котлина са широким алувијалним равнима река. Насупрот њима, на власинском комплексу су долине јединствене и дубоке клисуре. Ерозивни процеси су, нажалост, у овом делу Србије врло интензивни, али са исељавањем становништва, односно изумирањем сеоских насеља нестају и директни узрочници појачаног одношења тла. Тако је депопулација, један негативан процес, поспешео консолидацију тла, зарастањем обрадивих површина у шикаре и шуме (Мустафић С., 2007).

Хидролошки куриозитет је што су главне реке пограничне зоне оријентисане ка три стране света, Тимок ка северу, Нишава ка западу и Драговиштица ка југу. Осим тога, ту су и два велика и необична вештачка језера. Док је Завојско познато по катастрофичном настанку, Власинско је наше највише вештачко језеро (1200 м н.в.) са пловећим тресетним острвима. Оно што још заслужује помен је откриће више водопада на Старој планини, импозантних димензија, од којих се за неке знало само по причи мештана, а последњих година су описани и они који нису били познати (Веселиновић Р, 2013). У хидролошком домену је и загађеност вода, и у том смислу треба поменути Борску реку, пример који нам не служи на част, а са којим нико није у стању да се избори. Важност борског рудника бакра је таква да нису жртвоване само Борска, Кривељска и Бела река, већ и сам Велики Тимок низводно од Вражогрнца. По свим биолошким параметрима, то су мртве реке.

## Литература

Литературу видети на страни 67.