

**Mirela Đurović<sup>1\*</sup>**

*<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Philosophy, Serbia*

## **GENESIS OF THE PLEISTOCENE HUMMOCKY MORAINES IN THE MORAČKE PLANINE MOUNTAINS (MONTENEGRO)**

**Abstract:** The Moračke Planine Mountains, situated in the central part of Montenegro, were the center of intensive Pleistocene glaciation. Specific type of moraines – hummocky ones, which have not been recorded in the southeastern Dinarides up to now, were recently identified and investigated in western part of the Moračke Planine Mts. Moraine material accumulated on limestone basement, where several tens of irregularly distributed hummocks and similar number of bowl-shaped dolines have been carved already. The hummocky moraines formed in the glaciokarst landscape where the well-developed karst morphology has been shaped before glaciation. Pre-glacial karst morphology determined the direction of glacier movement as well as its main morphological characteristics (thickness and width). During the most intensive glaciation phase (MIS 12) the Lukavičko-lukovski Glacier, spread out from the central part of mountain towards west, reaching a length of 16.5 km. Due to uneven glacier thickness, the deglaciation process led to its breaking and separation of the lower and shorter part from the rest of the icy mass. Stagnant state of the icy mass led to specific accumulation of moraine material in a form of numerous hummocks, whose melting produced a bowl-shaped dolinas in-between. The paleogeographic significance of hummocky moraines lies in the possibilities of more detailed studies of the Pleistocene glaciers specifics that arise from their evolution in glacio-karst conditions.

**Key words:** hummocky moraines, Pleistocene glaciation, glaciokarst, Moračke Planine Mts., Montenegro

---

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

## Introduction

Pleistocene mountain glaciation has been the subject of scientific studies since the earliest researches applied outside the Alps. The first paleoglacial exploration in the area of the southeast Dinarides (Montenegro) was done by Jovan Cvijić at the end of 19<sup>th</sup> century (Цвијић, 1897, 1899). At the beginning of the 20<sup>th</sup> century, the opinion was expressed about the existence of a thin ice cap west of the Moračke Planine Mts., as well as the glacial occurrences around Kapetanovo jezero Lake (Hassert, 1901). In the central mountainous part of Montenegro, where Moračke Planine Mts. are located, a thin ice cap and two types of glaciers - karst and piedmont, existed during Pleistocene. From the central part of the Moračke Planine Mts., glaciers have moved northward towards valleys of Bijela and Tušina, southward towards Mrtvica Valley, and in direction of Nikšićko Polje on the west. The Žurim Mt. is widely accepted as one of the largest and the most interesting center of Pleistocene glaciation on the Balkan Peninsula (Цвијић, 1913).

More detailed investigations in this area in respect to previous mostly general approaches were done by Cvijić's student, Petar Šobajić (Шобажјић, 1926) who concluded that two glaciers descended from the Žurim Mt. The first one moved north-westward in the direction of the valley of Bijela, while another one, separated into two parts, moved westward. The first one arrived on Krnovo Plateau and Vučje, while the other one arrived to Ivanje, favoring a formation of a series of moraines. Their thickness was variously estimated. Cvijić's understanding of the thickness of the moraine in Ivanje of 100 m (Цвијић, 1914) was corrected to a thickness of 20 to 30 m, whereby its height of 1,180 m a.s.l. was presented (Kayser, 1932). The obtained thickness has been verified by later researches (Liedtke, 1962), which also reflected to splitting of the glacier that moved towards Ivanje on two glacier tongues in the area of Blaca. The same researches highlighted the influence of morphology of the karst plateau on the height of glaciers descend.

Spatial distribution of glacial, fluvio-glacial and moraine material was mapped and presented in the frame of complex geological studies within the broader area (Калезић et al., 1973). The on-going studies have focused on the glacier movement direction from the Moračke Planine Mts. The obtained results were mostly in accordance with previously gained (Radojičić, 1996). Contemporary researches of paleoglacial characteristics of the central mountainous area of Montenegro are related to determining the chronology of glacial phases and morphostratigraphy (Hughes et al., 2011). Absolute age of secondary carbonate cement in glacial material was determined using  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  method. Four glacial phases were identified. First, the most intensive, was dated to  $> 350$  ka and has been correlated with MIS 12 (approximately from 470 to 420 ka). The area between Veliki Žurim Mt. and Kapetanovo jezero Lake is considered to be the center of glaciation in the Moračke Planine Mts. This phase characterizes the existence of unique ice cap, which spread out over the whole mountain. Although, the second glacial phase was marked by break of the unique ice cap into several glaciers during two different stages within the period from MIS 10 to MIS 6 (about 190 - 130 ka), it has been correlated with MIS 6. Third phase encloses MIS 5d – MIS 2 ( $\sim 110 - 11.7$  ka). During mentioned phase, in this area were reconstructed 15 distinct glaciers. Fourth and the last glacial phase is dated to the period of the Younger Dryas (about 12.9 – 11.7 ka) (Hughes et al., 2011).

Analyzing the influence of glacial process on evolution of karst poljes (Djurović & Djurović, 2015), which included a part of the Moračke Planine Mts. (Lukavičko-lukovski karst), was found that filling poljes by sediments took part in two stages. The filling process took part through re-transporting of moraine material and the age of glacial phases corresponds to the lowest and the oldest moraines on Durmitor Mt. (MIS 12 ~ 470 – 420 ka), i.e. to moraines in the vicinity of Žabljak (MIS 6 ~ 190-130 ka) (Hughes et al., 2011). The last paleoglaciological researches in this area included reconstruction of glacial phases in the western part of the Moračke Planine Mts. (Ђуровић, 2020). During the oldest and the most intensive glaciation phase, which belongs to MIS 12, the Lukavičko-lukovski Glacier displayed a length of 16.5 km. In second phase (MIS 6) glacier was 9.5 km long, and in the third phase (MIS 5d - 2) it was reduced on 3.2 km. The youngest glacial phase, recognized in the broader mountain area, did not left behind clear evidences of its existence in the study area (Ђуровић, 2020).

Previous researches have determined a series of moraines formed by the Lukavičko-Lukovski Glacier during several glacial phases. Majority of them considers terminal moraines. They are the best morphologically preserved and represent the basis for determining the extent of glaciation, as well as for determining the lower snowline. Detailed reconstruction of glacial processes in this area is lacking reasonably as these moraines do not allow more detailed studies of the evolution of Pleistocene glaciers. However, the discovery of hummocky moraines in the uvala Blaca, has opened a new possibility for detailed explorations regarding evolution, i.e. stagnant glacier phase during the most intensive glaciation that this area has experienced.

The term "hummocky moraines" is known from the beginning of the 20<sup>th</sup> century resembling the glacial material that was accumulated by dissected parts of a glacier (stagnant ice) (Harker, 1901). Over time, numerous researchers have defined this term. Hummocky moraines represent very irregular terrain consisting of numerous hills (hummocks) (Sissons, 1974) carved by glaciers during their final retreat. According to many researches this happened during the Younger Dryas (Sissons, 1967; Hagen & Stærang, 1991; Ballantyne & Harris, 1994). This term also resembles moraines that formed during the deglaciation caused by orographic barrier, which resulted in dissection and separation of downward glacier part from its source (Clapperton & Sugden, 1977). Hummocky moraines are connected to the ablation zone composed of stagnant ice where disintegration of moraines took place (Clayton & Moran, 1974). One of the proposed models for their genesis suggests that debris supplied from slopes at the glacier surface experienced passive transport, lack of any sedimentological changes and finally accumulation at the end of the glacier, in the zone of its advance or retreat (Eyles, 1983; 1999). Their formation is related to the rapid termination of the glacier movement as a consequence of the sudden climate warming (Johnson et al., 1995). The way of debris implementation into the glacier depends on its thermal regime. Colder part of glacier, at the bottom, causes erosion under the upward warmer part (Hagen & Stærang, 1991). The different velocities of ice movement inside glacier produced deglaciation, which enabled debris to come into the ice mass. Most researchers have opinion that hummocky moraines derive by melting of stagnant ice, enabling the accumulation of supraglacial (surficial) debris under the influence of melt-water and gravity fail (collapse). In this way debris material deserves the form of crest or hummock (Sharp, 1949). This type of moraines has not been a subject of studies related to Pleistocene glacial morphology in Montenegro mountains.

## Geographical position

Moračke Planine Mts. are situated in the central area in Montenegro. They represent a set of several mountainous parts clearly morphologically differentiated by deep dolinas and valleys. Noteworthy mountainous regions are Lola Mt. (2,032 m a.s.l.) and Veliki Zabelac Mt. (2,129 m a.s.l.) at north, Kapa Moračka Mt. (2,226 m a.s.l.) in central part, Stožac Mt. (2,141 m a.s.l.) and Maganik Mt. (2,139 m a.s.l.) in southern and southeastern part, and Žurim Mt. on the west. The glaciation that covered the studied area took place from the Žurim Mt., so this mountainous part of the Moračke planine Mts. is in the focus of this research (Fig. 1).

High karst plateau (1,600 – 1,400 m a.s.l.) dominates the western part of Moračke Planine Mts., extending from the foothill of Žurim Mt. on the east to the Nikšićko polje on the west. In its middle part is the uvala Blaca. During the most extensive glaciation the Lukavičko-lukovski Glacier moved over this area enabling a series of moraines to accumulate during the later stagnant phase. According to recent geomorphological researches a part of these moraines considers hummocky ones. Coordinates of uvala Blaca are 42° 48' 18" and 42° 48' 51" N and 19° 03' 00" and 19° 04' 02" E, at 1,230 m a.s.l.

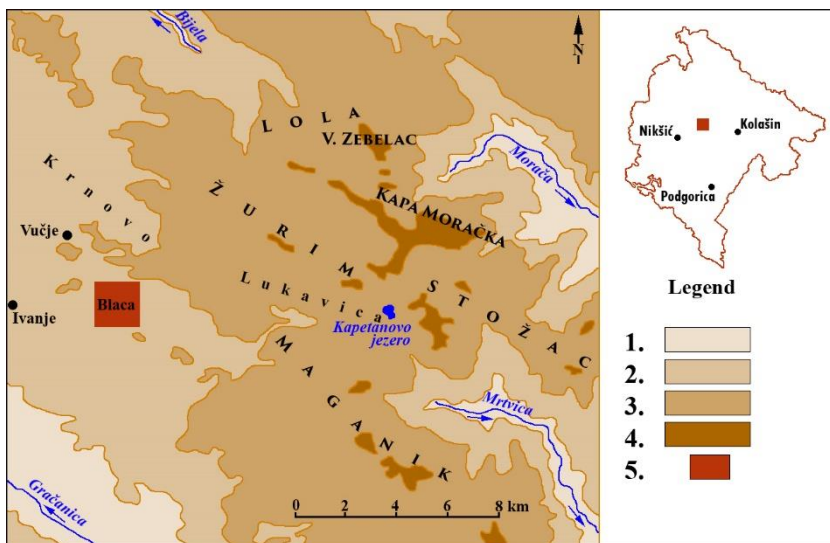


Fig. 1. Geographical position of the uvala Blaca  
(Legend: 1 - < 1,000 m a.s.l., 2 - 1,000 – 1,500 m a.s.l., 3 - 1,500 – 2,000 m a.s.l., 4 - > 2,000 m a.s.l., 5 - position of the uvala Blaca)

## Methodology

Two groups of methods, field and desk, were applied in order to determine the genesis of hummocky moraines. Field-work methods included geomorphological and sedimentological methods in aim to reconstruct the extent and the intensity of glaciation, etc. Group of desk methods incorporated remote sensing, cartographic methods etc. Geomorphological field work was implemented for analyzing the qualitative and quantitative characteristics and spatial and chronological relationship of relief forms. Their main

metric values were estimated (length, width, depth and height), using: measuring tape, laser measure, altimeter and manual GPS. The collected quantitative data were used for genetic classification of landforms and distinguishing a genetic type.

Spatial relationships between the analyzed relief elements were determined by marshrut observation using topographic maps in scale 1:25,000 and orthophoto images in scale 1:500. Boundaries of accumulation products (glacial, fluvioglacial, colluvial) were outlined directly during a field-work on topographic maps in scale 1:25,000 and on orthophoto images, in scale 1:500. The origin of sediments was determined by morphostratigraphic analyses based on the appearance of surface features they build-up (Frye et al., 1962), lithological criterion (Bowen, 1978), as well as based on morpho-lithostratigraphic criterions (Hughes, 2007; 2010). Lithostratigraphic analysis (Weerts & Westerhoff, 2007) was applied at discovered glacial accumulations, as well as the analysis of homogeneity of glacial material and lack of bedding within it (Räsänen et al., 2009). The roundness of grains in accumulated material was analyzed according to Habakov (Matović et al., 2019) while the degree of preservation of primary angular forms within glacial material was estimated according to Hanáček et al. (2011).

The extent of Pleistocene glaciation was determined by using the geomorphological mapping methods (Djurović, 2009; Hughes et al., 2010; Žebre & Stepišnik, 2014). Principles of geomorphological mapping (Marković, 1983), as well as remote sensing of aero- and orthophoto images (Djurović & Menković, 2004) were implemented during the preparation of detailed geomorphological maps.

## **Geomorphological characteristics**

Blaca is irregularly-shaped karst uvala. Its length in NW-SE direction is 1 km, and 1.7 km in the SW-NE direction. It covers the area of 1.2 km<sup>2</sup>. Its NW part is opened to polje Ivanje. Major part of uvala is dominated by moraine accumulations (Kalezih et al., 1973). Throughout the central part of uvala extends a tiny and shallow stream bed, which displays intermittent character at the beginning of uvala, and turns into temporary one at its end due to extremely scarce surface flows. In the northern part of uvala appear few dry and shallow stream beds, in which periodically formed streams rapidly disappear. Southern part of uvala characterizes a number of irregularly distributed dolinas of different size (Fig. 2). All of them shared same characteristics, being built in moraine material. They are all wide and bowl-shaped dolinas of flattened bottom. Banks are from leached glacial material in which prevail limestone pebbles ranging in size from few centimeters to few decimeters. Meter-sized blocks occur infrequently. Grass vegetation between pebbles and blocks is scanty and sporadically. Banks commonly incline at angle 15° to 20°, rising from bottom for a few meters. Flattened bottoms consist of tiny carbonate fractions that were leached from banks and subjected to pedogenetic processes. The developed soil ranges in thickness from 10 to 30 cm. Detailed geomorphological analyze and Lukavičko-lukovski Glacier evolution analyze reflected on deposition of moraine material in a form of hummocky moraines.

Hummocky moraines in south of the uvala Blaca are surrounded from west by higher crest of the lateral moraine Pobilje, and from south by higher crest of the lateral moraine Kobilja glava. Both lateral moraines join together on southwest into the terminal moraine closing the southern part of the uvala Blaca (Fig. 2).

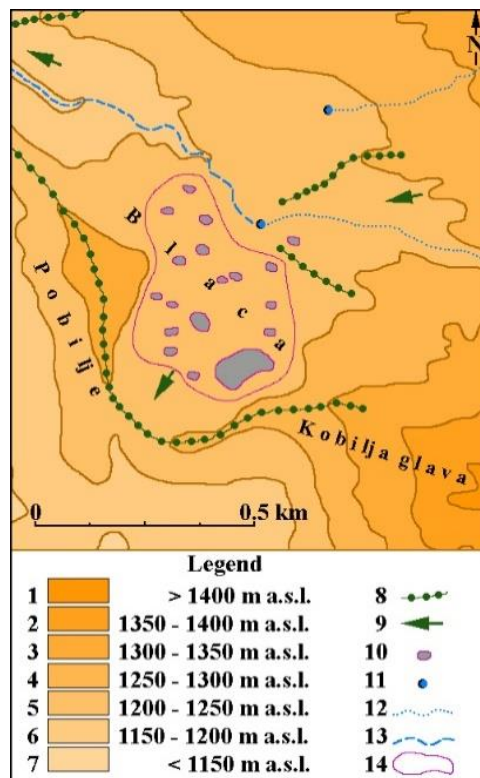


Fig. 2. Geomorphological map of the uvala Blaca  
 (Legend: 1 - 7 altitude zones, 8 - terminal and lateral moraine, 9 - direction of glacier movement, 10 - dolinas between hummocky moraines, 11 - disappearing spring, 12 - intermittent flow, 13 - ephemeral flow, 14 - distribution area of hummocky moraines)

## Results and discussion

The origin of hummocky moraines is in close relationship with the Lukavičko-lukovski Glacier evolution. Glacier formed in the central part of Moračke Planine Mts. and descended from mountains Veliki and Mali Žurim westward in the direction of polje Ivanje (Fig. 3A).

According to preserved terminal moraines and glacial forms the three glacial phases in the glacier evolution have been recognized. The oldest and the lowest terminal moraine is placed in the western part of Moračke Planine Mts. and north-westward from uvala Blaca in polje Ivanje, at 1,120 m a.s.l. It has been the subject of the earliest geomorphological researches (Шобажућ, 1926; Liedtke, 1962). Comparative analyses of the lowest and the oldest moraines within the central mountainous parts in Montenegro whose absolute age was dated by uranium-series method (Hughes et al., 2011), suggested that their age could be related to MIS 12. Glacier did not retreat fast and constantly. Gradual retreat during shorter episodes led to accumulation of moraine material, either smaller or bigger, as well as of different forms. Since the maximal extension, when the

length of glacier was 16.5 km, the short time stabilization of retreat led to formation of terminal moraine Pobilje-Kobilja glava in the southern part of the uvala Blaca. In that phase, the length of the glacier was 14.5 km. After the short period of stabilization, the retreat repeated, although it was with small intensity and the glacier ended at the bottom of uvala. The ongoing melting proceeded the stagnation of glacier, which has been significantly controlled by well-developed and preserved karst morphology.

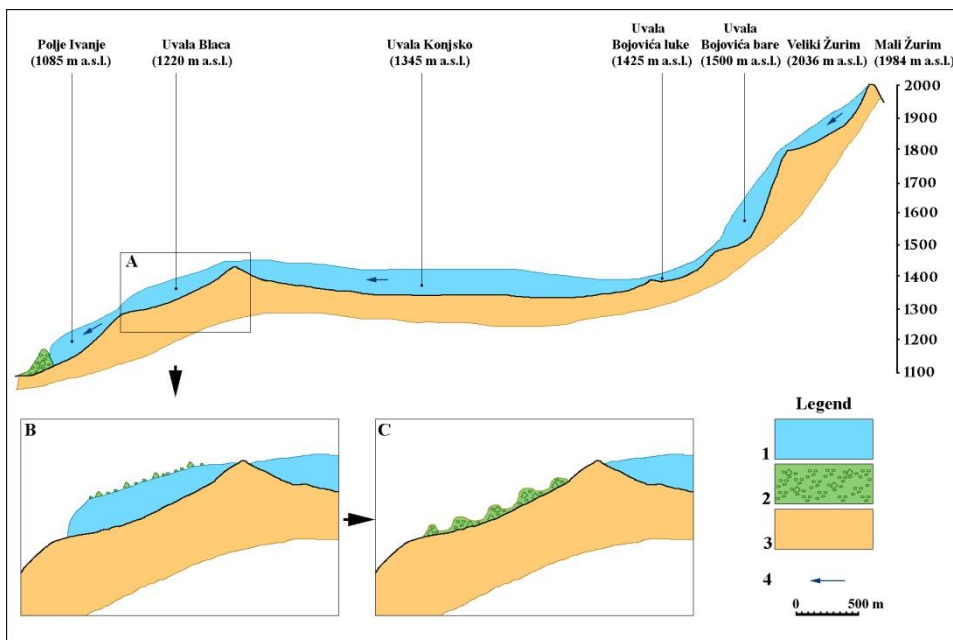


Fig. 3. Longitudinal profile of the Lukavičko-lukovski Glacier (A), development of stagnant ice (B), formation of hummocky moraines (C); (1 - glacier, 2 - moraine material, 3 - carbonate basement, 4 - direction of glacier's movement)

Series of uvalas in the area from Lukavičko-lukovski Glacier to the uvala Blaca were formed before glaciation, in the high karst terrain. Marginal parts of it, as well as short segments between uvalas, remained preserved in recent relief. Such morphological predisposition (series of linear dissected uvalas on karst topography) completely controlled morphological features of glacier. The significant width of it led to the extensive, but relatively thin ice mass development. On the other side, the spread out of icy mass from one uvala to another, led to uneven thickness of glacier. The glacier has been significantly thicker in uvala than at crests between them (Fig. 3B). The small thickness of glacier during its retreat, on the ridge between the uvala Blaca (the farthest point that the glacier has reached) and the higher uvala Konjsko, caused dissection of the unique glacier. Separated part of Lukavičko-lukovski Glacier existed as stagnant ice upstream from terminal moraine Pobilje-Kobilja glava, which derived during the previous stage of stagnation (this term refers to glacier lack of motion, i.e. being static). The way of accumulation of moraine material is quite different at glaciers lack of motion, and the common morphological elements in a form of terminal and lateral moraines are missing. Further melting of stagnant ice in uvala Blaca led to accumulation of debris from its surface (supraglacial debris) (Fig. 3C). Supraglacial debris would be shortly transported

and accumulated by melt water, while the complete melting of glacier and gravitational collapse tends to accumulate debris on the underlying limestone in a form of a hill or hummock (Fig. 4).



*Fig. 4. Uvala Blaca (Source: Author) (see: Fig. 2)*

The thinnest particles of moraine material exposed at hummock slopes in the uvala Blaca will be subjected to the out-washing process. The released material will gradually fill and flatten spaces between hummocks. In the same time, carbonate basement enables water to seep into the ground. Due to reduced intensity of following glacial phase, the area of Blaca and hummocky moraines within, were not affected by glacial processes whereas the above-mentioned process has continued up with more or less intensity until the present day.

Apart from the long and intensive researches of Pleistocene glaciation in Dinarides, the hummocky moraines were recognized and became a subject of studying in last few years. The first researches of hummocky moraines in central parts of Dinarides were performed during the dating of moraines in Blidinjsko Polje (Bosnia and Herzegovina) (Çiner et al., 2019). Ridges composed of moraine material are considered to be developed during stagnation of glacier and its interruption and division into two parts. Melting of the downward, separated part, which turned into the stagnant ice led to local transportation of supraglacial debris and its accumulation that will result in generation of hummocks. The age of hummocky moraines dated by cosmogenic  $^{36}\text{Cl}$  yielded to  $22.7 \pm 3.8$  ka. The obtained age could be correlate with the last glacial maximum (LGM) (Çiner et al., 2019).

In the frame of researches related to the influence of glacial processes on the filling of karst forms in western part of the Moračke Planine Mts. (Lukavičko-lukovski karst) the hummocky moraines in southeastern part of Dinarides (Montenegro) were analyzed for the first time. Their main morphometric features, conditions during their formation and genesis were taken in consideration. The obtained data reflected on their formation within a stagnant ice during the glacier retreat. According to the previously determined age of the oldest glacial phase, their formation is related to the period MIS 12 (Ђуровић, 2020).

In the Central Taurids (Turkey), located about 50 km north from the Mediterranean Sea, at an altitude from 2,000 to 2,050 m a.s.l. were identified 26 hummocks from moraine material. Dating of these hummocks by cosmogenic  $^{36}\text{Cl}$  reflected on their formation during the most extensive glacial phase and the last glacial maximum (LGM) -  $18.0 \pm 0.4$  ka (Çiner et al., 2014). Hummocky moraines in the southwestern parts of



Sweden are related to late deglaciation period. They were formed in stagnant ("dead" ice). Melting of such stagnant ice led to relief inversion by drop of upland and its turn into a lowland between ridges. On contrary, the accumulation of moraine material led to formation of raised hummocky moraines (Gunnar, 2008).

According to applied researches along with the previously conducted the origin of hummocky moraines is related to period of glacier melting and its steady state. Due to uneven thickness the lowest part of glacier spaces apart from the main icy mass and turns into the stagnant ice. Melting of it favored the accumulation of moraine material as hummocks. In the karst area spaces between hummocks converted into bowl-shaped dolinas during the postglacial (recent) period.

## Conclusion

The first described and researched occurrence of hummocky moraines in the area of the southeastern Dinarides (Montenegro) opens a new possibility of analyzing the dynamics and character of Pleistocene glaciers, which was not possible with previous analyzes of terminal and lateral moraines. Hummocky moraines at western part of the Moračke Planine Mts. acknowledged the great influence of karst to the development of Pleistocene glaciers, particularly on their evolution during the stagnant state.

© 2020 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

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

## References

- Ballantyne, C.K. & Harris, C. (1994). *The Periglaciation of Great Britain*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Benn, D.I. & Evans, D. J. A. (2010). *Glaciers and Glaciation*. New York: Rutledge, 802.
- Bowen, D.Q. (1978). *Quaternary Geology: A Stratigraphic Framework for Multidisciplinary Work*. New York: Pergamon Press, Oxford, 221.
- Çiner, A., Sarıkaya, M. A. & Yıldırım, C. (2014). Hummocky moraines of piedmont glaciers from Geyikdäg, Central Tauride Mountains, Turkey; insights from cosmogenic  $^{36}\text{Cl}$  dating. *Geophysical Research Abstracts*, 16, EGU 2014-4274, 2014 EGU General Assembly.
- Çiner, A., Stepišnik, U., Sarıkaya, M. A. Žebre, M. & Yıldırım, C. (2019). Last Glacial Maximum and Younger Dryas piedmont glaciations in Blidinje, the Dinaric Mountains (Bosnia and Herzegovina): insights from  $^{36}\text{Cl}$  cosmogenic dating. *Mediterranean Geoscience Reviews* 1, 25–43.
- Clapperton, C.M. & Sugden, D.E. (1977). The late Devensian glaciation of North East Scotland. In: Gray, J.M., Lowe, J.J. (eds), *Studies in the Scottish late glacial environment*. 1 – 14, Pergamon, Oxford.
- Clayton, L. & Moran, S.R. (1974). A glacial process-form model. In: Coates, D.R. (Ed.), *Glacial Geomorphology*. State University of New York, Binghamton, 89-120.
- Цвијић, Ј. (1897). Трагови старих глечера на Рили. *Гласник Српске краљевске академије*. [Cvijić, J. (1897). Tragovi starih glečera na Rili. *Glasnik Srpske kraljevske akademije*.]
- Цвијић, Ј. (1899). Глацијалне и морфолошке студије о планинама Босне, Херцеговине и Црне Горе. *Глас Српске краљевске академије наука*, 57, 1-196. [Cvijić, J. (1899). Glacijalne i morfološke studije o planinama Bosne, Hercegovine i Crne Gore. *Glas Srpske kraljevske akademije nauka*, 57, 1 – 196.]

- Цвијић, Ј. (1913). Ледено доба у Проклетијама и околним планинама. *Глас Српске Краљевске Академије*, 93, 14. [Cvijić, J. (1913). Ledeno doba u Prokletijama i okolnim planinama. *Glas Srpske kraljevske akademije nauka*, 93, 14.]
- Цвијић, Ј. (1914). Преглед динарских екскурзија од 1897. до 1913. године и резултати о леденом добу у Проклетијама. *Гласник Српског географског друштва*, 3-4, 192-210. [Cvijić, J. (1914). Pregled dinarskih ekurzija od 1897. do 1913. godine i rezultati o ledenom dobu u Prokletijama. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 3-4, 192-210.]
- Ђуровић, М. (2020). Утицај глацијалног процеса на засипање Лукавичко-луковског краса (Црна Гора). *Докторска дисертација*, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет. [Djurović, M. (2020). Uticaj glacijalnog procesa na zasipanje Lukavičko-lukovskog krasa (Crna Gora). *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet.]
- Djurović, M. & Djurović, P. (2015). The impact of glacial processes in the evolution of the poljes of Montenegro. *Acta Geobalcánica*, 1(1), 25 – 31.
- Djurović, P. (2009). Reconstruction of the Pleistocene glaciers of Mt. Durmitor in Montenegro. *Acta geographica Slovenica* 49(2), 263-289.
- Djurović, P. & Menković, Lj. (2004). Remote sensing in Geomorphological mapping. *MECEO*, Belgrade, 197-201.
- Eyles, N. (1983). Modern Icelandic glaciers as depositional models for "hummocky moraine" in the Scottish Highlands. In: Evenson, E.B., Schlüchter, C., Rabassa, J. (eds), *Tills and related deposits*, 47 – 60, Balkema, Rotterdam.
- Eyles, N., Boyce, J.I. & Barendregt, R.W. (1999). Hummocky moraine: sedimentary record of stagnant Laurentide Ice Sheet lobes resting on soft beds. *Sedimentary Geology* 123(1999), 163–174.
- Frye, J.C, Glass, H.D. & Willman, H.B. (1962). Stratigraphy and mineralogy of the Wisconsinan loesses of Illinois: Illinois State. *Geological Survey Circular*, 334, 55.
- Gunnar, A. (2008). Genesis of hummocky moraine in the Bolmen area, southwestern Sweden January Boreas, 27(1), 55 – 67.
- Hagen, J.O. & Stærang, A. (1991). Radio-echo soundings of sub-polar glaciers with low-frequency radar. *Polar Research*, 26, 15–57.
- Hanáček, M., Flašar, J. & Nývlt, D., (2011). Sedimentary petrological characteristics of lateral and frontal moraine and proglacial glaciofluvial sediments of Bertilbreen, Central Svalbard. *Czech Polar Reports*, 1(1), 11–33.
- Harker, A. (1901). Ice erosion in the Cuillin Hills, Skye. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 40, 221 – 252.
- Hassert, K. (1901). Mitth. d. k. k. Geogr. Gesellsch. In Wien. 1900. – *Gletscherspuren in Montenegro*. Aus Verhandlungen des 13 deutschen Geographentages. 217-232.
- Hughes, P.D. (2007). Allostratigraphy/morphostratigraphy. In: Elias, S. (Ed.) *Encyclopedia of Quaternary Sciences*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2841–2846.
- Hughes, P.D. (2010). Geomorphology and Quaternary stratigraphy: The roles of morpho, litho-, and allostratigraphy. *Geomorphology*, 123, 189-199.
- Hughes, P.D, Woodward, J.C., van Calstern P.C. & Thomas, L.E. (2011). The glacial history of the Dinaric Alps Montenegro. *Quaternary Science Reviews*, 30, 3393-3412.
- Johnson, M.D., Mickelsen, D.M., Clayton, L. & Attig, J.W. (1995). Composition and genesis of glacial hummocks, western Wisconsin, U.S.A. *Boreas*, 24, 97–116.
- Калезић, М., Мирковић, М. & Шкулегић, Д. (1973). Основна геолошка карта СФРЈ, размер 1:100.000, лист Шавник. [Kalezić, M., Mirković, M. & Škuletić, D. (1973). Osnovna geološka karta SFRJ, razmer 1:100.000, list Šavnik.]
- Калезић М., Мирковић М. & Шкулегић Д. (1973). Тумач за лист Шавник. Савезни геолошки завод, Београд. [Kalezić, M., Mirković, M. & Škuletić, D. (1973). Tumač za list Šavnik. Savezni geološki zavod, Beograd.]
- Kayser, K. (1932). *Morphologische Studien in West montenegro*. Z. d. Ges. f. Erdk. Berlin, 248 - 279.
- Liedtke, H. (1962). Eisrand und Karstpoljen am Westrand der Lukavica - Höchfläche (Westmontenegro). *Erdkunde*, 15(1), 289 – 298.

- Marković, M. (1983). *Osnovi primenjene geomorfologije*. Beograd, 174.
- Matović, V., Gajić, V. & Vasić, N., (2019). *Metode ispitivanja sedimentnih stena*. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Radojičić, B. (1996). *Geografija Crne Gore – prirodna osnova*. Nikšić.
- Räsänen, M.E., Auir, J.M., Huitti, J.V., Klap, A.K. & Virtasalo, J.J. (2009). A shift from lithostratigraphic to allostratigraphic classification of Quaternary glacial deposits. *GSA Today*, 19, 4-11.
- Sharp, R.P. (1949). Studies of superglacial debris on valley glaciers. *American Journal of Science*, 247, 289–315.
- Sissons, J.B. (1967). *The Evolution of Scotland's Scenery*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Sissons, J.B. (1974). A Late-glacial ice cap in the central Grapians, Scotland. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 62, 95 – 114.
- Шобажих, П. (1926). Леднички трагови у Никшићкој жупи. *Гласник Српског географског друштва*, 12, 133-136. [Šobajić, P. (1926). Lednički tragovi u Nikšićkoj župi. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 12, 133-136.]
- Weerts, H.J.T. & Westerhoff, W.E. (2007). Lithostratigraphy. In: Elias, S. (Ed.), *Section 3: Quaternary Stratigraphy*. Encyclopedia of Quaternary Sciences, Elsevier, Amsterdam, 2826-2840.
- Žebre, M. & Stepišnik, U. (2014). Reconstruction of Late Pleistocene glaciers on Mount Lovćen, Montenegro. *Quaternary International*, 353, 225-235.

Оригинални научни рад

UDC 551.4(497.16 Moračke planine)  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2002025D>

Примљено: 01. новембра 2020.  
Исправљено: 23. новембра 2020.  
Прихваћено: 12. децембра 2020.

**Мирела Ђуровић<sup>1\*</sup>**

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

## ГЕНЕЗА ПЛЕИСТОЦЕНСКИХ БРЕЖУЉКАСТИХ МОРЕНА МОРАЧКИХ ПЛАНИНА (ЦРНА ГОРА)

**Апстракт:** Морачке планине налазе се у централном делу Црне Горе. Током плеистоцена представљале су снажан центар глацијације. Савременим проучавањима у западном делу Морачких планина истражен је специфичан облик морена, до сада непознат на простору југоисточних Динарида - брежуљкасте морене. На кречњачкој подлози акумулиран је моренски материјал у коме се налази више десетина неправилно распоређених брежуљака и сличан број карличастих вртача. Брежуљкасте морене настале су на простору глациокраса на којем је у преглацијалном периоду била добро развијена крашка морфологија. Преглацијална крашка морфологија одредила је правац кретања ледника и његове основне морфолошке карактеристике (дебљина и ширина). Током најснажније фазе глацијације (MIS 12) из централног дела планине према западу пружао се Лукавичко-луковски ледник на дужини од 16,5 km. У процесу деглацијације, услед неједнаке дебљине ледника, долази до његовог прекидања и одвајања доњег, краћег дела, од остатка ледене масе. Услед статичности овог дела ледене масе долази до специфичног акумулирања моренског материјала у виду бројних брежуљака. По отапању ледене масе између брежуљака формиране су карличасте вртаче. Палеогеографски значај брежуљкастих морена огледа се у могућностима детаљнијих проучавања специфичности плеистоценских ледника које проистичу из њихове еволуције у глациокрашким условима.

**Кључне речи:** брежуљкасте морене, плеистоценска глацијација, глациокрас, Морачке планине, Црна Гора

---

<sup>1</sup> mirela.djurovic@gmail.com (аутор за кореспонденцију)

## Увод

Плеистоценска планинска глацијација предмет је научних истраживања од самих почетака проучавања трагова глацијације ван граница планинског простора Алпа. Прва палеоглациолошка истраживања на простору југоисточних Динарида (Црна Гора) крајем 19. века започео је Јован Цвијић (Цвијић, 1897, 1899). Почетком 20. века изнето је мишљење о постојању танког ледничког покривача западно од Морачких планина као и глацијалних појава око Капетановог језера (Hassert, 1901). У централном планинском простору Црне Горе, који обухвата и Морачке планине током плеистоцена постојао је танак ледени покривач и била су развијена два типа ледника: крашки и пиједмонски. Из централног дела Морачких планина ледници су се кретали на север према долини Бијеле и Тушине, на југ према Мртвици и на запад у правцу Никшићког поља. За планину Журим сматра се да је представљала један од највећих и најинтересантнијих плеистоценских глацијалних центара на Балканском полуострву (Цвијић, 1913).

За разлику од претходних истраживања, која су имала општи карактер, детаљнија истраживања овог простора извршио је Цвијићев ђак, Петар Шобајић (Шобајић, 1926). Утврдио је да су се са простора Журима спуштала два ледника. Један ледник ишао је према северозападу ка долини Бијеле. Други ледник кретао се према западу, где се ледена маса раздвајала у два крака. Један крак ишао је до Крнова и Вучја, а други до Ивања, где су формиране серије морена. О њиховој дебљини постоје различита схватања. Цвијићево схватање о дебљини морене у Ивању од 100 m (Цвијић, 1914), кориговано је на дебљину од 20 до 30 m, при чему је изнета и њена висина од 1.180 m н.в. (Kayser, 1932). Ова дебљина морене потврђена је и током следећих истраживања (Liedtke, 1962). Овим истраживањима је утврђено да се ледник који се кретао ка Ивању на простору Блаца цепао на два ледничка језика. Такође је указано и на утицај морфологије крашке висоравни на висину до које су се спуштали ледници.

У оквиру комплексних геолошких истраживања ширег простора картиран је и приказан просторни размештај глацијалног, флувиоглацијалног материјала и морена (Калезић и сар., 1973). Утврђивање правца кретања ледника са Морачких планина било је предмет наредних истраживања, а добијени резултати се у значајној мери поклапају са раније приказаним (Radojičić, 1996). Савремена истраживања палеоглацијалних карактеристика централног планинског простора Црне Горе везана су за утврђивање хронологије глацијалних фаза и морфостратиграфије (Hughes et al., 2011). Апсолутно датирање старости секундарног карбонатног цемента у глацијалном материјалу вршено је  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  методом. Утврђено је постојање четири глацијалне фазе. Прва, најснажнија глацијална фаза, датирана је на више од 350.000 година, а корелисана је са MIS 12 (оквирно од пре 470.000 до пре 420.000 година). За центар глацијације Морачких планина узима се простор између Великог Журима и Капетановог језера. Карактеристика ове фазе је постојање јединствене ледничке капе која се простирала преко читавог планинског простора. Другу глацијалну фазу карактерише разбијање јединствене ледничке капе и стварање више ледника који су формирану током две одвојене фазе у периоду од MIS 10 до MIS 6 (око 190.000 – 130.000 година), али је корелисана са MIS 6. Трећа фаза обухвата MIS 5d – MIS 2 (~ 110.000 – 11.700 година) у којој је на овом планинском простору реконструисано 15 независних ледника. Четврта и последња

глатијална фаза датирана је на период млађег дријаса, око 12.900 – 11.700 година (Hughes et al., 2011).

Приликом анализе утицаја глатијалног процеса на еволуцију поља у красу (Djugović & Djugović, 2015), која је обухватила и део Морачких планина (Лукавичко-луковски крас), утврђено је да је дошло до засипања поља седиментима које се одвијало у две фазе. Засипање је извршено претранспортовањем моренског материјала, а старост глатијалних фаза кореспондира са најнижим и најстаријим моренама на Дурмитору (MIS 12 ~ 470.000 – 420.000 година), односно са моренама у околини Жабљака (MIS 6 ~ 190.000 – 130.000 година) (Hughes et al., 2011). Последња палеоглатијолошка истраживања овог простора обухватају реконструкцију глатијалних фаза западног дела Морачких планина (Ђуровић, 2020). У најстаријој и најјачој фази глатијације Лукавичко-луковски ледник је имао дужину од 16,5 km и ова фаза припада MIS 12. У другој фази (MIS 6) ледник је био дуг 9,5 km, док је у трећој фази (MIS 5d - 2) дужина ледника редукована на 3,2 km. Најмлађа глатијална фаза која је утврђена на ширем планинском простору, на овом истраживаном простору није оставила јасне доказе постојања (Ђуровић, 2020).

Претходним истраживањима утврђене су серије морена које је Лукавичко-луковски ледник формирао током више глатијалних фаза. То су најчешће чеоне морене. Оне су најбоље морфолошки очуване и представљале су основ за утврђивање обима глатијације, као и за утврђивање доње снежне границе. Детаљније реконструкције глатијалних прилика које су се дешавале на овом простору су изостале из реалних разлога, јер ове врсте морена не омогућавају детаљније студије еволуције плеистоценских ледника. Међутим, проналаском брежуљкастих морена на простору увале Блаца отвориле су се могућности детаљнијег проучавања еволуције, односно фаза стагнације ледника током најјаче фазе глатијације која је захватила овај планински простор.

Појам "брежуљкасте морене" познат је још са почетка 20. века и био је везан за глатијални материјал који су акумулирали одсечени делови ледника (стајаћи лед) (Harker, 1901). Током времена бројни истраживачи дефинисали су овај појам. Брежуљкасте морене су веома неправилан терен састављен од великог броја брежуљака (хумки) (Sissons, 1974), који су формирали ледници приликом њиховог коначног повлачења, а бројна истраживања су показала да се то десило у периоду млађег дријаса (Sissons, 1967; Hagen & Stærang, 1991; Ballantyne & Harris, 1994). Овај појам дефинише се и као морене настале током деглатијације ледника, где је услед топографске баријере дошло до његовог пресецања и одвајања доњег дела од његовог изворишта (Clapperton & Sugden, 1977). Брежуљкасте морене везују се за простор аблације, састављен од стајаћег леда, где се врши процес дезинтеграције морена (Clayton & Morgan, 1974). Као један од модела формирања брежуљкастих морена је да са падинских страна дробина доспева на површину ледника, пасивно се транспортује, без седиментолошких промена и на крају ледника, у зони његовог напредовања или повлачења, се акумулира (Eyles, 1983, 1999). Њихов настанак везан је за брзи престанак кретања ледника као последице наглог отољавања климе (Johnson et al., 1995). Начин уграђивања дробине у ледник зависи од његовог топлотног режима. Хладни део ледника налази се на дну и њиме ледник врши ерозију, док се топли део налази у горњем делу (Hagen & Stærang, 1991). То доводи до различите брзине кретања леда у леднику што изазива уздужне притиске, чиме

се омогућава уградња дробине у ледничку масу. Највећи број истраживача мишљења су да брежуљкасте морене настају топљењем стајаћег леда при чему се врши акумулација супраглатијалне дробине (површинске) која се одвија под утицајем сочнице и гравитационог пропадања (колапса), чиме дробински материјал задобија форму брега или хумке (Sharp, 1949). Овај тип морена до сада није обрађиван у литератури везаној за плеистоценску глатијалну морфологију планина Црне Горе.

## Географски положај

Морачке планине налазе се у централном планинском простору Црне Горе. Оне представљају скуп више планинских делова међусобно јасно морфолошки издиференцираних дубоким валовима и долинама. Од планинских делова издвајају се Лола (2.032 m н.в.) и Велики Зебелац (2.129 m н.в.) на северу, Капа Морачка (2.226 m н.в.) у централом делу, Стожац (2.141 m н.в.) и Маганик (2.139 m н.в.) у јужном и југоисточном делу и Журим у западном делу. Глатијација која је захватила проучавани простор одвијала се са простора Журима, те је овај планински део Морачких планина у фокусу истраживања (Сл. 1).

Западним простором Морачких планина доминира висока крашка површ (1.600 – 1.400 m н.в.). Она се пружа од подножја Журима на истоку према Никшићком пољу на западу. У средишњем делу ове површи налази се увала Блаца. Током најјаче фазе глатијације преко овог простора кретао се Лукавичко-луковски ледник. У фази стагнације он је на простору увале наталожио серију морена. Савременим геоморфолошким истраживањима утврђено је да један део ових морена припада групи брежуљкастих морена. Координате увале су: 42° 48' 18" и 42° 48' 51" N и 19° 03' 00" и 19° 04' 02" E и 1,230 m н.в.

### *Сл. 1. Географски положај увале Блаца*

*(Легенда: 1 - < 1.000 m н.в., 2 - 1.000 – 1.500 m н.в., 3 - 1.500 – 2.000 m н.в., 4 - > 2.000 m н.в., 5 - положај увале Блаца) (страна 28)*

## Методологија

При решавању проблема генезе брежуљкастих морена коришћене су две групе метода: теренске и кабинетске. У оквиру теренских метода издвајају се: геоморфолошке, седиментолошке, методе за реконструкцију обима и интензитета глатијације и др. Кабинетске методе обухватиле су: даљинску детекцију, картографске методе и сл. Геоморфолошким теренским истраживањима анализирани су квантитативне и квалитативне карактеристике, просторни и хронолошки односи облика рељефа. Утврђене су њихове основне метричке величине (дужина, ширина, дубина и висина), при чему су коришћени: мерна трака, ласерски даљиномер, висинометар и ручни GPS уређај. Након прикупљања квантитативних података приступило се генетској класификацији облика рељефа и издвајању генетских типова.

Маршрутним осматрањем одређени су просторни односи анализираних елемената рељефа коришћењем топографских карта (1:25.000) и ортофото снимака (1:500). Границе акумулативних творевина (глатијални, флувио-глатијални, колувијални) уцртане су непосредно на терену на топографској основи 1:25.000 и

ортофото снимцима 1:500. Порекло седимената утврђивано је морфостратиграфском анализом заснованом на изгледу површинског облика који они изграђују (Frye et al., 1962), литолошким критеријумом (Bowen, 1978), као и морфолито-стратиграфским (Hughes, 2007, 2010). На откривеним глацијалним акумулацијама вршена је литостратиграфска анализа (Weerts & Westerhoff, 2007), као и хомогеност глацијалног материјала и изостанак слојевитости у њему (Räsänen et al., 2009). Анализирана је заобљеност зрна акумулираног материјала према Хабакову (Matović i sar., 2019) и степен очуваности примарне угласте форме глацијалног материјала (Hanáček et al., 2011).

Обим плеистоценске глацијације одређиван је применом геоморфолошких метода картирања (Djurović, 2009; Hughes et al., 2010; Žebre & Stepišnik, 2014). Приликом израде детаљних геоморфолошких карата примењени су принципи геоморфолошког картирања (Marković, 1983), и даљинске детекције аеро и ортофото снимака (Djurović & Menković, 2004).

## Геоморфолошке карактеристике

Блаца представља крашку увалу неправилног облика. У правцу NW-SE дуга је 1 km, а у правцу SW-NE 1,7 km и има површину 1,2 km<sup>2</sup>. У NW делу отворена је према пољу Ивање. Највећим делом увале доминирају моренске акумулације (Калезић и сар., 1973). Централним делом увале протеже се уско и плитко корито потока. На почетку увале поток има периодични карактер, а на крају повремено, јер кроз овај део увале површински ток врло ретко тече. У северном делу налази се неколико сувих, плитких корита. Кроз ова корита периодично се формирају потоци који убрзо пониру. У јужном делу увале је простор са већим бројем неправилно распоређених вртача различите величине (Сл. 2). Заједничка карактеристика ових вртача је да су све изграђене у моренском материјалу. То су широке плитке вртаче карличастог облика са заравњеним дном. Стране вртача изграђене су од испраног глацијалног материјала где доминирају кречњачки облаци величине од неколико центиметара до неколико дециметара, а спорадично се појављују и блокови метарских димензија. Између облутака и блокова спорадично је развијена оскудна травна вегетација. Стране вртача су најчешће нагиба од 15° до 20°, а изнад дна се издижу неколико метара. Заравњена дна вртача састављена су од ситних карбонатних фракција које су спране са страна вртача и које су захваћене педогенетским процесом. Дебљина формираног земљишта креће се од 10 до 30 cm. На основу детаљне геоморфолошке анализе и анализе еволуције Лукавичко-луковског ледника утврђено је да је моренски материјал акумулиран у виду брежуљкастих морена. Ове брежуљкасте морене, које се налазе у јужном делу увале Блаца, са запада окружује виши гребен ивичне морене Побилје, а са југа виши гребен ивичне морене Кобиље главе. Обе ивичне морене на југозападу се спајају у чеону морену затварајући јужни део увале Блаца.

### *Сл. 2. Геоморфолошка карта увале Блаца*

*(Легенда: 1 - 7 висинске зоне, 8 - чеоне и ивичне морене, 9 - правац кретања ледника, 10 - вртаче између брежуљкастих морена, 11 - понор, 12 - периодични ток, 13 - повремено ток, 14 - ареал простирања брежуљкастих морена) (страница 30)*



## Резултати и дискусија

Генеза брежуљкастих морена у ували Блаца у тесној је вези са еволуцијом Лукавичко-луковског ледника. Овај ледник формирао се у централном делу Морачких планина и кретао се са простора Великог и Малог Журима према западу ка пољу Ивање (Сл. 3А).

На основу очуваних чеоних морена и глацијалних облика утврђено је постојање три глацијалне фазе у развоју овог ледника. У западном делу Морачких планина најстарија и најнижа чеона морена формирана је на 1.120 m н.в., и налази се северозападно од Блаца, на простору поља Ивање. Она је била предмет најранијих геоморфолошких истраживања (Шобајић, 1926; Liedtke, 1962). Упоредном анализом са најнижим и најстаријим моренама централног планинског простора Црне Горе, за које су утврђене апсолутне старости методом уранијумових серија распадања (Hughes et al., 2011), старост ове морене може се везати за период MIS 12. Процес повлачења ледника није се одвијао брзо и једнократно, већ се стагнација дешавала постепено, у оквиру краћих фаза из којих су у рељефу формиране веће или мање акумулације моренског материјала различите величине и облика. Од максималног стадијума, када је дужина ледника износила 16,5 km, дошло је до краткотрајне стабилизације повлачења, када је на простору јужног дела увале Блаца формирана чеона морена Побиле - Кобиља глава, са дужином ледника од 14,5 km. После ове краткотрајне стабилизације долази до новог повлачења ледника. Ово повлачење било је малог интензитета, а ледник се завршавао на простору дна увале Блаца. Услед даљег отопљавања наставља се процес стагнације ледника, при чему претходно добро развијена и очувана крашка морфологија у знатној мери одређује овај процес.

*Сл. 3. Уздужни профил Лукавичко-луковског ледника (А),  
формирање стајаћег леда (В), стварање брежуљкастих морена (С);  
(Легенда: 1 – ледник, 2 – моренски материјал, 3 – карбонатна подлога,  
4 – правац кретања ледника) (страница 31)*

Од простора формирања Лукавичко-луковског ледника, па до увале Блаца у преглацијалном периоду формирана је серија увала. Формиране су у високој крашкој површи при чему су у савременом рељефу очувани њени ободни делови као и краћи сегменти између увала. Оваква морфолошка предиспозиција (серија линеарно усечених увала на крашкој површи) у потпуности је одредила морфолошке карактеристике ледника. Због велике ширине површи, ледена маса се широко разливала, што је одредило њену релативно мало дебљину. С друге стране преливање ледене масе из једне увале у другу одређује неједнаку дебљину ледене масе. На простору увала дебљина ледника је знатно већа него на прегибима између њих (Сл. 3В). Из наведених разлога у периоду повлачења ледника, када је он допирао до увале Блаца, због мале дебљине ледника на простору прегипа између ове увале и више увале Коњско, долази до прекидања јединственог ледника. Узводно од чеоне морене Побиле – Кобиља глава, настале у претходној фази стагнације ледника, егзистира откинати део Лукавичко-луковског ледника у виду стајаћег леда. Под овим појмом подразумева се откинати део ледника који се не креће, већ је статичан. Престанком кретања ледника у потпуности је измењен начин акумулирања моренског материјала, те изостају уобичајени морфолошки елементи

у виду чеоних и ивичних морена. Даљим отапањем стајаћег леда на простору Блаца дошло је до акумулирања дробине која се налазила на његовој површини (супрагласијална дробина) (Сл. 3С). Сочница краткотрајно вертикално транспортује површинску дробину, акумулира је, а потпуним отапањем ледника под утицајем гравитационог пропадања дробински материјал на кречњачкој основи задобија форму брега или хумке (Сл. 4).

*Сл. 4. Увала Блаца (Извор: Аутор) (погледати легенду Сл. 2) (страница 32)*

На падинама брежуљака (хумки) на простору увале Блаца започиње процес спирања најситнијих честица моренског материјала од којих су састављени. Овај материјал постепено засипа и заравњује међубрежуљкасте просторе, док карбонатна подлога омогућава да вода која се слива наставља подземно кретање. Због мањег интензитета наредне гласијалне фазе, простор увале Блаца и брежуљкастих морена у њој је ван утицаја гласијалног процеса, а претходно описани процес наставља се већим или мањим интензитетом до данас.

Без обзира на веома дуг и интензиван период проучавања плеистоценске гласијације на простору Динарида, брежуљкасте морене су тек у последњих неколико година идентификоване и постале предмет истраживања. Прва истраживања брежуљкастих морена средишњег дела Динарида вршена су приликом утврђивања старости морена Бледињског поља (Босна и Херцеговина) (Çiner et al., 2019). За брежуљке, састављене од моренског материјала, констатовано је да су настали приликом стагнације ледника и његовог прекида и раздвајања на два дела. Доњи, одвојени део, трансформисан је у стајаћи лед. Топљење овог леда узроковало је локални транспорт супрагласијалне дробине, њене акумулације и формирања брежуљака. Старост брежуљкастих морена датирана је космогеним  $^{36}\text{Cl}$  и утврђена старост је од  $22.700 \pm 3.800$  година. Може се корелисати са последњим гласијалним максимумом (LGM) (Çiner et al., 2019).

У оквиру истраживања утицаја гласијалног процеса на засипање краса у западном делу Морачких планина (Лукавичко-луковски крас) први пут се анализирају брежуљкасте морене у југоисточном делу Динарида (Црна Гора). При томе анализирају се њихове основне морфометријске карактеристике, услови настанка и генеза. Констатује се да се оне формирају у стајаћем леду у условима повлачења ледника. На основу претходно утврђене старости најстарије гласијалне фазе њихово формирање везује се за период MIS 12 (Ђуровић, 2020).

У централним Тауридима (Турска), који су око 50 km северно од Средоземног мора, на 2.000 до 2.050 m н.в. утврђено је постојање 26 брежуљака моренског материјала. Њихова старост је датирана космогеним  $^{36}\text{Cl}$  и утврђено је да су ове брежуљкасте морене формиране током најјаче гласијалне фазе с краја последњег гласијалног максимума (LGM) ( $18.000 \pm 4.000$  година) (Çiner et al., 2014). У југозападном делу Шведске брежуљкасте морене везане су за касни период дегласијације. Утврђено је да су брежуљкасте морене формиране у стајаћем ("мртвом" леду). Услед топљења стајаћег леда долази до инверзије рељефа. Отапањем леда издигнути делови се спуштају и постају међубрежуљкасти простор, а акумулацијом моренског материјала издижу се брежуљкасте морене (Gunnar, 2008).

На основу извршених и приказа раније извршених истраживања, настанак брежуљкастих морена везује се за период отоपљавања и стагнације ледника. У

условима неједнаке дебљине ледника најнижи делови ледника се одвајају од главне ледене масе чиме се формира стајаћи лед. Отапањем овог леда моренски материјал се акумулира у виду брежуљака. У условима крашке средине простори између брежуљака у постгласијалном периоду (савременом) трансформишу се у карличасте вртаче.

### **Закључак**

Прва описана и истражена појава брежуљкастих морена на простору југоисточних Динарида (Црна Гора) отвара нову могућност анализе динамике и карактера плеистоценских ледника, које досадашњим анализама чеоних и ивичних морена није било могуће. Брежуљкасте морене на западном простору Морачких планина показују колико је био велики утицај краса на развој плеистоценских ледника, а посебно на њихову еволуцију у фази стагнације.

© 2020 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

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

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