
Original scientific paper

UDC 551.435.5 (497.11 Kopaonik)
<https://doi.org/10.2298/GSGD1901001N>

Received: February 26, 2019

Corrected: March 27, 2019

Accepted: April 12, 2019

Dragan Nešić^{*}, Uroš Milinčić^{}**

** Institute for Nature Conservation of Serbia, Unit in Niš*

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

THE LOWER ALTITUDINAL LIMIT OF THE PERIGLACIAL CLIMAZONAL BELT ON KOPAONIK MOUNTAIN (SERBIA)

Abstract: The morphostructural relief of the highest parts of the central Kopaonik Mt was altered by exogenous agents, by denudation as a primary and periglacial processes as a secondary agent. Previous geomorphological studies were mostly focused on the traces of the Pleistocene glaciation, although no reliable evidence was found for this. Recent research, in the part of the mountain above 1,700 m of absolute height, points to geomorphological phenomena resulting from more recent processes within the periglacial environment. By means of geomorphological reconnaissance, analysis and mapping of the highest part of the Kopaonik mountain massif, forms of relief were studied, the ones that according to their morphology correspond to the periglacial forms and processes described in the conditions of high latitudes and high mountains. Determining the spatial coverage of the periglacial belt, especially its lower limit on Kopaonik Mt, is important for understanding the distribution of this climatic morphology both in Serbia and in South East Europe. The research contributes to one of the primary aims of exploring the concept of the periglacial zone, in terms of the regional distribution of its specific relief forms.

Key words: periglacial zone, Kopaonik, climate, vegetation, relief

¹ dragan.nesic@zzps.rs (corresponding author)

Introduction

The concept of "periglacial zone" is thematically and spatially related to the conditions of high latitudes (zonal phenomenon) and high mountains (non-zonal phenomenon). It most often refers to the cold climate zone dominated by the frost process. In the mountains it can also be defined as a space between the upper alpine timberline and the snowline (French, 2007). The bases for separating this zone or this mountain belt are climate factors (temperature and air currents and precipitation), as well as specific geocological conditions (presence of permafrost, upper alpine timberline and altitude vegetation belts, periglacial processes and anthropogenic activities). Very often in the mountains, periglacial forms, phenomena and processes, their dynamics and morphogenetic properties are investigated and presented. Basically, the complex perception of the mountain periglacial climazonal belt should be improved in order to understand the nature of the high mountains more fully.

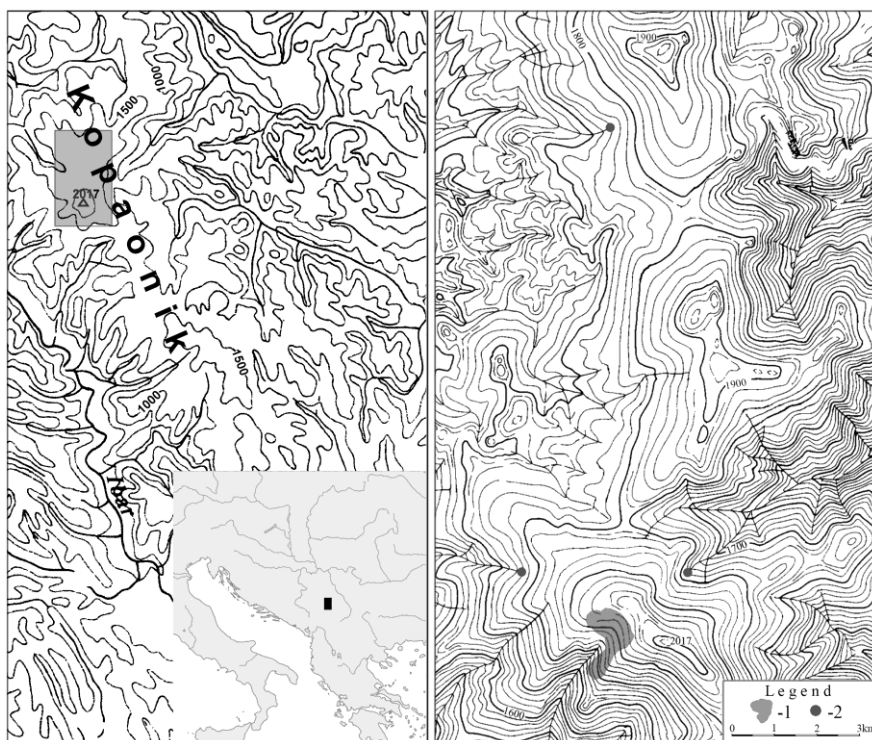


Fig. 1. The position of Kopaonik Mt in the South East Europe (left) and locations of the studied periglacial phenomena in the central part of the mountain massif (right) (1–debris flows, 2–high mountain landslides)

Kopaonik is a predominantly medium-high mountain of the central Serbia where mountain periglacial climazonal belt is present on its edges. That is why it is interesting for studying the lower limit of the contemporary periglacial climazonal belt. Periglacial morphology of Kopaonik Mt has been studied before (Nešić & Milinčić, 2004; Nešić et al., 2009; Nešić et al., 2017). On the basis of previous results, as well as the recent ongoing research, the aim of this paper is a complex study of the limits and characteristics of the

periglacial environment of Kopaonik Mt. This will be done through the presentation of orography, geological structure, climate, altitude vegetation zonality and analysis of the observed periglacial morphology and processes in the highest parts of the mountain.

Research methodology

The lower limit of the periglacial climazonal belt on Kopaonik Mt was studied through field observation and theoretical research. The theoretical framework of the paper required the application of various scientific methods: field research, analysis, comparison and synthesis. The results of our long-term field research in this area, especially those related to relict and recent geomorphological forms and processes, were used. A qualitative geomorphological relief analysis was performed in the field: location determination, mapping (standard GPS device) and morphometry (length, width and inclination). Also, an analysis of the locations and forms of relief was performed according to the geological conditions of the substrate in which these forms had developed the determination of their sun exposure and other relevant facts.

Theoretical research included an analysis of the previously published papers, maps and statistical bases of the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia (RHMZ). Of special interest were the papers that study the problems of geology, geomorphology, climatology and biogeography in this area. Theoretical research included detailed analyses of field results and their comparison with the existing thematic maps (orographic, topographic and geological), drawing of geological structures and processing of field results.

Orography and geological structure of Ravni Kopaonik area

Kopaonik is one of the highest (2,017 m) and the most extensive (2,758 km²) mountains in Serbia. Together with the mountains in the surroundings (Željina – 1,785 m, Nerada – 1,350 m, Ravna planina – 1,542 m, Goč – 1,123 m and Stolovi – 1,375 m) makes the Kopaonik group of mountains as vast as 3,452 km² (Milinčić & Pecelj, 2008). The mountain massif of Kopaonik is located in the northwest-southeast direction in the length of 80 km, reaching in its middle part the width of more than 40 km (maximum width – 63 km). The highest peaks are in the central Kopaonik area: Pančičev Vrh (2,017 m), Suvo Rudište (1,976 m), Karaman (1,936 m) and Gobelja (1,934 m), and the peaks on the Ravni Kopaonik (163.5 km²) whose height ranges from 1,500 – 1,750 m. In this part, with its altitude and its climate Kopaonik Mt stretches within the lower limits of the periglacial climazonal belt.

In the geotectonic sense Kopaonik Mt belongs to the transitional Vardar-Dinaride Zone. The mountain massif is uplifted in the form of a granodiorite mass, of Tertiary age, which caused the contact metamorphism. This conditioned the complex lithological and structural structure of the mountain. In the area of Ravni Kopaonik the granodiorite complex dominates, while on the edges there is mainly a metamorphic complex presented by a series of agriloschists and chlorite schists with phyllites within which the packages of calcoschists and marbles are inserted. South of this complex, serpentized harzburgites, as a variant of peridotites or ultrabasic deep magmatites, are widely distributed (Urošević et al., 1970).

The climate of Ravni Kopaonik area

The main factors that determine climate of Kopaonik Mt are: geographic position, distance from the sea, altitude, position relative to the prevailing atmospheric circulation and vegetation coverage. When considering the lower limit of the periglacial climazonal belt, special importance is given to the altitude and the vegetation complex.

Kopaonik Mt is located in the northern part of the Balkan Peninsula, approximately in the middle of the northern temperate zone between 42° 43' and 43° 28' latitude, in the zone influenced by the continental and maritime air masses. It is 150–220 km away from the Adriatic Sea, and from the Aegean 290–375 km with the Dinaric and Šar-Pindus mountain systems in between, which reduce the maritime influence. During winters, the mountain is predominantly under the influence of continental polar air with mostly clear weather. The summer period is characterized by the alteration of the influence of continental polar and continental tropical air, which brings cloudy weather and precipitation. For the transient seasons, the airborne masses alternate (Smailagić, 1995).

The highest part of the mountain in the area of Ravni Kopaonik, above the altitude of 1,700 m, covers an area of 20.4 km², or 0.75% of the total surface of the mountain. In this part of the area, there is a "Kopaonik" weather station (1,711 m above the sea level), at the site Krst, with a series of observations since 1950 (Tab. 1).

Since the peripheral climatic framework of the periglacial environment is the mean annual air temperature of less than +3°C (French, 2007), this part of the mountain, during the observation period 1950–1994, with +2.9°C (Smailagić, 1995) could belong to a periglacial environment. Longer (1950–2001) and shorter (1980–2015) series with mean annual air temperatures of +3.4°C (Smailagić, 2002) and +3.8°C indicate that this space is climatologically outside the influence of the periglacial environment.

Tab. 1. Average monthly and annual air temperatures on Kopaonik station (°C)

| Period | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Year |
|-----------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| 1950-1994 | -6 | -5.2 | -2.7 | 1.3 | 6.2 | 9.5 | 11.6 | 11.9 | 8.5 | 4.3 | -0.1 | -3.8 | 2.9 |
| 1950-2001 | -4.5 | -5.2 | -2.5 | 1.5 | 6.6 | 10.1 | 12.3 | 12.4 | 8.9 | 4.9 | -0.5 | -3.6 | 3.4 |
| 1980-2015 | -4.6 | -5.0 | -2.2 | 2.0 | 7.2 | 10.6 | 12.8 | 13.0 | 9.0 | 5.1 | 0.4 | -3.4 | 3.8 |

Sources: 1950-1994 (Smailagić, 1995), 1950-2001 (Smailagić, 2002) and 1980-2015 (RHMZ)

The frost days on Ravni Kopaonik occur during the colder part of the year, on average 172 days, of which 74.3 are frosty, and the number of days with strong frost is 38.9 (Smailagić, 2002). The absolute minimum air temperature on Kopaonik Mt was recorded on January 25, 1954, -26.6°C, and the absolute maximum temperature was on July 4, 2000, +28.6°C (Smailagić, 2002), so that the absolute temperature amplitude is 55.2°C. On Ravni Kopaonik, on average the snow cover lasts for 212 days, while its duration at Pančičev Vrh peak is 180 days (Smailagić, 1995; 2002). The uneven duration of the snow cover is conditioned by the sun exposure of the slopes, the exposure of the relief to the winds, and the vegetation coverage. Starting from the standpoint that the negative temperature has the greatest effect on the substrate during the frost days, without ice and snow days, the concept of frosty potential was introduced (Belij et al., 2004), which is 15.2 days for Kopaonik Mt (Nešić et al., 2009).

Tab. 2. Average monthly and annual amounts of precipitation on Kopaonik station (mm)

| Period | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Year |
|-----------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|------|----|----|----|-----|-------|
| 1950-1994 | 55 | 54 | 61 | 72 | 111 | 117 | 95 | 79 | 68 | 69 | 73 | 62 | 918 |
| 1950-2001 | 56 | 61 | 71 | 89 | 116 | 109 | 89 | 79 | 78 | 61 | 83 | 72 | 964 |
| 1980-2015 | 63 | 64 | 83 | 96 | 115 | 102 | 92 | 70 | 94 | 80 | 74 | 75 | 1,008 |

Sources: 1950-1994 (Smailagić, 1995), 1950-2001 (Smailagić, 2002) and 1980-2015 (RHMZ)

On Kopaonik Mt, in the period 1950–1954, the average annual rainfall was 918 mm (Tab. 2), mostly in the warmer part of the year within the Danube variant of the continental rainfall regime. The average monthly (especially during the winter season) and annual rainfall indicate a growth tendency. Longer (1950–2001) and shorter (1980–2015) series show that the annual sum of the precipitation increased by 46 and 90 mm respectively. The wind on Kopaonik Mt most often blows from the south-southwest direction with the highest speeds from the south-southeast direction (Smailagić, 2002). According to Koppen's climate classification, the area of Ravni Kopaonik has a moderately cold or boreal climate of the Dfc type.

Upper limit of the forest and vegetation belts of Ravni Kopaonik area

Distribution of vegetation in the area of Ravni Kopaonik, apart from the influence of climate, has been significantly determined (changed) by anthropogenic activity. Some of them date from millennia ago, beginning with the ancient, and then medieval mining and metallurgy. Intensive forestry and cattle breeding decreased during the second half of the 20th century. Over the past half century, the influence has been predominantly shaped by activities related to the development of tourism and infrastructure for a ski resort.

Based on the literature data and photo documentation, the upper limit of forest or the upper line of the high trees growth has been significantly altered and fragmented. In the middle of the 20th century it was at different heights from 1,500 to 1,900 m. The temperature analysis in several surrounding climate stations and the mean value of a thermal gradient of 0.61°C indicates that the isotherm of the hottest month, as the climate upper limit of tall trees, is at a height of over 2,000 m (Nešić et al., 2009). This means that under natural conditions, even the highest parts of the mountain would be under high trees, or that the upper limit of the forest would be orographic under the influence of the limiting factor of strong winds on the mountain peaks and boulders.

In this area, above 1,550 m of absolute height, a belt of beech forests is replaced by thick coniferous forests, predominantly the spruce forests, which also form the highest forest belt. It is here most typical of all the mountains of the Balkan Peninsula. They grow best and are most commonly developed on the granitoid substrate. On the limestone substrate (the gorges of Brzečka and Gobeljska Rivers), less productive but floristically richer spruce forests were developed (Mišić et al., 1985).

The area of Ravni Kopaonik is characterized by two altitudinal vegetation belts with the prevailing belt of the boreal spruce forest (*Picea excelsa*) in the Samokovska river basin and on the slopes of Suvo Rudište, Karaman and Gobelja and the upper belt of juniper forest (*Juniperus nana*), blueberries (*Vaccinium myrtillus*) subalpine spruce (*Piceetum subalpinum*) as a transitional belt or a zone of degradation of the upper forest

limit to the highest mountain boulder. Remarkably large areas without forests are on the southern slope of Gobelja and Suvo Rudište with pastures and sporadic flattened juniper and subalpine spruce trees. Significant reduction of pasture livestock and forestry activities, during the second half of the 20th century, the phenomenon of the rise of the upper forest limit was observed (Filipović, 2002). More recent activities on the infrastructure construction of the tourist center of Kopaonik resulted in significant fragmentation of forests, especially at the contact line of the two vegetation belts on the upper limit of the forest.

Periglacial relief of Ravni Kopaonik area

Morphostructural relief of Ravni Kopaonik has been altered by exogenous processes, mostly by relict denudation and during cold phases by mass wasting. In contemporary relief, the mountain peaks are rounded, and on the slopes and their foothills there are deposits of blocks and remnants. Slope deposits are relict when they are covered with soil and vegetation or are affected by recent solifluction when they are "exposed". In the lower parts of Ravni Kopaonik and the mountain slopes, the fluvial relief dominates with shallow valley peaks in the spring areas and deep valleys on the mountain slopes.

Relict slope depositions can be seen on the edges of the slopes or on the surface of Ravni Kopaonik at the source of the Samokovska River, where large granodiorite blocks are found on the surface. Significant covered valley deposits were noticed at Nezarovača between peaks Pančičev Vrh and Nebeske Stolice, where they correspond to the valley kurum (Timofeev & Vtyurina, 1983).

The exposed mountain depositions, mostly washed away by suffosion, have been affected by solifluction processes, i.e. by slow mass wasting process. Phenomena such as thermogeno-solifluction landslides have been detected and described at the springs of Samokovska, Velika and Duboka Rivers (Krčmar), in the altitude zone from 1,770 to 1,940 m above sea level (Nešić & Milinčić, 2004). The nature of these landslides is not quite clear, but it is likely that they correspond to the type of suffosion solifluctions in the springs, or more precisely in areas of increased humidity (Fig. 2).



Fig. 2. Thermogenic-solifluction landslide on the southern slope of Gobelja (Author: D. Nešić)

On the southwestern slope of Suvo Rudište, in the altitude belt above 1,750 m, the occurrence of rock streams of the solifluction type of movement with solifluction arches (ramparts) at the front and partially on their sides has been recorded (Nešić et al., 2009). The assumption is that these rock flows show a pattern of solifluctional movement in climatically very dynamic conditions of the south exposed slope under the influence of several processes: sliding, thermogenic and cryogenic desorption, and possibly plastic deformation of the ice erosion horizon (Tyurin et al., 1982). On the northwestern slope of Nebeske Stolice peak (1,913 m) towards Nezarovača, the appearance of rock flows with rudimentary occurrences of frost sorting and selective colluvial launching of the surface remnants has been recorded.



Fig. 3. Rock flows on the southern slope of Suvo Rudište and relict (covered) slope depositions on Nezarovača (Author: D. Nešić)

The sporadic appearances of sliding blocks on the eastern slope of Pančićev Vrh peak in the altitude belt from 1,950 to 2,000 m also belong to the solifluction domain, whereas rudimentary phenomena of frost sorting of fine remnants have been noticed on the protruding parts of Suvo Rudište, Karaman and Mala Gobelja (1,845 m).

Of the relict periglacial forms the cirque depressions described by Gavrilović (1976) in the area of Krčmar, Široki do and Ledenica on Karaman and on the eastern side of Gobelja should be mentioned, which, without sufficient evidence, he classifies as a Pleistocene glacial relief. There are also sporadic shallow-level depressions that morphologically differ from the before mentioned cirque depressions.

Especially important are relict Cryoplanational terraces south of Ravni Kopaonik. The most typical are the ones on the southeastern slopes of Bugarin (1,636 m), Nebeske stolice peak (1,913 m) and the Beđirovac (1,782 m) in the serpentinite metamorphic complex (Nešić et al., 2017), which have been so far a unique phenomenon in the relief of Serbia. The described relic Cryoplanational terraces of Kopaonik Mt were formed at some stage of extremely cold climate, perhaps during the last glacial maximum (LGM). More reliable knowledge will only be possible after extensive regional research has been conducted.



*Fig. 4. Solifluction rampart at the top of the rock flow at Suvo Rudište
(Author: U. Milinčić)*

Discussion

Based on previous remarks, the lower limit of the periglacial climazonal belt on Kopaonik Mt, but also in general, needs to be proven climatologically, geocologically and geomorphologically. When all these aspects are considered, this limit is boundary and zonal, with a tendency of increasing the height of the lower limit of the periglacial climazonal belt. Statistical indicators of mean annual air temperatures, for more recent monitoring sequences, point to the potential "climate warming" of Ravni Kopaonik. In connection with this is the movement of the upper forest limit that is also proven climatically, but also ecologically with the occurrence of the suppression of the belt of flattened juniper, blueberries and and subalpine spruce (Filipović, 2002). The geomorphological phenomena of possible active solifluctions at the river springs or in the rock flows of Suvo Rudište, agree with the understanding that the climate framework of the periglacial environment (zone) closely follows the approximate limit of the solifluction process (Williams, 1961 as cited in: French, 2007).

Research from North America (Harris & Pedersen, 1998 as cited in: Wilson, 2013) has shown that the mean annual thermal regime of active rock flows for $4-7^{\circ}\text{C}$ is lower than the surrounding land. Other research from Central Asia based on the mean annual thermal regime of air in rock deposits lower than the environment by $2.5-4^{\circ}\text{C}$, indicates that the occurrence of seasonal permafrost is also possible in conditions of a mean annual air temperature of $+4^{\circ}\text{C}$ (Gorbunov et al., 2004 as cited in: Wilson, 2013), which is probably also characteristic of the rock flows of Suvo Rudište.

The presented indicators demonstrate that the solifluction phenomena on Kopaonik Mt are non-zonal in the boundary climate framework of the climazonal periglacial belt. This statement is potentially useful for completing the image of the evolution of periglacial landscapes on the mid-high mountains of the Balkan Peninsula.

Conclusion

Research results indicate that the lower limit of the periglacial climazonal belt is a complex phenomenon that can be considered geomorphologically, climatologically, geocologically, but also from the aspect of anthropogenic activities. In the case of Kopaonik Mt, the lower limit of the periglacial belt is at 1,700 m according to the determined non-zonal periglacial forms and phenomena.

The lower limit of the periglacial climazonal belt on Kopaonik Mt has a tendency to increase its absolute height under the significant influence of changes of global and local geocological conditions of the environment. In addition to the predominant natural predispositions, an important factor that determines this limit is anthropogenic activity, both in the past and in the present. First of all, it significantly influenced the layout of altitude vegetation belts. Another human activity is the phenomenon of "global warming" under the influence of greenhouse gas emissions, provided that this effect and factor are correct. The fact is that the statistical indicators of mean annual air temperature on Ravni Kopaonik indicate the warming of climate. Solifluction phenomena on the mountain agree with the theoretical postulates about the nature of such phenomena in the sense that their non-zonal development is possible even below the boundary framework of the periglacial climazonal belt.

Research of the lower limit of the periglacial climazonal belt on Kopaonik Mt indicates its significant sensitivity and conditionality to changes in the physical and geographical conditions of the mountain environment. In the case of boundary relations, as in Kopaonik Mt, changes in the recent frameworks of the periglacial environment can be monitored as a contemporary indicator of the geocological state of high mountains. Based on the presented facts, it can be concluded that monitoring of the lower limit of the climazonal belt is important for understanding the global, but also local environmental framework on high mountains of this part of the Balkan Peninsula, but also in general.

© 2019 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

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

References

- Белиј, С., Дуцић, В., Миловановић, Б., Луковић, Ј. & Мишчевић И. (2004). Мразне травне хумке - туфури на ободу Пештерског поља. *Заштита природе*, 55(1-2), 15-27. [Belij, S., Ducić, V., Milovanović, B., Luković, J. & Mišćević, I. (2004). Mrazne travne humke - tufuri na obodu Peštorskog polja. *Zaštita prirode*, 55(1-2), 15-27.]
- Филиповић, М. (2002). Неке еколошке промене у распореду вегетације Копаоника. *Зборник радова конференције "С планином у нови век"*, Копаоник, 433-442. [Filipović, M. (2002). Neke ekološke promene u rasporedu vegetacije Kopaonika. *Zbornik radova konferencije "S planinom u novi vek"*, Kopaonik, 433-442.]

- French, H. (2007). *The Periglacial Environment. Third edition*, London: Wiley & Sons.
- Гавриловић, Д. (1976). Глацијални рељеф Србије. *Гласник српског географског друштва*, 56(1), 9-19. [Gavrilović, D. (1976). Glacijalni reljef Srbije. *Glasnik srpskog geografskog društva*, 56(1), 9-19.]
- Gorbunov, A.P., Marchenko, S.S. & Seversky, E.V. (2004). The thermal environment of blocky materials in the mountains of central Asia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 15, 95–98.
- Harris, S.A. & Pedersen, D.E. (1998). Thermal regimes beneath coarse blocky materials. *Permafrost and Periglacial Processes*, 9, 107–120.
- Метеоролошки годишњаци (1980-2015). Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије. [Meteorološki godišnjaci (1980-2015). Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.]
- Милинчић, А. М. & Пецел, М. (2008). Природна основа геоеколошких процеса Жупе Александровачке, *Гласник Српског географског друштва*, 88(1), 53-68. [Milinčić, A. M. & Pecenj, M. (2008). Prirodna osnova geokoloških procesa Župe Aleksandrovačke, *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 88(1), 53-68.]
- Мишић, В., Јовановић, Б. & Поповић, М. (1985). Вегетација Кораоника. Студија са вегетацијским картама 1:50.000 за шире подручје. *Просторни план НП Кораоник*, 1-169. Завод за урбанизам и просторно планирање, Београд. [Mišić, V., Jovanović, B. & Popović, M. (1985). Vegetacija Kopaonika. Studija sa vegetacijskim kartama 1:50.000 za šire područje. *Prostorni plan NP Kopaonik*, 1-169. Zavod za urbanizam i prostorno planiranje, Beograd.]
- Nešić, D., Milinčić, M. & Lukić, B. (2017). Relict cryoplanation terraces of central Kopaonik (Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 12(1), 61 – 68.
- Нешић, Д. & Милинчић, М. (2004). Специфичности високопланинских клизашта на примеру НП Кораоник. *Заштита природе*, 55(1-2), 5-14. [Nešić, D. & Milinčić, M. (2004). Specifičnosti visokoplaninskih klizišta na primeru NP Kopaonik. *Zaštita prirode*, 55(1-2), 5-14.]
- Нешић, Д., Белиј, С. & Миловановић, Б. (2009). Механизам настанка клизеће дробине на јужној падини Панчићевог врха (2.017 m), Кораоник. *Гласник Српског географског друштва*, 89(4), 37-59. [Nešić, D., Belij, S. & Milovanović, B. (2009). Mehanizam nastanka klizeće drobine na južnoj padini Pančićevog vrha (2.017 m), Kopaonik. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 89(4), 37- 59.]
- Смаилагић, Ј. (1995). *Клима Кораоника*. Републички хидрометеоролошки завод, Београд. [Smailagić, J. (1995). *Klima Kopaonika*. Republički hidrometeorološki zavod, Beograd.]
- Smailagić, J. (2002). Klimatske karakteristike Ravnog Kopaonika. *Zbornik radova konferencije "S planinom u novi vek"*, Kopaonik, 83-88.
- Timofeev, D. A. & Vtyurina, E. A. (1983). Terminology of periglacial geomorphology. *"Science"*, Moscow. [Тимофеев, Д. А., Втюрина, Е. А. (1983). Терминология перигляциальной геоморфологии. Издательство "Наука", Москва.]
- Tyurin, A. I., Romanovsky, N. N. & Poltev N.F. (1982). Facies-cryogenic analysis of rock stream. *"Science"*, Moscow. [Тюрин, А.И., Романовский, Н.Н., Полтев Н.Ф. (1982). Мерзлотно-фациальный анализ курумов. Издательство "Наука", Москва.]
- Урошевић, М., Павловић, З., Клисић, М., Брковић, Т., Малешевић, М. & Trifunović, S. (1970). *Osnovna geološka karta SFRJ, list Novi Pazar 1:100 000 K34-30*. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Wilson, P. (2013). Block/Rock Streams. In: *Elias S.A. (ed.) The Encyclopedia of Quaternary Science*, 3, 514-522. Amsterdam: Elsevier.

Оригинални научни рад

UDC 551.435.5 (497.11 Кораоник)
<https://doi.org/10.2298/GSGD1901001N>

Примљено: 26. фебруара 2019.

Исправљено: 27. марта 2019.

Прихваћено: 12. априла 2019.

Драган Нешић^{*}, Урош Миљинчић^{}**

^{} Завод за заштиту природе Србије, Канцеларија у Нишу*

*^{**} Студент, Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија*

ДОЊА ГРАНИЦА ПЕРИГЛАЦИЈАЛНОГ КЛИМАЗОНАЛНОГ ПОЈАСА НА ПЛАНИНИ КОПАОНИК (СРБИЈА)

Апстракт: Морфоструктурни рељеф највиших делова централног Копаоника је измењен егзогеним агенсима, доминантно денудацијом, а секундарно и периглацијалним процесима. Ранија геоморфолошка истраживања су најчешће била усмерена на трагове плеистоцене глацијације, иако за то нису нађени поуздани докази. Новија истраживања, на делу планине изнад 1.700 m апсолутне висине упућују на геоморфолошке појаве које су последица рецентних процеса периглацијалне средине. Поступком геоморфолошког рекогносцирања, анализирања и картирања највишег дела планинског масива Копаоника третирају се облици рељефа који према својој морфологији одговарају периглацијалним облицима и процесима описаним у условима великих географских ширина и високих планина. Детерминисање просторног обухвата периглацијалног појаса, посебно његове доње границе на Копаонику, значајно је за познавање распрострањења ове климатогене морфологије како у Србији тако и у Југоисточној Европи. Истраживање представља допринос једном од примарних циљева истраживања концепта периглацијалне зоне, у смислу регионалног распрострањења њених специфичних форми рељефа.

Кључне речи: периглацијална зона, Копаоник, клима, вегетација, рељеф

¹ dragan.nesic@zzps.rs (аутор за кореспонденцију)

Увод

Концепт "периглацијална зона" је проблемски и просторно везан за услове великих географских ширина (зонална појава) и високих планина (азонална појава). Најчешће се односи на појас хладне климе у коме доминира мразни процес. На планинама се може дефинисати и као простор између горње шумске границе и снежне границе (French, 2007). Основ за издвајање ове зоне или планинског појаса су климатски фактори (температура и струјање ваздуха и падавине), али и специфични геоеколошки услови (присуство пермафроста, горња шумска граница и висински вегетацијски појасеви, периглацијални процеси и антропогене активности). Врло често на планинама се истражују и презентирају периглацијални облици, појаве и процеси, њихова динамика и морфогенетска својства. Углавном, изостаје комплексно сагледавање планинског периглацијалног климазног појаса у циљу потпунијег разумевања природе високих планина.

Сл. 1. Положај Копаоника у Југоисточној Европи и локације истраживаних периглацијалних појава на централном делу планинског масива (1- камени токови, 2- високо планинска клизишта) (стр. 2)

Копаоник је доминантно средње висока планина централне Србије на којој је у граничним оквирима заступљен планински периглацијални климазног појас. Зато је она интересантна за разматрање доње границе савременог периглацијалног климазног појаса. Периглацијална морфологија Копаоника била је предмет истраживања у више наврата (Нешић & Милинчић, 2004; Нешић et al., 2009; Нешић et al., 2017). На основама претходних резултата, као и нових континуираних истраживања, циљ рада је комплексно сагледавање граничних оквира и карактеристика периглацијалне средине Копаоника. Ово ће бити учињено кроз приказ орографије, геолошке грађе, климе, висинске вегетацијске зоналности и анализе констатоване периглацијалне морфологије и процеса у највишим деловима планине.

Методологија истраживања

Доња граница периглацијалног климазног појаса на Копаонику проучавана је теренским и кабинетским методама истраживања. Теоретски оквир рада је условио примену различитих научних метода: теренска истраживања, анализа, компарација и синтеза. Коришћени су резултати наших дугогодишњих теренских истраживања на овом простору, посебно оних везаних за реликтне и рецентне геоморфолошке облике и процесе. На терену је спроведена квалитативна геоморфолошка анализа облика рељефа: лоцирање, картирање (стандардни GPS уређај) и морфометрија (дужина, ширина и нагиб). Такође, извршена је анализа локација и облика рељефа према геолошким условима подлоге у којој су развијени ови облици, утврђивање њихове експонираности и других релевантних чињеница.

Кабинетска истраживања су подразумевала анализу објављених радова, карата и статистичких база Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ). Посебно су анализирани радови који на овом простору третирају проблеме геологије, геоморфологије, климатологије и биогеографије. Од кабинетских метода примењени су поступци детаљних анализа теренских резултата са постојећим

тематским картама (орографске, топографске и геолошке), израда скица и обрада теренских резултата.

Орографија и геолошка грађа Равног Копаоника

Копаоник је једна од највиших (2.017 m) и најпространијих (2.758 km²) планина Србије. Заједно са планинама у окружењу (Жељин – 1.785 m, Нерађе – 1.350 m, Равна планина – 1.542 m, Гоч – 1.123 m и Столови – 1.375 m) чини Копаоничку групу планина укупне површине 3.452 km² (Милинчић & Пецељ, 2008). Планински масив Копаоника пружа се правцем северозапад-југоисток на дужини од 80 km, достижући у средњем делу ширину већу од 40 km (максимална ширина – 63 km). Највеће висине достиже у пределу централног Копаоника: Панчићев врх (2.017 m), Суво Рудиште (1.976 m), Караман (1.936 m) и Гобеља (1.934 m), врхова који се издижу са површи Равног Копаоника (163,5 km²) висине 1.500-1.750 m н.в. У овом делу својом висином и њоме условљеном климом Копаоник улази у оквире доње границе периглацијалног климатског појаса.

У геотектонском смислу Копаоник припада прелазној Вардарској зони према Динаридима. Планински масив је издигнут у виду гранодиоритске масе, терцијарне старости, који је интродуковањем извршио метаморфизам контактне ареале. Ово је условило сложену литолошку и структурну грађу планине. У пределу Равног Копаоника доминира комплекс гранодиорита, док је по ободу заступљен углавном метаморфни комплекс представљен серијом серицитских и серицитско-хлоритских шкриљаца са филитима у оквиру којих су уметнути пакети калкшиста и мермера. Јужно од овог комплекса велико распрострањење имају серпентинисани харцбургити, као варијетет перидотита или ултрабазичних дубинских магматита (Urošević et al., 1970).

Клима Равног Копаоника

Главни фактори који условљавају климу Копаоника су географски положај, удаљеност од мора, надморска висина, положај у односу на преовлађујућу циркулацију атмосфере и покривеност вегетацијом. За разматрање доње границе периглацијалног климатског појаса посебан значај имају надморска висина и вегетациони комплекс.

Копаоник је лоциран у северном делу Балканског полуострва, приближно у средини северног умереног појаса између 42° 43' и 43° 28' северне географске ширине, у зони утицаја континенталних и маритимних ваздушних маса. Од Јадранског мора је удаљен 150-220 km, а од Егејског 290-375 km са Динарским и Шарско-пиндским планинским системима између, који смањују маритимни утицај. Током зиме планина је доминантно под утицајем континенталног поларног ваздуха са претежно ведрим временом. Летњи период карактерише смењивање утицаја континенталног поларног и континенталног тропског ваздуха, који доносе облачно време и падавине. За прелазна годишња доба карактеристично је смењивање поменутих ваздушних маса (Смаилагић, 1995).

Највиши део планине у пределу Равног Копаоника, изнад висине од 1.700 m, захвата површину од 20,4 km², или 0,75% укупне површине планине. На овом делу простора се налази и метеоролошка станица "Копаоник" (1.711 m н.в.), на локалитету Крст, са низом осматрања од 1950. године (Таб. 1). Како је гранични климатолошки оквир периглацијалне средине средња годишња температура ваздуха мања од +3°C (French, 2007) проистиче да је овај део планине, у периоду осматрања 1950-1994. године, са +2,9°C (Смаилагић, 1995) могао припадати периглацијалној средини. Дужи (1950-2001) и краћи (1980-2015) низови са средњим годишњим температурама ваздуха од +3,4°C (Smailagić, 2002), односно +3,8°C указују да је овај простор климатолошки изван утицаја периглацијалне средине.

Таб. 1. Средње месечне и годишње температуре ваздуха на станици Копаоник (°C)

| Период | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год. |
|------------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| 1950-1994. | -6 | -5,2 | -2,7 | 1,3 | 6,2 | 9,5 | 11,6 | 11,9 | 8,5 | 4,3 | -0,1 | -3,8 | 2,9 |
| 1950-2001. | -4,5 | -5,2 | -2,5 | 1,5 | 6,6 | 10,1 | 12,3 | 12,4 | 8,9 | 4,9 | -0,5 | -3,6 | 3,4 |
| 1980-2015. | -4,6 | -5,0 | -2,2 | 2,0 | 7,2 | 10,6 | 12,8 | 13,0 | 9,0 | 5,1 | 0,4 | -3,4 | 3,8 |

Извор: 1950-1994. (Смаилагић, 1995), 1950-2001. (Smailagić, 2002) и 1980-2015. (PXM3).

Мразни дани се на Равном Копаонику јављају током хладнијег дела године, просечно 172 дана, од чега је 74,3 ледених, а број дана са јаким мразем је 38,9 (Smailagić, 2002). Апсолутна минимална температура ваздуха на Копаонику забележена је 25.01.1954. године од -26,6°C, а апсолутно максимална 04.07.2000. године од +28,6°C (Smailagić, 2002), тако да је апсолутна температурна амплитуда 55,2°C. На Равном Копаонику снежни покривач просечно траје 212 дана, док је његово трајање на Панчићевом врху 180 дана (Смаилагић, 1995; 2002). Неједнако трајање снежног покривача условљено је експозицијом падина, изложеношћу рељефа ветру и обраслошћу подлоге вегетацијом. Полазећи од става да негативна температура има највећи ефекат на подлогу током мразних дана, без ледених и дана са снежним покривачем, уведен је појам мразни потенцијал (Белиј et al., 2004), који за Копаоник износи 15,2 дана (Нешић et al., 2009).

Таб. 2. Средње месечне и годишње количине падавина на станици Копаоник (mm)

| Период | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год. |
|------------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|------|----|----|----|-----|-------|
| 1950-1994. | 55 | 54 | 61 | 72 | 111 | 117 | 95 | 79 | 68 | 69 | 73 | 62 | 918 |
| 1950-2001. | 56 | 61 | 71 | 89 | 116 | 109 | 89 | 79 | 78 | 61 | 83 | 72 | 964 |
| 1980-2015. | 63 | 64 | 83 | 96 | 115 | 102 | 92 | 70 | 94 | 80 | 74 | 75 | 1.008 |

Извор: 1950-1994. (Смаилагић, 1995), 1950-2001. (Smailagić, 2002) и 1980-2015. (PXM3).

На Копаонику се у периоду 1950-1994. године просечно годишње излучивало 918 mm падавина (Таб. 2) и то више у топлијем делу године у оквиру подунавске варијанте континенталног режима падавина. Средње месечне (нарочито током зимске сезоне) и годишње количине падавина показују тенденцију раста. Дужи (1950-2001.) и краћи (1980-2015.) низови указују да се годишња сума талога повећала за 46, односно 90 mm. Ветар на Копаонику најчешће дува из јужног-југозападног правца са највећим брзинама из јужног-југоисточног правца

(Smailagić, 2002). Према Кепеновој класификацији климата подручје Равног Копаоника има умерено хладни или бореални климат Dfc типа.

Горња граница шуме и вегетациони појасеви Равног Копаоника

Распрострањење вегетације на простору Равног Копаоника, осим под утицајем климе, значајно је одређено и антропогеном делатношћу. Поједине делатности сежу давно у прошлост, почев од античког, а затим и средњевијековног рударства и металургије. Интензивно шумарство и сточарство се смањује током друге половине 20. века. Последњих пола века људске активности су повезане са развојем туризма и инфраструктуре у функцији скијалишта.

На основу литературних података и фото документације закључено је да је горња граница шуме или горња линија високог дрвећа значајно измењена и фрагментована. Средином 20. века била је на различитим висинама од 1.500 до 1.900 m. Анализа температуре са више околних климатолошких станица и средња вредност термичког градијента од 0,61°C указује да се изотерма најтоплијег месеца, као климатска горња граница високог дрвећа, налази на висини од преко 2000 m (Нешић et al., 2009). Ово значи да би у природним условима и највиши делови планине били под високим дрвећем, или би тада горња граница шуме била орографска под утицајем лимитирајућег фактора јаких ветрова на планинским врховима и билима.

На овом простору, изнад 1.550 m апсолутне висине, појас букових шума смењују густе четинарске шуме, доминантно смрче која је уједно и највиши шумски појас. Смрча је овде најтипичније изражена од свих планина Балканског полуострва. Најбоље и најчешће су развијене на гранитоидној подлози. На кречњацима (класуре Брзећке и Гобељске реке) су развијене мање продуктивне али флористички богатије шуме смрче (Мишић et al., 1985).

Простор Равног Копаоника карактеришу два висинска вегетацијска појаса са доминантним појасом бореалне шумске заједнице смрче (*Picea excelsa*) у сливу Самоковске реке и на падинама Сувог Рудишта, Карамана и Гобеље и виши појас заједнице полегле клеке (*Juniperus nana*), боровнице (*Vaccinium myrtillus*) и ниске субалпске смрче (*Piceetum subalpinum*) као прелазни појас или зона деградације горње шумске границе до највишег планинског била. Упадљиво велике површине без шуме су на јужној падини Гобеље и Сувог Рудишта у виду пашњака са мањим појавама полегле клеке и субалпске смрче. Значајним смањењем пашњачког сточарства и шумске привреде, током друге половине 20. века, запажена је појава издизања горње шумске границе (Филиповић, 2002). Новијим активностима на инфраструктурној изградњи туристичког центра Копаоника врши се значајна фрагментација шума посебно на контакту два вегетацијска појаса на горњој граници шуме.

Периглацијални рељеф Равног Копаоника

Морфоструктурни рељеф Равног Копаоника је измењен егзогеним процесима, углавном реликтном денудацијом, а током хладних фаза интензивним падинским процесима. У савременом рељефу планински врхови су заобљени, а на падинама и

њиховом подножју су наслаге блокова и дробине. Падинске наслаге су реликтне када су покривене земљом и вегетацијом или захваћене рецентном солифлукцијом када су "откривне". У нижим деловима Равног Копаника и даље на планинским падинама доминира флувијални рељеф са плитким врховима долина у извориштима и дубоким долинама на планинским падинама.

Реликтне падинске наслаге се могу видети на усецима падина или на површи Равног Копаника у изворишту Самоковске реке где су на површини велики гранодиоритски блокови. Значајне покривене долинске наслаге запажене су на Незаровачи, између Панчићевог врха и Небеске столице, где одговарају долинском курумуну (Тимофеев & Втюрина, 1983).

Откривене падинске наслаге, углавном испране суфозијом, захваћене су солифлукционим процесима, односно спорим и рудиментарним колувијалним падинским процесима. У извориштима Самоковске, Велике и Дубоке реке (Крчмар), у висинском појасу од 1.770 до 1.940 m н.в, описане су и издвојене појаве као термогено-солифлукциона клизишта (Нешић & Милинчић, 2004). Природа ових клизишта није сасвим јасна, али вероватно да одговарају типу суфозионих солифлукција у извориштима, односно зонама повећане влажности (Сл. 2).

Сл. 2. Термогено-солифлукционо клизиште на јужној падини Гобеље (Аутор: Д. Нешић) (стр.6)

На југозападној падини Сувог Рудишта, у висинском појасу изнад 1.750 m, констатоване су појаве камених токова солифлукционог типа кретања са солифлукционим луковима (бедемима) у челу и местимично на њиховим бочним странама (Нешић et al., 2009). Претпоставка је да се ови камени токови солифлукционо крећу у климатски врло динамичним условима јужно експониране падине под утицајем више процеса: клизања, термогене и криогене десорпције и можда пластичне деформације ледено-дробинског хоризонта (Турин et al., 1982). На северозападној падини Небеске столице (1.913 m) према Незаровачи запажене су појаве камених токова са рудиментарним појавама мразног сортирања и селективног колувијалног покретања површинске дробине.

Сл. 3. Камени токови на јужној падини Сувог Рудишта и реликтне (покривене) падинске наслаге на Незаровачи (Аутор: Д. Нешић) (стр. 7)

Из домена солифлукције су и спорадичне појаве клизећих блокова на источној падини Панчићевог врха у висинском појасу од 1.950 до 2.000 m н.в, а рудиментарне појаве мразног сортирања ситне дробине запажене су на истуреним деловима Сувог Рудишта, Карамана и Мале Гобеље (1.845 m).

Од реликтних периглацијалних облика треба поменути циркне депресије које описује Гавриловић (1976) у пределу Крчмара, Широког дола и Леденице на Караману и на источној страни Гобеље, које без довољно доказа издваја као плеистоцени глацијални рељеф. Местимично у рељефу се запажају плитке нивационе депресије (улоке) који морфолошки одударају од поменутих циркних депресија.

Посебно су значајне реликтне криопланационе терасе јужно од Равног Копаника. Најтипичније су на југоисточним падинама Бугарина (1.636 m), Небеске столице (1.913 m) и Беђировца (1.782 m) у серпентинитском метаморфном

комплексу (Nešić et al., 2017), које су за сада јединствена позната појава у рељефу Србије. Описане реликтне криопланационе терасе Копаоника су настале у некој фази изузетно хладне климе, можда током последњег глацијалног максимума (LGM) (*last glacial maximum*). Поузданија сазнања ће бити могућа тек на основу обимнијих регионалних истраживања.

Сл. 4. Солифлукциони бедем у врху каменог тока на Сувом Рудишту (Аутор: У. Милинчић) (стр. 8)

Дискусија

На основу претходних напомена доња граница периглацијалног климазоналног појаса на Копаонику, али и уопште, доказује се климатолошки, геоеколошки и геоморфолошки. Са свих аспеката ова граница је ивична и зонална, са тенденцијом повећања висине доње границе периглацијалног климазоналног појаса. Статистички показатељи средњих годишњих температура ваздуха, за новије низове осматрања, указују на потенцијално "отопљавање климе" Равног Копаоника. Са овим у вези је и померање горње шумске границе која се доказује климатолошки, али и еколошки са појавама потискивања појаса полегле клеке, боровнице и субалписке смрче (Филиповић, 2002). Геоморфолошки појаве могућих активних солифлукција у извориштима река или на каменим токовима Сувог Рудишта, сагласне су са схватањем да климатски оквир периглацијалне средине (зоне) блиско прати приближну границу солифлукционог процеса (Williams, 1961, цитирано у: French, 2007).

На основу истраживања из Северне Америке (Harris & Pedersen, 1998, цитирано у: Wilson, 2013) утврђено је да је средње годишњи термички режим активних камених токова за 4-7°C нижи од околног земљишта. Друга истраживања из централне Азије на основу средње годишњег термичког режима ваздуха у каменим наслагама нижег од околине за 2,5-4°C указују да је појава сезонске пермафросте могућа и у условима средње годишње температуре ваздуха од +4°C (Gorbunov et al., 2004, цитирано у: Wilson, 2013), што је вероватно карактеристично и за камене токове Сувог Рудишта.

Изнети показатељи указују да су солифлукционе појаве на Копаонику азоналне у граничним климатским оквирима климазоналног периглацијалног појаса. Ова констатација је потенцијално корисна за употпуњавање слике о еволуцији периглацијалног пејзажа на средње високим планинама Балканског полуострва.

Закључак

Истраживања указују да је доња граница периглацијалног климазоналног појаса комплексна појава која се може разматрати геоморфолошки, климатолошки, геоеколошки, али и са аспекта антропогених активности. На примеру Копаоника доња граница периглацијалног појаса је на 1.700 m н. в, а на основу утврђених азоналних периглацијаних облика и појава.

Доња граница периглацијалног климазоналног појаса на Копаонику има тенденцију повећања апсолутне висине под значајним утицајем промена глобалних и локалних геоеколошких услова средине. Осим доминантних природних

предиспозиција важан фактор ове границе је антропогена делатност, у прошлости и садашњости. Она је пре свега значајно утицала на распоред висинских вегетационих појасева. Из домена људске активности је и појава "глобалног отпољавања" под утицајем емисије гасова са ефектом стаклене баште, под условом да је овај ефекат и фактор тачан. Чињеница је да статистички показатељи средње годишње температуре ваздуха на Равном Копаонику указују на отопљавање климата. Солифлукционе појаве на планини сагласне су са теоријским постулатима о природи оваквих појава у смислу да је њихово азонално развиће могуће и испод граничних оквира периглацијаног климазоналног појаса.

Истраживања доње границе периглацијалног климазоналног појаса на Копаонику указују на њену значајну осетљивост и условљеност променама физичко-географских услова планинске средине. На примеру граничних односа, као на Копаонику, могу се пратити промене рецентних оквира периглацијалне средине, као савремени показатељ геоеколошког стања високих планина. На основу свега изнетог проистиче да је праћење доње границе климазоналног појаса значајно за разумевање глобалних, али и локалних оквира природне средине на високим планинама овог дела Балканског полуострва, али и уопште.

© 2019 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

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

Литература (погледати у енглеској верзији текста)